

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Die Erosivität von Smoothies auf die Zahnhartsubstanz

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Marianne Gabriele Ehrnsperger

aus Landshut

2020

Mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

4

Mitberichterstatter: PD Dr. rer. biol. hum Bogna Stawarczyk

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. dent. Peter Wöhrl

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

Tag der mündlichen Prüfung: 24.11.2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	7
2 Literaturübersicht	8
2.1 Definition dentaler Erosion.....	8
2.2 Arten von nichtkariesbedingten Zahnhartsubstanzverlust.....	8
2.2.1 Erosion.....	8
2.2.2 Attrition.....	9
2.2.3 Abrasion.....	10
2.3 Chemische Faktoren der Erosion	11
2.3.1 Zusammensetzung des Zahnschmelzes	11
2.3.2 Säuren und Chelatoren.....	12
2.3.3 Chemische Faktoren.....	15
2.4 Biologische Faktoren der Erosion.....	20
2.4.1 Speichel	20
2.4.2 Pellikel.....	22
2.5 Extrinsische Einflüsse bei der Entstehung von Erosionen	24
2.6 Intrinsische Einflüsse bei der Entstehung von Erosionen.....	31
2.7 Diagnostik von Erosionen	34
2.8 Prävalenz, Inzidenz und Verbreitung dentaler Erosionen	38
2.8.1 Prävalenz, Inzidenz und Verbreitung dentaler Erosionen bei Erwachsenen.....	39
2.8.2 Dentale Erosionen bei Kindern und Jugendlichen	42
3 Material und Methoden.....	45
3.1 Überblick.....	45
3.2 pH-Wert-Messung.....	45
3.2.1 Grundlagen der pH-Wert-Bestimmung	45
3.2.2 Durchführung der pH-Wert-Bestimmung	48
3.3 Bestimmung der titrierbaren Säure.....	48

3.4	Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts	49
3.4.1	Photometrische Messung des Kalziumgehalts	49
3.4.2	Photometrische Messung des Phosphatgehalts	52
3.5	Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts mittels Spectroquant®	52
3.6	Bestimmung des erosiven Zahnschmelzverlustes mittels Oberflächenprofilometrie	55
3.7	Darstellung des erosiven Zahnschmelzverlustes mittels Rasterelektronenmikroskopie	61
3.8	Die konfokale Laserscanmikroskopie (CLSM).....	66
4	Ergebnisse	68
4.1	pH-Werte	68
4.2	Bestimmung der titrierbaren Säure.....	76
4.3	Substanzverlustmessung mit dem Profilometer	84
4.4	Einfluss von fetthaltigen Kokosprodukten auf die Erosivität	90
4.4.1	Ergebnisse bei der Messung des pH-Wert und der titrierbaren Säure ...	90
4.4.2	Substanzverlustmessung mittels Oberflächenprofilometrie	92
4.5	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen	93
4.6	Ergebnis der konfokalen Laserscanmikroskopie	99
5	Diskussion	100
5.1	Probenvorbereitung für die pH-Wert-Messung und die Titration	100
	pH-Wert-Messung	100
5.2	Bestimmung der titrierbaren Säure.....	101
5.3	Einfluss des Fettanteils auf die Erosivität	103
5.3.1	Einfluss von Fett bei der Oberflächenprofilometrie	105
5.4	Einfluss durch die Zugabe von Joghurt	105
5.5	Einflüsse auf die Oberflächenprofilometrie bei der Bestimmung des Zahnhartsubstanzverlustes	106
5.5.1	Vorbereitung der Proben.....	109
5.5.2	Messung der Proben.....	110

5.6	Beurteilung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme	111
5.7	Beurteilung der konfokalen Laserscanmikroskopie	112
5.8	Testverfahren zur Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts....	113
5.9	Weitere Testansätze zur Bestimmung der Erosivität von Smoothies ...	115
5.10	Weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts.....	116
6	Zusammenfassung	117
7	Anhang.....	119
7.1	Zusammensetzung und Daten der untersuchten Smoothies	119
7.2	Perthometerausdrucke	122
7.3	Fettgehalt der getesteten Smoothies.....	136
8	Literaturverzeichnis	138
9	Danksagung	149
10	Eidstattliche Erklärung	150

Abkürzungsverzeichnis

°C:	Grad Celsius
CLSM:	konfokales Laserscanmikroskop
COO ⁻ :	Carbonylgruppe
EDTA:	Ethylendiamintetraessigsäure
g:	Gramm
GOR:	gastroösophagealer Reflux
H ⁺ :	Wasserstoffion
HCl:	Salzsäure
K _s :	Säurekonstante
log:	Logarithmus
M:	Molar
MΩ:	Megaohm
ml:	Milliliter
mm:	Millimeter
mmol:	Millimol
µm:	Mikrometer
µl:	Mikroliter
NaOH:	Natronlauge
nm:	Nanometer
OH ⁻ :	Hydroxylion
pK:	negativer, dekadischer Logarithmus einer Säurekonstanten
PO ₄ ⁻ :	tertiäres Phosphat
R _a :	arithmetischer Mittenrauwert
RDA:	Radioactive Dentin Abrasion
REA:	Radioactive Enamel Abrasion
REM:	Rasterelektronenmikroskop
R _{max} :	maximale Rautiefe
R _z :	gemittelte Rautiefe
V:	Volumen

1 Einleitung

Im Bestreben sich gesund zu ernähren, werden allgemein mehr Früchte, Obst und Säfte konsumiert. Aus den USA wurde die Initiative des Nationalen Krebsforschungsinstituts, "5 a day - for better health", von der deutschen Gesellschaft für Ernährung übernommen und heißt in Deutschland „5 am Tag“. Ziel dieser Aktion ist es, die Bevölkerung zu informieren, vermehrt Obst und Gemüse in ihrem Speiseplan zu integrieren, um damit unter anderem das Herzinfarkt- und Krebsrisiko und das Risiko anderer Erkrankungen zu vermindern.

Auch die Ernährungsindustrie nutzt den zunehmenden Gesundheitstrend und hat in den letzten Jahren zahlreiche Wellness- und Fitnessprodukte auf den Markt gebracht, die einen gesundheitlichen Nutzen haben und das körperliche Wohlbefinden steigern sollen. Ferner werden Frucht- und Gemüsepürees, so genannte Smoothies, umworben. Für Smoothies gibt es keine eindeutige Definition, weshalb hinsichtlich Rezeptur und Zutaten sehr unterschiedliche Produkte auf dem Markt als „Smoothie“ verkauft werden. So enthalten Smoothies teilweise Saft, sowie Mark, Püree oder stückige Obstbestandteile. Bei manchen Produkten können auch Zusätze wie Zucker und weitere Zusatzstoffe wie Aromen, Farbstoffe oder Konservierungsstoffe und isolierte Nährstoffe zugesetzt sein (DGE 2008).

Der vermehrte Konsum von Obst, Gemüse, verschiedenen Wellnessgetränken, wie auch Smoothies kann jedoch aufgrund des niedrigen pH-Wertes von 3,5 bis 4 zu einem erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlust führen.

Ziel dieser Studie war es, die mögliche erosive Wirkung von Smoothies auf die Zahnhartsubstanz zu untersuchen.

Hierzu wurde der pH-Wert und die Menge der titrierbaren Säure bis zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes bestimmt. Zudem wurde untersucht ob eine Zugabe von 10 % Joghurt zu einer Verringerung des erosiven Potenzials führt. Der Zahnhartsubstanzverlust wurde ferner an Schmelzoberflächen extrahierter Molaren und Prämolaren durch die Oberflächenprofilometrie bestimmt und mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops wurden Aufnahmen von erosiv veränderten Oberflächen angefertigt.

2 Literaturübersicht

Ernährungsexperten und Fachgesellschaften für Ernährung empfehlen den vermehrten Konsum von Obst- und Gemüseprodukten. Durch die erosive Wirkung von Obst und Gemüse sowie durch den Konsum von Softdrinks, Säften und alkoholischen Getränken kann es auch bedingt durch die Mundhygiene und abhängig von der Speichelqualität, an den Zähnen zu einem erhöhten Zahnhartsubstanzverlust kommen.

2.1 Definition dentaler Erosion

Die Zahnerosion wird definiert als irreversibler, oberflächlicher Zahnhartsubstanzverlust, verursacht durch einen chemischen Prozess ohne Bakterienbeteiligung (Zipkin und Mc Clure 1949). Lussi et al. (2008) beschrieben die Erosion als eine multifaktoriell bedingte Erscheinung, wobei das Zusammenspiel von chemischen, biologischen und verhaltensbedingten Faktoren entscheidend ist. Einzelne Personen entwickeln dadurch mehr und ausgeprägtere Erosionen als andere.

2.2 Arten von nichtkariesbedingten Zahnhartsubstanzverlust

2.2.1 Erosion

Erosion beschreibt eine Form des Zahnhartsubstanzverlustes, der vorwiegend auf den Konsum von sauren und gleichzeitig kalzium- und phosphatarmen Nahrungsmitteln zurückzuführen ist. Häufiges Erbrechen oder beruflich bedingte Säureexpositionen können ebenfalls zu Erosionen führen. Bei Leistungsschwimmern wurden bei niedrig eingestelltem pH-Wert des Wassers in Schwimmbädern ebenfalls vermehrt Erosionen der Zahnhartsubstanz gefunden (Lussi und Jaeggi 2006). Zudem haben Lebens- und Essgewohnheiten, sowie die Verwendung von harten Zahnbürsten mit abrasiven Zahnpasten einen Einfluss auf die Entwicklung von Erosionen. Auch das Trinkverhalten, wie z.B. das Hin- und Herziehen oder Belassen von Flüssigkeiten im Mundraum spielen eine Rolle. Biologische Faktoren, wie die Menge und Zusammensetzung des Speichels oder die Dicke des Pellikels, haben ebenfalls Einfluss auf die Entstehung von Erosionen (Lussi et al. 2008).

Die Diagnose von frühen Erosionsformen gestaltet sich oftmals schwierig, da es anfangs nur geringe morphologische Anzeichen gibt und selten Symptome vorliegen. Erschwerend kommt hinzu, dass es keine einheitlichen Befundkriterien und keine einheitliche Dokumentation in der zahnärztlichen Praxis gibt, um Erosionen zu diagnostizieren und deren Fortschreiten zu beobachten. Das klinische Auftreten von Be-

schwerden ist nach wie vor das entscheidende diagnostische Kriterium. Fotos und Situationsmodelle können bei der Diagnose und der Verlaufskontrolle hilfreich sein. Ernährungsbedingte, erosive Schäden der Zahnhartsubstanz treten fazial und okklusal auf und im fortgeschrittenen Stadium auch palatinal. Charakteristische Anzeichen von Erosionen sind meist eine glatte, matt-glänzende, teilweise abgestumpft wirkende Oberfläche und fehlende Perikymatien auf den betroffenen Zähnen. Ein weiteres typisches Merkmal der erosiven Erscheinungen ist eine intakte Zahnschmelzlinie entlang des Gingivalsaums, da dort belassene Plaque und die Sulkusflüssigkeit einen Schutz vor Säuren bilden. In fortgeschrittenem Stadium werden oft weitere morphologische Veränderungen festgestellt, wie klar abgegrenzte Schmelzlakunen, welche im koronalen Anteil im rechten Winkel abgegrenzt sind, wohingegen der apikale Anteil der Läsion zur Zahnwurzel hin ausläuft. Allerdings sollte die faziale Erosion nicht mit keilförmigen Defekten der Schmelz-Zement-Grenze verwechselt werden, da diese eher eine mechanische Ursache haben (Lussi et al. 2008).

2.2.2 Attrition

Unter Attrition versteht man einen Zahnhartsubstanzverlust, der durch mechanische Kräfte der gegenüberliegenden Zahnreihen verursacht wird, ohne Einwirken von fremden Substanzen (Imfeld 1996). Das Ausmaß der Attrition zwischen Schmelzflächen *in vitro* ist einmal abhängig von den einwirkenden Kaukräften und der Dauer der Krafteinwirkung, andererseits wird sie stark von der Anwesenheit und der Beschaffenheit eines Schmiermediums beeinflusst. Bei Attrition findet der Abrieb zwischen zwei Körpern, die sog. „two-body wear“ statt. Der Abrieb zwischen drei Körpern, der sogenannten „three-body wear“, wird als Abrasion bezeichnet. Der Oberflächenverlust bei Attrition findet zwischen zwei Körpern statt und entsteht durch das direkte Aneinanderreiben von Oberflächen. Dadurch kommt es zum Ausbrechen von Partikeln der Oberfläche und zur Entstehung von Unebenheiten. Beim Substanzverlust, der zwischen drei Körpern entsteht, befindet sich zwischen den beiden Oberflächen eine Suspension aus abrasiven Partikeln, wodurch Material von beiden Flächen abgetragen wird (Mair 2000). Attrition und Abrasion können ineinander übergehen. Es kann angenommen werden, dass durch Reibung abgelöste Schmelzpartikel („two-body wear“) in Speichel suspendieren und somit eine „three-body wear“ entsteht. Es handelt sich um eine Abrasion, wobei Muzine und andere im Speichel enthaltenen Makromoleküle die Oberflächen und Partikel überziehen und somit die Reibungskräfte reduzieren (Burak et al. 1999). Attrition betrifft in aller Regel zuerst den Schmelz

und nachfolgend das darunter liegende Dentin. Die Zerstörung des Dentins schreitet aufgrund der geringeren Härte wesentlich schneller voran (Neville et al. 2002). Burak et al. (1999) beschrieben, dass unter großer Belastung der hohe organische Faseranteil des Dentins gegenüber Schmelz einen gewissen Schutz vor Frakturen bietet. Der häufigste Grund für Attrition ist Bruxismus („Knirschen“). Aber auch Para-funktionen, wie das Aufeinanderpressen der Zahnreihen oder nervöses Klappern mit den Zähnen sind ein häufiger Grund für Attrition. Dabei treten nicht unerhebliche mechanische Kräfte zwischen den gegenüberliegenden Zahnreihen auf. Meist beginnt der Zahnhartsubstanzverlust auf den inzisalen und okklusalen Flächen der Zähne. Als eine weitere Form findet man die Attrition der Approximalräume. Sie tritt an den Approximalflächen der Zähne auf, wenn die Zähne durch eine okklusale Belastung in vertikaler Richtung gegeneinander bewegt werden (Neville et al. 2002).

2.2.3 Abrasion

Einige Definitionen von Abrasion besagen, dass jede Abrasion einen pathologischen Prozess darstellt. Addy und Shellis (1996) zitieren hierzu Imfeld, der die Abrasion als „einen pathologischen Zahnhartsubstanzverlust, welcher durch abnormale mechanische Vorgänge und im Beisein von wiederholt oral zugeführten fremdartigen Partikeln oder Substanzen zustande kommt“. Andererseits wird angenommen, dass viele Zahngesundheitsprobleme in der westlichen Welt durch das Fehlen der abrasiven Nahrung verursacht oder verschärft werden (Kaifu et al. 2003). Der Großteil von Abrasionen wird in der industrialisierten Welt durch exzessives Zähneputzen bedingt und kann ähnliche Schäden wie Attrition bei Parafunktionen verursachen (Addy und Shellis 2006). Hierbei hat die Zahnbürste allein nur eine Trägerfunktion, da Putzen ohne Zahnpasta auf Zahnschmelz keinen und auf Dentin nur einen geringen Effekt hat (Absi et al. 1992). Außerdem haben bei der Zahnbürste, die Anordnung der Borsten, deren Dichte und Zusammensetzung einen Einfluss auf die Abrasivität der verwendeten Zahnpasta (Addy und Shellis 2006, Dayer et al. 2000, Phaneuf et al. 1962). Die abrasive Wirkung einer Zahnpasta auf das Dentin wird mit dem RDA-Wert (Radioactive Dentine Abrasion) und auf Zahnschmelz mit dem REA-Wert (Radioactive Enamel Abrasion) angegeben. Hohe RDA/REA-Werte weisen auf eine starke Abrasivität der Zahnpasta hin und niedrigere RDA/REA-Werte auf geringere abrasive Effekte auf Zahnschmelz und auf Dentin. Raucher- und „Extra-White“-Zahncremes, die auch Verfärbungen durch Nikotin-, Kaffee- oder Teegeuss beseitigen sollen, haben einen RDA-Wert von 100 oder mehr und damit eine hohe abrasive Wirkung

(Sander et al. 2005). Durch In-vitro-Putzversuche mit verschiedenen Zahnpasten zeigten Sander et al. (2005), dass ein RDA-Wert von unter 50 ausreichend für die Plaqueentfernung ist und keine zu hohen abrasiven Schäden eintreten. Ein RDA-Wert von 35 sollte jedoch nicht unterschritten werden, da sonst keine ausreichende Reinigungswirkung erzielt wird.

2.3 Chemische Faktoren der Erosion

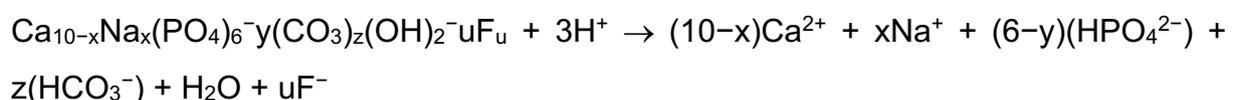
2.3.1 Zusammensetzung des Zahnschmelzes

Zahnschmelz besteht zu 93 bis 98 % aus anorganischen Bestandteilen wie Kalzium, Magnesium, Phosphor, Karbonat, Natrium und zahlreichen anderen Spurenelementen. Wasser und geringere Anteile an Proteinen und Lipiden sind zu 1,5 % bis 4 % enthalten. Die Zusammensetzung wird durch das Alter und die Ernährung beeinflusst. Ferner unterscheidet sich die Zusammensetzung des Zahnschmelzes an verschiedenen Stellen der einzelnen Zähne, die durch unterschiedliche Konzentrationen verschiedener Elemente erklärt werden können. Die Konzentrationen von Fluorid, Eisen, Zinn, Chlor und Kalzium nehmen von der Schmelzoberfläche zur Schmelz-Dentin-Grenze ab, wobei die Fluoridkonzentration direkt an der Schmelz-Dentin-Grenze wieder ansteigt. Im Gegensatz dazu sinken die Konzentrationen von Wasser, Karbonat, Magnesium und Natrium von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Schmelzoberfläche hin ab. Zudem wird ein Zusammenhang zwischen Magnesium- und Karbonatgehalt und einer erniedrigten Schmelzdichte angenommen. So kann man an Stellen mit höherer Magnesiumkonzentration wie an den Dentinhörnern und direkt unter den Zentralfissuren der Zähne eine geringere Schmelzdichte feststellen, als an stark mineralisierten bukkalen und lingualen Flächen. Kalzium und Phosphor liegen in Form kleiner Kristalle als Apatitverbindung mit der Formel $(\text{Ca}_{10-x}\text{PO}_6-x) \times \text{X}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ vor. Das Verhältnis beträgt hierbei 1 zu 1,2. Der Zahnschmelz besteht aus einer nichtstöchiometrischen Apatitverbindung, die durch ein Defizit von Kalzium-, Phosphat- und Hydroxylionen und dem Vorhandensein von Karbonat und Hydrogenphosphat gekennzeichnet ist. Es handelt sich somit nicht um eine stöchiometrische Verbindung. Durch entsprechende interne Substitutionsvorgänge entsteht Fluorapatit oder fluoridiertes Hydroxylapatit mit einer höheren Resistenz gegen Säureangriffe als Hydroxylapatit. Karbonatapatit und nicht apatitisch gebundene Kalzium-Phosphatverbindungen wie z. B. Oktakalziumphosphat besitzen im Gegensatz eine geringere Resistenz als Hydroxylapatit gegen Angriffe durch Säuren. Der Grund hier-

für liegt in der stabileren Kristallgitterstruktur von Fluorapatit gegenüber Hydroxylapatit und der geringeren Kristallgitterstruktur von Karbonatapatit gegenüber Hydroxylapatit. Wasser liegt im Zahnschmelz sowohl in kristalliner Struktur als Hydrationssschale, aber auch an organischer Materie gebunden vor. Schmelz kann bei Flüssigkeitszufuhr Wasser, aber auch Säuren aufnehmen. Diese physikalischen Phänomene spielen bei der Kariesentstehung und Kariesprävention eine wichtige Rolle. Dabei funktioniert die Struktur des Schmelzes wie ein Molekularsieb bzw. Ionenaustauscher, da mit dem Flüssigkeitsstrom auch Ionen in den Zahnschmelz gelangen können. Die organischen Bestandteile des Zahnschmelzes wie Proteine (ca. 58 %), Lipide (ca. 40 %), geringe Mengen Kohlenhydrate, sowie Zitrat und Laktat sind vor allem im inneren Drittel des Schmelzes in Form von Schmelzbüscheln zu finden (Hellwig et al. 2006).

2.3.2 Säuren und Chelatoren

Die chemische Erosion des Zahnes geschieht einerseits durch die Anwesenheit von H^+ -Ionen (bzw. H_3O^+ -Ionen) aus starken und schwachen Säuren oder Anionen, welche Kalziumionen binden oder in Komplexen binden können. Während starke Säuren, wie z.B. Salzsäure (HCl), in der Mundhöhle kaum zu finden sind, kommen so genannte schwache Säuren, wie Essig- oder Zitronensäure häufiger vor. H^+ -Ionen entstehen bei der Dissoziation von Säuren in Wasser und können auch in unterschiedlicher Anzahl entstehen. So können beispielsweise von der Zitronensäure drei H^+ -Ionen abdissoziieren, von der Essigsäure ein H^+ -Ion. Das H^+ -Ion kann die Mineralien der Zahnhartsubstanz direkt lösen, indem es sich an Karbonat oder Phosphat bindet (Featherstone 2000). Featherstone erklärte dies an Hand einer chemischen Gleichung:



Das Resultat des direkten Säureangriffs besteht darin, dass das H^+ -Ion sich mit einem Karbonat- oder Phosphation verbindet, wodurch sich dieses von ihrem Platz im Kristall löst und zu einer direkten Oberflächenätzung führt. Hierbei ist auch der Dissoziationsgrad und die Stärke einer Säure von Bedeutung. Beispielsweise dissoziiert Salzsäure als starke Säure fast komplett in Wasser und führt zu einer raschen und direkten Demineralisierung der Oberfläche. Das Chloridion spielt bei der Demineralisation keine Rolle (Featherstone und Lussi 2006). In einer Tabelle von Featherstone

und Lussi (2006) und Smith (1974) werden die Säuredissoziationskonstanten und Kalziumassoziationskonstanten dargestellt (Tab. 2.1). Bei der Kalziumassoziationskonstanten gilt, je höher der Wert, desto stärker die Kalziumbindungskraft.

Säure	pK _a 1	pK _a 2	pK _a 3	log K _{Ca} (1)	log K _{Ca} (2)	log K _{Ca} (3)
Essigsäure	4,76			1,18		
Milchsäure	3,86			1,45		
Zitronensäure	3,13	4,76	6,40	1,10	3,09	4,68
Phosphorsäure	2,15	7,20	12,35	1,40	2,74	6,46
Weinsäure	3,04	4,37		0,921	2,80	
Kohlensäure	6,35	10,33		1,00	3,15	
Oxalsäure	1,25	4,27		1,84	3,02	
EDTA				10,7		

Tabelle 2.1: Säure- und Kalziumdissoziationskonstanten nach Featherstone und Lussi (2006) und Smith (1974)

Tabelle 2.1 zeigt, dass mehrprotonige Säuren wie Zitronensäure eine größere Komplexbildungseigenschaft haben. Zitronensäure liegt in Wasser in einem Gemisch aus H⁺-Ionen, Säureanionen und undissoziierten Säuremolekülen vor. Die Menge hängt von der jeweiligen Dissoziationskonstanten und dem pH-Wert der Lösung ab. Während das H⁺-Ion den Zahnschmelz demineralisiert, komplexiert zusätzlich das Zitrat-Ion die in Lösung gegangenen Kalziumionen. Jedes Säureanion kann, abhängig von seiner Molekülstruktur und Elektronegativität, Kalziumionen unterschiedlich stark in Komplexen binden. Hieraus erklärt sich, dass Zitronensäure mit seinen drei verfügbaren H⁺-Ionen und seiner hohen Eigenschaft, Kalzium in Komplexen zu binden, eine besonders starke, demineralisierende Eigenschaft auf den Zahnschmelz hat (Belitz et al. 2008, Featherstone und Lussi 2006, Jander et al. 2003).

Die Stärke einer Säure wird durch den jeweiligen pK_a-Wert wiedergegeben. Wenn der pH-Wert einer Lösung einer schwachen Säure dem pK_a-Wert entspricht, dann sind 50 % der H⁺-Ionen abdissoziiert und in Lösung gegangen und 50 % liegen noch als undissoziierte Säure vor.

Die Stabilitätskonstante K für die Anion-Kalzium-Wechselwirkungsbeziehung ist eine Messgröße für die Bindungsstärke. Höhere Werte von log K zeigen eine stärkere Bindungskraft an. Hinsichtlich der Kalziumbindung hat Zitronensäure eine höhere schädliche Wirkung auf den Zahnschmelz als Essigsäure, da Zitronensäure eine

stärkere Bindungskraft besitzt und somit stärker Kalzium aus dem Apatitmineral bindet und in Lösung hält. Folglich kommt es zu einer Demineralisation der Oberfläche. Bei stark Komplex-bildenden Stoffen wie EDTA ist diese Schädigung ebenfalls zu beobachten. EDTA kommt in der Histologie zum Einsatz um Knochen und Zähne zu entkalken und um diese später weiter zu verarbeiten. Aufgrund der sehr starken Bindungsfähigkeit von EDTA, kann es bereits bei neutralem pH-Wert zur Demineralisation verwendet werden (Featherstone und Lussi 2006).

Im Falle einer schwachen Säure, wie zum Beispiel Essigsäure, werden die H^+ -Ionen so lange konstant zur Verfügung gestellt und durch die Wechselwirkung mit dem Apatitmineral aufgebraucht, bis die Gleichgewichtskonstante der Säure erreicht ist. Dies beschreibt eine Erosion wie sie z.B. beim häufigen Konsum von Balsamico-Salatdressings entstehen kann. Dieses Phänomen spielt jedoch bei erosiven Schädigungen der Zahnhartsubstanz eine geringe Rolle, da die Kalzium-Acetat-Verbindung eher schwach ist (Lussi et al. 1993). Anders verhält es sich im Falle von Milchsäure. Hier hat die seitlich angebundene OH^- -Gruppe im Molekül eine stärkere Kalziumbindungskraft. Darüber hinaus weist Milchsäure ($pK_a = 3,86$) eine stärkere Säurekonstante als Essigsäure ($pK_a = 4,76$) auf und kann H^+ -Ionen schneller zur Verfügung stellen. Folglich kommt es zu einem niedrigerem pH-Wert in der Lösung. Das Verhalten bei Neutralisation ist dem von Essigsäure ähnlich. Milchsäure demineralisiert Zahnschmelz bereits bei einem pH-Wert von sechs bis sieben, also in einem Bereich, wo normalerweise keine H^+ -Ionen zur Demineralisation zur Verfügung stehen. Dies ist auf die hohe Fähigkeit des Lactat-Ions, Kalzium zu binden, zurückzuführen (Featherstone et al. 1979). Zitronensäure ist als dreiprotonige Säure hinsichtlich ihrer Fähigkeit Kalziumionen zu binden noch etwas komplexer. Sie besitzt drei pK_a -Werte, also für jedes Proton einen. Diese sind reversibel an das Zitratanion gebunden. Sind alle drei Protonen vom Molekül abgeschieden, wird das Kalzium in einem dreidimensionalen Komplex mittels elektrostatischer Wechselwirkungen der COO^- -Gruppen gebunden und wirkt hier in Form eines so genannten Chelators. Zitronensäure bewirkt also bei niedrigeren pH-Werten (ca. 2) einen direkten Säureangriff auf die Zahnhartsubstanz, und in höheren Bereichen wie bei einem pH von 7 zusätzlich ein Herauslösen des Kalziums aus dem Apatit. Dies spielt vor allem bei Fruchtsäften und Softdrinks eine große Rolle.

In einigen Fruchtzubereitungen wie Orangensaft (Hohes C Orange mit Calcium/Eckes-Granini) wird Kalzium zugesetzt, um das Zitrat etwas zu sättigen. Folglich

wird weniger Kalzium aus dem Zahnschmelz an das Zitrat gebunden und die erosive Wirkung des Getränks gemindert (Featherstone und Lussi 2006).

2.3.3 Chemische Faktoren

Der Begriff „Chemische Faktoren“ beschreibt Parameter, die auf erosive Getränke, Speisen und andere Produkte bezogen sind. Lussi und Jaeggi (2006) analysierten zahlreiche in-vitro und in-situ Studien (Miller 1907, Restarski et al. 1945, Miller 1952, Holloway et al. 1966, Stephan 1966, Rytömaa et al. 1988, Beiraghi et al. 1989, Meurman et al. 1990, Lussi et al. 1993, Mistry und Grenby 1993, Sorvari et al. 1994, Grando et al. 1996, Sorvari et al. 1996, Maupomé et al. 1998): Diese wurden sowohl an Menschen als auch an Tieren vorgenommen und untersuchten das erosive Potenzial verschiedener Speisen und Getränke. Dabei konnten Lussi und Jaeggi bei allen Studien feststellen, dass das erosive Potenzial eines sauren Getränks nicht ausschließlich vom pH-Wert abhängt, sondern auch stark von der Mineralienkonzentration und der titrierbaren Säure. Ausschlaggebend ist hierbei die jeweilige Pufferkapazität und die Eigenschaft Kalzium-Ionen zu komplexieren. Der pH-Wert, der Kalzium-, Phosphat- und Fluoridgehalt eines Getränks oder Lebensmittels bestimmen den Sättigungsgrad an Mineralien und ist, bezogen auf die Mineralien der Zahnhartsubstanz, der entscheidende Faktor bei der Demineralisation. Betrachtet man die Wirkung der untersuchten Substanz auf die Zahnhartsubstanz, wirken mit Mineralien übersättigte Lösungen nicht demineralisierend. Allerdings führt bereits eine geringe Untersättigung zu einer geringen, initialen Demineralisation. Nach begonnener Demineralisation kommt es zu einem lokalen pH-Wert-Anstieg und einer steigenden Mineralienkonzentration in der direkt der Zahnoberfläche aufliegenden Flüssigkeitsschicht. In dieser Schicht kommt es dann zu einer Sättigung, wodurch eine weitere Demineralisation des Schmelzes oder Dentins verhindert wird. Als Ergebnis ergab sich, dass mit den derzeit bekannten Messmethoden eine Erweichung der Schmelzoberfläche nicht genau bestimmt werden kann. Wenn die Flüssigkeit in Bewegung gebracht wird, also der Konsument das Getränk im Mund hin- und her spült, erhöht sich die Gefahr der Demineralisation, da die dem Zahn aufliegende, neutralisierte Schicht wegbewegt wird und der erosive Prozess von Neuem beginnt. Bei einem übermäßigen Vorhandensein eines erosiv wirkenden Stoffes ist vermutlich der pH-Wert der wichtigste Faktor bei der Demineralisation. Bei geringen Säureangriffen ist die Pufferkapazität der umspülenden Flüssigkeit, die der Zahnhartsubstanz direkt aufliegt, bedeutsamer. Im Weiteren regelt die Speichelmenge, gemessen an der

Menge des Getränks im Mund, den Demineralisationsprozess (Lussi und Jaeggi 2006).

Die Chelatoreigenschaften, wie zum Beispiel von Zitronensäure, können den erosiven Prozess *in vivo* verstärken, indem die Säure sowohl mit den im Speichel enthaltenen Mineralien als auch mit den Mineralien der Zahnhartsubstanz, die durch den Erosionsprozess in Lösung gehen, reagieren. Meurmann und ten Cate (1996) beobachteten, dass durch herkömmliche Fruchtsäfte bis zu 32 % des im Speichel enthaltenen Kalziums von Zitrat komplexiert wird. Dadurch wird die Sättigung des Speichels mit Kalzium herabgesetzt und die Demineralisation der Zahnhartsubstanz gefördert. Hinzu kommt, dass Kalziumchelatoren den Schmelz möglicherweise direkt demineralisieren. Je höher die Pufferkapazität eines Getränks ist, desto länger benötigt der Speichel, um die Säure zu neutralisieren. Daher wirken einige Getränke stärker erosiv als andere, obwohl sie den gleichen pH-Wert besitzen. Grenby (1996) schlug vor, das erosive Potenzial eines Lebensmittels zu modifizieren, indem einmal die Menge an Säure verringert wird und die Säure selbst verändert wird. Hierbei könnte z.B. Zitronensäure durch die weniger erosiv wirkende Apfelsäure ersetzt werden. West et al. (2001) fanden für Zitronensäure einen stärkeren erosiven Substanzverlust als für Phosphorsäure, die als vergleichbare Säure angesehen werden kann. Hanning et al. (2005) untersuchte auf Rinderzahnschmelzproben den erosiven Charakter von verschiedenen Säuren bei pH 2, 2,3 und 3 und bei einer Inkubationszeit von ein bis fünf Minuten. Es zeigte sich ein hohes erosives Potenzial bei Milchsäure, ein geringeres bei Apfel- und Salzsäure. Die weiteren getesteten Säuren wie Essig-, Zitronen-, Oxal-, Phosphor- und Weinsäure zeigten sich weniger erosiv.

Lussi et al. (1993) fanden, dass nicht allein der pH-Wert sondern Kalzium und Phosphat die Erosivität bestimmen. So zeigte Joghurt mit einem Phosphatgehalt von 21,4 mmol/l und einem Kalziumgehalt von 2,5 mmol/l keine bzw. eine minimale Abnahme der Oberflächenmikrohärte (Knoop-Verfahren) gegenüber Sprite light, Apfelsaft, Grapefruit oder Salatdressing. Diese enthalten deutlich weniger Phosphat und Kalzium, wobei der pH-Wert von Joghurt bei 3,84, der von Sprite light bei 2,88, Apfelsaft bei 3,3, Grapefruitsaft bei 3,74 und Salatdressing bei 3,6 lag. Der Fluoridgehalt bei Apfelsaft lag bei 0,22 ppm, bei Salatdressing 0,14 ppm und bei Joghurt nur bei 0,06 ppm. Der enthaltene Fluoridgehalt war zu niedrig, um eine schützende Wirkung zu erzielen.

Lussi et al. (1995) fanden in einer weiteren Untersuchung, dass die Erosivität anhand des Gehalts von Phosphat, von Fluorid, der titrierbaren Menge an NaOH bis zu einem pH-Wert von 7, sowie der pH-Wert des Getränkes zur Vorhersage der Erosivität geeignet sind. Ein hohes erosives Potenzial hatten Apfelsaft, Schweppes, Orangensaft und Grapefruitsaft.

Cairns et al. (2002) verdünnten verschiedene Säfte mit Wasser und fanden für die Verdünnungen 1:1 einen um 50 % geringeren Bedarf an Natronlauge zum Erreichen eines pH-Wertes von sieben gegenüber unverdünnten Säften. Selbst bei 1:6-Verdünnungen war zur Neutralisierung immer noch die Zugabe von NaOH erforderlich. Allein durch eine Wasserzugabe konnte kein neutraler Wert erreicht werden. Da der Konsument aber einen gewissen Geschmack und eine gewisse Farbe des Getränks wünscht, ist anzunehmen, dass stärkere Verdünnungen über 1:1 nicht vom Verbraucher akzeptiert werden. Eine gewisse Erosivität an der Zahnhartsubstanz besteht bei Saftschorlen weiterhin.

Gray untersuchte 1962 neben dem pH-Wert den Einfluss der Temperatur, der Benetzung, dem Vorhandensein von Kationen wie Kalzium und Phosphat, auf die Löslichkeit des Schmelzes. Mit verbesserter Benetzung nahm die Löslichkeit zu. Eine Temperaturerhöhung von 27 auf 37 °C erhöhte die Löslichkeit um 20 %. Die Zugabe von Kalziumchlorid (CaCl_2) auf 0,03 M verhinderte nahezu vollständig die Löslichkeit des Zahnschmelzes. Das Zufügen von Phosphat als NaH_2PO_4 verringerte ebenfalls die Löslichkeit, wenngleich geringer als das Beifügen von Kalzium. Andere Mineralien, wie Magnesium, waren nur sehr schwach wirksam. Außerdem hatten die undissoziierte Säure, die dissoziierte Säure und die Pufferkapazität Einfluss auf die Löslichkeit des Schmelzes. Dies lässt sich folgendermaßen erklären: Wird eine Säure oder Base in Wasser gegeben, kommt es zur Einstellung eines Gleichgewichtes. Das bedeutet, dass ein Teil als eigentlichen Säure und ein Teil als Salz und Proton bzw. als H_3O^+ -Ion vorliegt, da es sich um eine wässrige Lösung handelt. Den Anteil, der als Salz und Proton vorliegt, wird als dissoziiert bezeichnet. In welchem Umfang dieser Prozess stattfindet, lässt sich aus dem pK_s -Wert der einzelnen Säuren ablesen. Dieser wird aus Tabellen entnommen und er bezeichnet den "Wendepunkt" in der Kurve, wenn diese Säure titriert wird. Hat diese einen relativ niedrigen Wert, dann dissoziiert sie stark, bei einem entsprechend höheren Wert liegt ein höherer Anteil undissoziierter Säure vor (Zeeck et al. 2005)

Die Pufferkapazität einer Lösung beschreibt, wie viel Protonen oder OH⁻-Ionen man zugeben kann, ohne dass sich der gewünschte pH-Wert ändert (Bahadir et al. 1995). Speichel besitzt einen Carbonatpuffer. Je nachdem wie gut dieser Puffer seitens des Organismus ist, wird er besser mit Säureangriffen fertig oder eben auch nicht.

Desweiteren spielt bei der erosiven Wirkung auf den Zahnschmelz auch der Gehalt von Kalzium und Phosphat in Lebensmitteln eine Rolle. Larsen (1973) und Larsen und Nyvad (1999) nahmen an, dass die erosive Wirkung auf Hydroxyl- und Fluorapatit abgeschätzt werden kann, indem der pH-Wert, der Kalzium-, Phosphat- und Fluoridsättigungsgehalt in Lebensmitteln bestimmt wird. In einer Untersuchung stellte Lussi keine Erosionen an Schmelzproben fest, die in Orangensaft mit einem pH-Wert von 4 und einer zugesetzten Kalziumkonzentration von 42,9 mmol/l für sieben Tage eingelegt wurden (Lussi et al. 1993). Barbour et al. (2005) fanden in vitro, dass bereits geringe Veränderungen in der Kalziumsättigung und eine geringe Menge Phosphat, ohne Veränderung des pH-Werts, eine verringerte erosive Wirkung hatten. Attin et al. (2003) untersuchten welche Auswirkung 1%ige Zitronensäure (pH-Wert 2,2), mit unterschiedlichen Konzentrationen an Kalzium, Phosphat und/oder Fluorid angereichert wurden, auf die Zahnhartsubstanz hatte. Es konnte ein niedrigeres erosives Potenzial festgestellt werden. Weiterhin zeigten Attin et al. (2005), dass der effektivste Schutz des Zahnschmelzes entweder durch die Zugabe von 1 mmol/l Kalzium oder einer Kombination aus 0,5 mmol/l Kalzium mit 0,5 mmol/l Phosphat und 0,031 mmol/l Fluorid zur Zitronensäure erreicht werden konnte. In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass sowohl Fruchtsäfte, als auch Sporterfrischungsgetränke, die mit Kalzium angereichert wurden, ein geringeres erosives Potenzial aufwiesen. Als weiteres Beispiel dient Joghurt. Hierbei handelt es sich um ein Nahrungsmittel mit einem niedrigen pH-Wert von etwa 4, aber mit einer hohen Konzentration an Kalzium und Phosphat. Bezogen auf die Hydroxylapatitstruktur des Schmelzes ist Joghurt als übersättigt anzusehen und somit trotz seines niedrigen pH-Wertes weniger erosiv, als Nahrungsmittel mit ähnlichem pH-Wert, allerdings ohne die hohen Kalzium- und Phosphatkonzentrationen. Die Rolle von Fluorid beim Schutz vor Erosionen ist umstritten (Larsen und Nyvad 1999, Larsen und Richards 2002). Untersuchungen von Lussi et al. (1993 und 1995) und Mahoney et al. (2003) ergaben, dass die natürliche Fluoridkonzentration in Getränken keinen großen Effekt bei der Verminderung von Erosionen bewirkt, jedoch kann unter geringen erosiven Bedingungen ein minimaler schützender Effekt vorhanden sein. Wenn Fluoride z.B. über Zahnpas-

ten appliziert werden, sind sie während der täglichen De- und Remineralisationsvorgänge anwesend und begünstigen die Bildung von Fluorapatit und Fluorhydroxylapatit. Fluorapatit und Fluorhydroxylapatit haben eine geringere Löslichkeit als Hydroxylapatit. Viele Lebensmittel und Getränke sind in ihrer Zusammensetzung und ihrem pH-Wert in Bezug auf den Zahnschmelz untersättigt. Folglich geht gerade die äußerste fluorapatit- und fluorhydroxylapatithaltige Schmelzschicht in Lösung. Dadurch ist der schützende Effekt dieses fluoridreichen Minerals bei der Bildung von Erosionen weniger bedeutungsvoll als z.B. beim Schutz vor Karies. Eine In-vitro-Untersuchung von Soravari et al. (1994) zeigte, dass eine Behandlung mit 2,26 %igem Fluoridlack für 24 Stunden und hochkonzentrierten Fluoridbädern (1,2 %) für eine Dauer von 48 Stunden vor der Säurebehandlung einen Schutz vor Erosion ergab. Dieser Schutz ist auf das Ausfällen von Kalziumfluorid zurückzuführen, das sich als Partikel auf der Zahnoberfläche absetzt und nach und nach Fluorid freigibt. Folglich ist die vorsichtige Applikation von Fluorid, ohne Schädigung des Pellikels, vor der Säureexposition am sinnvollsten, um sich vor Erosion zu schützen (Lussi und Jaeggi 2006). Jedoch ist klinisch eine derart lange Einwirkzeit von Fluoridprodukten nicht realistisch.

Bei der Entstehung von Erosionen muss als ein weiterer Faktor die Klebrigkeit und die Löslichkeit einer Flüssigkeit beachtet werden. Ireland et al. (1995) fanden eine unterschiedlich starke Neigung von Getränken am Schmelz zu haften. Hierbei waren die thermodynamischen Eigenschaften entscheidend. Je höher die Anhaftung einer sauren Substanz am Zahn ist und nicht von Speichel abgelöst werden kann, desto länger wirkt sie auf die Zahnoberfläche ein, was zu einer erhöhten Erosionsgefahr führen kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die beiden oft genannten Parameter, pH-Wert und titrierbare Säure, die Erosivität eines Lebensmittels nicht alleine bestimmen. Nahrungsmittel oder Getränke mit Chelatoren wie Zitronen- oder Oxalsäure, Weinsäure und Laktat, die Kalzium komplexieren, haben ein hohes Potenzial erosiv zu wirken. Dagegen verringert ein höherer Gehalt an Kalzium, Phosphat und Fluorid die Erosivität.

Zudem sind auch die Zusammensetzung, die Menge des Speichels und das vom Speichel auf der Zahnoberfläche gebildete Pellikel ein wichtiger Schutzfaktor.

2.4 Biologische Faktoren der Erosion

2.4.1 Speichel

Der Speichel wird als der wichtigste biologische Faktor zur Verminderung der erosiven Schädigung auf die Zahnhartsubstanz angesehen. So hat der Speichel durch Verdünnung, durch reinigendes Wegspülen, durch Neutralisation und durch seine puffernden Eigenschaften direkten Einfluss auf die Erosivität der einwirkenden Substanz. Zudem ist der Speichel notwendig für die Bildung einer schützenden Membran auf der Zahnoberfläche, dem so genannten Pellikel und unterstützt die Remineralisation. Die Rolle des Speichels beim Schutz vor Erosion wird in In-vitro-Versuchen deutlich. Diese wurden ohne Einfluss von Speichel durchgeführt. In weiteren In-vivo-Versuchen dann unter Speichereinfluss. Bei den In-vivo-Versuchen konnte eine deutliche Reduktion der erosiven Schädigung der Zahnhartsubstanz festgestellt werden (West et al. 1998).

Die schützende Wirkung des Speichels beginnt bereits vor dem Säureangriff durch extraorale Stimulation, wie zum Beispiel dem Geruch von Speisen oder dem Anblick von sauren Nahrungsmitteln. Dies bewirkt eine Erhöhung der Speichelflussrate (Christensen und Navazesh 1984, Engelen et al. 2003, Lee und Linden 1992). Engelen et al. 2003). Auch vor dem Erbrechen kommt es zu einer erheblichen Steigerung der Speichelflussrate durch das Brechzentrum im Gehirn. Dies wird häufig bei Patienten beobachtet, die unter Bulimia nervosa oder an chronischem Alkoholmissbrauch leiden. Dies soll die Zähne vor einer Schädigung durch sauren Magensaft schützen. Im Gegensatz hierzu tritt dies nicht bei Patienten mit chronischem Reflux auf, da es hierbei zu keiner Stimulation des autonomen Nervensystems kommt. Folglich kommt es auch nicht zu einer Aktivierung des Brechzentrums im Gehirn (Sakse-na et al. 1999).

Zu den schützenden Faktoren des Speichels gehört neben der Sekretion von Kohlensäure (H_2CO_3) auch die Sekretion von zahlreichen Ionen wie Hydrogenkarbonat (HCO_3^-), Dihydrogenphosphat (H_2PO_4^-), Hydrogenphosphat (HPO_4^{2-}), Kalzium (Ca^{2+}) und Fluorid (F^-) (Dodds et al. 2005, Larsen und Pearce 2003). Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) stellt dabei die Hauptpufferkomponente des Speichels dar. Seine Konzentration steigt bei Speichelstimulation von 5 mmol/l im Ruhezustand auf ca. 60 mmol/l bei Stimulation. Dihydrogenphosphat wird bei Speichelstimulation gegensätzlich reguliert und sinkt von 5 mmol/l im Ruhezustand auf 3 mmol/l bei Stimulation

(Ferguson 1975). Ebenso spielt das Proteinpuffersystem bei niedrigeren pH-Werten eine wichtige Rolle. Von Bedeutung sind insbesondere die prolinreichen Proteine, die vorwiegend im Speichel aus der Parotis stammen und Muzine, die die Hauptkomponente des Speichels der Glandulae sublingualis und submandibularis darstellen. Muzine wirken zudem einem abrasiven Zahnhartsubstanzverlust entgegen, da sie eine Schmierschicht auf der Zahnoberfläche bilden (Nieuw Amerongen et al. 1987, Schupbach et al. 2001).

Gelangen erosiv wirkende Getränke und Speisen in die Mundhöhle, wird ein Zusammenspiel von verschiedenen Mechanismen in Gang gesetzt, um die Zähne zu schützen. So können bereits drei Tropfen einer 4%igen Zitronensäure, die alle 30 Sekunden im Abstand von fünf Minuten auf die Zunge getropft werden, eine Erhöhung der Speichelflussrate von 0,38 ml/min auf durchschnittlich 1,87 ml/min bewirken (Engelen et al. 2003). Zusätzlich kann der Kauvorgang den Speichelfluss erhöhen (Yeh et al. 2000). Abhängig vom Stimulus wird in den verschiedenen Speicheldrüsen Speichel in unterschiedlicher Menge und Zusammensetzung abgegeben. Dies beeinflusst den Umfang des Schutzes durch den Speichel (Engelen et al. 2003). Eine höhere Speichelflussrate mit erhöhtem Hydrogenkarbonatgehalt fördert die neutralisierende Wirkung, wodurch die Pufferkapazität des Speichels und die Spülwirkung erhöht wird (Eisenburger et al. 2001, Jarvinen et al. 1991, Lussi und Schaffner 2000, Meurman et al. 1994). Ebenso können die Konsistenz von Speisen und die Anatomie der Mundhöhle den Schutz der Zähne vor Säuren beeinflussen. Dabei werden Zahnflächen, die wenig von Speichel benetzt oder vorwiegend mukösem Speichel ausgesetzt sind, nicht so gut geschützt, wie Zahnflächen, die vorwiegend mit serösem Speichel benetzt sind. So sind die vestibulären Flächen der oberen Schneidezähne anfälliger für einen Säureangriff als die linguale Zahnflächen im Unterkiefer (Dawes 1987, Young und Khan 2002). Die Auswirkungen von Erosionen bei Patienten, die unter einer verminderten Speichelflussrate leiden, zeigen die Bedeutung des Speichels zum Schutz der Zähne. Verschiedene Studien von Bartlett et al. (1998), Jarvinen et al. (1991), Meurmann et al. (1994) und Rytomaa et al. (1998) zeigten eine starke Assoziation von Erosion, vermindertem Speichelfluss und Pufferkapazität. Verminderter Speichelfluss kann zu Mundtrockenheit führen. Für über 400 verschiedene Medikamente wird als mögliche Nebenwirkung Mundtrockenheit angegeben (Pohl-Boskamp 2005). Aber auch die Radiotherapie im Kopf-Halsbereich kann, ab-

hängig vom Strahlenfeld und Strahlendosis, durch Schädigung der Speicheldrüsen Mundtrockenheit auslösen (Maurer 2010).

2.4.2 Pellikel

Das durch den Speichel gebildete Pellikel ist eine auf Proteinen basierende Schicht, die sich einige Minuten nach dem Reinigen der Zähne bildet (Hara et al. 2006). Das Pellikel wächst vermutlich so lange, bis ein Gleichgewicht zwischen Proteinabsorption und Proteindesorption erreicht ist. Dies wird in etwa nach zwei Stunden erreicht (Lendenmann et al. 2000). Die Bildung des Pellikels erfolgt in einem zweistufigen Prozess. Im ersten Schritt heften sich zunächst einzelne Proteine durch elektrostatische Kräfte zwischen hydrophoben Regionen der Zahnoberfläche und den hydrophoben Anteilen der Proteinmoleküle an die Zähne an. Im zweiten Schritt lagern sich in einem eigenständigen Prozess Proteinaggregate und mizellenähnliche Strukturen auf der noch unbedeckten Zahnoberfläche an und reagieren mit den initial gebildeten hydrophoben Strukturen (Skjorland et al. 1995, Vitkov et al. 2004). Das neu gebildete Pellikel besteht folglich vor allem aus globulären Strukturen und erscheint in der Rasterelektronenmikroskopie und Transmissionsmikroskopie als knotige, unebene Struktur (Young et al. 2000). Das Pellikel schützt den Zahnschmelz vor Erosion und ist auch am Schutz vor Überempfindlichkeiten der Zähne beteiligt (Young et al. 2000). Beim Schutz vor Erosion wirkt das Pellikel als semipermeable Diffusionsbarriere, die einen direkten Kontakt zwischen Säuren und Zahnoberfläche verhindert (Hanning 1999, Zahradnik et al. 1977 und 1978). Dieser schützende Effekt wurde 1991 von Meurmann in einer Untersuchung mit dem Rasterelektronenmikroskop gezeigt, wobei ein zwei Stunden altes Pellikel eine Erosion durch ein saures Getränk vermindern konnte. Es wird somit angenommen, dass in Abhängigkeit von der Zusammensetzung, der Dicke und dem Reifungsgrad des Pellikels die Demineralisation des Zahnschmelzes verhindert werden kann (Hara et al. 2006). Zudem kann das Pellikel als ein Elektrolytreservoir für die Remineralisation des Zahnschmelzes dienen (Hanning et al. 2005) und das Fortschreiten der Erosion verhindern. Nieuw Amerongen et al. (1987) fanden, dass die im Pellikel enthaltenen Speichelmuzine den Schutz gegen Erosion noch zusätzlich erhöhen. Allerdings konnten Hanning und Balz (2001) keine Unterschiede in der Schutzfunktion des Pellikels bei unterschiedlichen Muzinkonzentrationen finden. 2005 berichteten Hanning et al., dass die im Speichel vorkommende Carbonanhydrase VI Erosionen verringerte, in dem sie H⁺-Ionen neutralisierte.

Auf den verschiedenen Zahnoberflächen gibt es unterschiedliche Pellikeldicken, die die Schutzfunktion beeinflussen. Die dünnste Pellikelschicht, mit einer Dicke von etwa 0,3 bis 0,38 μm , konnte auf der palatinalen Fläche der Oberkieferzähne gefunden werden. Die dickste Schicht, mit einer Stärke von ca. 0,96 bis 1,06 μm , fand sich auf den lingualen Flächen der Unterkieferzähne. Die Inkubationszeit für diese Untersuchung von Amaechi et al. (1999) betrug eine Stunde. Übereinstimmend mit den Ergebnissen von Amaechi et al. (1999) fanden Hanning und Balz (2001) heraus, dass die in über 24 Stunden in situ gereiften Pellikel auf der palatinalen Seite der Schmelzproben dünner waren, als auf Proben, die auf der bukkalen oder lingualen Fläche der Zähne aufgebracht waren (Hanning und Balz 1999 und 2001). Diese Daten unterstützen die Ergebnisse von Young und Kahn (2002) über Verbreitung von dentalen Erosionen: Zahnoberflächen, die von einer dickeren Pellikelschicht überzogen sind, weisen verminderte erosive Defekte auf. Dennoch fanden sich an palatinalen Zahnflächen mit dünner Pellikelschicht noch geringere Erosionsanzeichen, als auf Flächen mit dickerem Pellikel. Dies wurde vor allem auf die bessere Spülwirkung des Speichels an den palatinalen Flächen zurückgeführt.

Das Pellikel erreicht nach etwa zwei Stunden seine volle Dicke. Danach folgen Umbau- und Reifungsprozesse, die das Pellikel säurebeständiger machen. Es gilt als gesichert, dass Pellikel, je nach Zusammensetzung und Reifegrad, den Zahnschmelz unterschiedlich gut vor erosiven Angriffen schützen (Hara et al. 2006). Dennoch wird in einigen Studien wie z.B. von Hanning et al. (2004) hervorgehoben, dass ein Pellikel keinen kompletten Schutz darstellt. Hara et al. zeigten 2004, dass ein zwei Stunden lang auf der Zahnoberfläche gereiftes Pellikel die Demineralisation durch Säure aus Orangensaft für 10 Minuten vermindern konnte. Hierbei wurde ein In-situ-Modell verwendet, das Zero et al. 1998 zur Untersuchung dentaler Erosionen entworfen hatten. Nach einer Inkubationszeit von 20 und 30 Minuten konnte jedoch keine Schutzwirkung des Pellikels mehr nachgewiesen werden. Es sollte durch die zehnminütige Einwirkzeit bei der Untersuchung, das Trinken von 400 ml Orangensaft in einem Zeitrahmen von 20 Minuten simuliert werden. Dabei wurden kleine Mengen von ca. zehn Milliliter im Abstand von 15 Sekunden schluckweise getrunken und dieser Vorgang 40 mal wiederholt. Diese Art der Säureexposition birgt ein hohes Risiko für erosive Schäden an der Zahnhartsubstanz. Auf Dentin bot ein zwei Stunden altes Pellikel keinen Schutz vor Erosion. Dies wird jedoch nicht auf die unterschiedliche Zusammensetzung des Pellikels zurückgeführt, sondern es werden andere Eigenschaften

des Dentins bei der Pellikelanhaftung und Pellikelzusammensetzung vermutet (Glantz et al. 1996). Zudem wird eine höhere Anfälligkeit des Dentins für dentale Erosionen angenommen, die mit einem Verlust des Pellikels zusammen mit dem angegriffenem Dentin einhergehen (Hara et al. 2004).

Somit schützt Speichel nicht vollständig vor erosiven Schäden, sondern vor gelegentlichen oder schwachen Säureangriffen in der Mundhöhle. Es entstehen keine pathologischen Folgeerscheinungen, es sei denn, der Säureangriff ist stark und regelmäßig, oder der natürliche Schutz ist nicht adäquat. Somit sind die Bestandteile des Speichels nicht in der Lage einem erosiven Angriff entgegenzuwirken. Das Risiko für erosive Schäden der Zahnhartsubstanz bei starken erosiven Angriffen, sowie bei Speicheldrüsenerkrankungen kann somit dramatisch zunehmen (Hara et al. 2006).

2.5 Extrinsische Einflüsse bei der Entstehung von Erosionen

Verhaltensinflüsse

Die Ernährungsgewohnheiten sind der am meisten untersuchte Einflussfaktor bei der Entstehung von Erosionen. Klinische Studien zeigen, obwohl sie in der Anzahl und in den Anwendungsbereichen begrenzt sind, dass der regelmäßige Konsum von Softdrinks wie Cola, aromatisierte Getränke, Energiegetränke, Alkopops, Säfte und Schorlen sowie der Konsum von sauren Früchten (Ananas, Apfel, Kiwi, Nektarinen, Zitronen), essigsaurer und milchsäurevergorener Nahrungsmittel (Balsamico, Essiggurken, Mixed-Pickles, Sauerkraut) zu Erosionen führen (Zero und Lussi 2000). Auch bestimmte Kräutertees, wie Hagebutte, Malve oder auch aromatisierte Tees mit Zitronensäure sind mit einem pH-Wert von 2,6 bis 3,9 als sauer einzustufen. Sie besitzen somit ein erhöhtes Potenzial für die Entstehung von Erosionen (Zero 1996). Zudem haben diese Kräutertees eine hohe Pufferkapazität und einen niedrigen Fluoridgehalt. Folglich können die oftmals als gesundes Getränk propagierten Kräutertees ein höheres erosives Potenzial besitzen als Orangensaft (Zero und Lussi 1996). Es wird angenommen, dass in Europa Softdrinks und Fruchtsäfte einen Anteil von 50 % beim gesamten Konsum alkoholfreier Getränke ausmachen. Insbesondere Kinder konsumieren häufig Softdrinks. Hier wird der Anteil auf 80 % geschätzt. Das erosive Potenzial eines Nahrungsmittels hängt jedoch nicht nur vom pH-Wert, sondern auch von weiteren Faktoren wie der Pufferkapazität, dem Mineraliengehalt, insbesondere

Kalzium und Phosphat, den Chelatoreigenschaften und vor allem von der Häufigkeit des Konsums ab (Lussi et al. 2005).

Im Rahmen von klinischen Experimenten erfolgte die intraorale pH-Messung nach dem Genuss von sauren Getränken oder dem Spülen mit sauren Getränken. Hierbei konnte jedoch gezeigt werden, dass die meisten sauren Getränke nur einen kurzzeitigen Rückgang des pH-Werts in der Mundhöhle bewirken. Grapefruitsaft, der den höchsten Gehalt an titrierbarer Säure besitzt, verursachte als einziges einen anhaltenden pH-Wertabfall. Das Spülen mit sauren Getränken verursachte einen niedrigeren und länger anhaltenden pH-Rückgang als das normale Trinken. Seltener oder exzessiver Konsum von bestimmten Nahrungsmitteln wie Zitronensaft, Orangensaft, kohlenstoffhaltige Cola-Getränke, Orangenlikör und Getränke mit Fruchtroma wurden auf der Basis von Fallberichten untersucht. Aufgrund dieser Untersuchungen konnte sowohl im Tierversuch als auch in Fallstudien festgestellt werden, dass alle säurehaltigen Speisen und Getränke, die untersucht wurden, ursächlich für erosive Schäden waren. Hierbei stellen die in Nahrungsmitteln verwendeten Säuren wie Zitronensäure, Phosphorsäure, Apfelsäure und Weinsäure die Hauptursachen dar (Meurman und ten Cate 1996). Bei der Erosivität eines Lebensmittels ist hierbei nicht der pH-Wert alleine ausschlaggebend. Weitaus wichtiger sind hierbei die titrierbare Säure und das Vorhandensein von Kalziumchelatoren. In Nahrungsmitteln enthaltenes Kalzium, Phosphat und Fluorid haben eine protektive Wirkung (Lussi et al. 1993). Eine weitere schützende Funktion können physikalische und chemische Eigenschaften, die eine Anhaftung an der Zahnoberfläche oder eine Erhöhung der Speichelflussrate bewirken. So konnte gezeigt werden, dass ein und dieselbe Getränkesorte weniger erosiv zu sein schien als eine andere. Es scheint also möglich, das erosive Potenzial zu reduzieren, indem die Rezeptur des Getränkes verändert wird. So wurde beispielsweise Apfelsäure anstatt Zitronensäure verwendet und Kalzium und Phosphat zugegeben. Grenby führte hierzu Versuche durch, bei denen die in Softdrinks häufig enthaltene Zitronensäure durch Apfelsäure ersetzt wurde. Zudem wurde den Getränken Mineralien wie Fluorid oder Bikarbonat zugegeben um das erosive Potenzial zu senken (Grenby 1996). In Tierversuchen wurde ebenfalls der erosive Charakter von verschiedenen Speisen und Getränken untersucht (Zero und Lussi 2000). So zitierte Zero 1996 eine an Ratten durchgeführte Untersuchung von Miller (1952). Dieser beschrieb die erosiven Eigenschaften einer großen Anzahl verschiedener Früchte, Fruchtsäfte, Softdrinks und anderer Getränke. Miller fand her-

aus, dass die Erosivität von Fruchtsäften drei- bis siebzehnmals stärker war, als die der Früchte, aus denen der Saft hergestellt ist. Einen starken erosiven Effekt beobachtete er bei Grapefruitsaft, einen geringeren bei Orangen- und Ananassaft. Kohlensäurehaltige Getränke verursachten mittelmäßig starke Erosionen, wobei diese im allgemeinen geringer waren, als die starken erosiven Schäden, die in Getränken mit Fruchtroma ohne Kohlensäure gefunden wurden. Häufig konsumierte Getränke wie Tee, Kaffee, Kakao und Milch wiesen kein erosives Potenzial auf. Interessant war die Beobachtung, dass erosive Früchte, die mit einer nicht sauren Frucht wie z.B. Papaya oder mit Milch vermischt sind, ihr erosives Potenzial verlieren (Zero 1996).

Lebensgewohnheiten und individuelles Verhalten

In unserer modernen, industrialisierten Gesellschaft fehlt heute oftmals die Zeit für regelmäßige und gemeinsame Mahlzeiten. Unregelmäßige Nahrungsaufnahme, das Trinken von erosiven Getränken zwischendurch und abweichendes Schluckverhalten sind heute alltäglich und stellen einen weiteren Risikofaktor für die Entwicklung von Erosionen dar. Auch bei Kindern ist ein stetiger Anstieg von erosiven Veränderungen zu beobachten. Dies wird vor allem auf den erhöhten Konsum von sauren Fruchtsäften, Fruchtsaftgetränken oder verschiedenen anderen Erfrischungsgetränken zurückgeführt (Zero 1996). Der Genuss solcher Getränke, insbesondere unmittelbar vor dem zu Bett gehen, begünstigt die Entwicklung von säurebedingten Zahnhartsubstanzschäden bei Kindern und Jugendlichen (Zero und Lussi 2000). Das individuelle Ernährungsverhalten und die Lebensgewohnheiten werden stark vom sozioökonomischen Status eines Individuums beeinflusst. Millward et al. (1994) beschrieben, dass vierjährige Kinder mit niedrigem sozioökonomischen Status weniger von Erosionen betroffen waren, als Kinder mit höherem sozialen Status, was auf unterschiedliche Ernährungs- und Mundhygienegewohnheiten zurückgeführt wurde. Zudem wird in unserer Gesellschaft ein gesunder Lebensstil propagiert, der viel Ausdauersport und eine Ernährung mit möglichst hohem Obst- und Gemüseanteil beinhaltet. Hierbei ist zum Einen der erhöhte Säureanteil in der Ernährung ein Risiko, zum Anderen kommt es durch Sport zum Wasserverlust im Körper und einer verminderten Speichelflussrate. Zudem dienen nicht selten saure Sportgetränke als Durstlöscher. Ein weiterer Faktor bei der Entwicklung von Erosionen durch individuelle Verhaltensgewohnheiten ist die zunehmende fleischlose Ernährung. Vegetarische Ernährung wird aus religiösen und ethnischen Gründen praktiziert und ist auch bei Teenagern populär. Die vegetarische Ernährung besteht meist aus mehr säurehaltigen und auch faserreichen

Nahrungsmitteln als Mischkost. Es kann somit zu einem Zahnhartsubstanzverlust durch Erosion, aber auch durch Abrasion, führen. Auch Designerdrogen wie „Ecstasy“ können einen Risikofaktor für den Zahnhartsubstanzverlust darstellen. Zero (1996) zitiert hierzu eine Untersuchung von Duxbury (1993), der herausfand, dass bei Ecstasykonsumenten ein erhöhtes Risiko für Zahnhartsubstanzverlust besteht. Dies führt er neben der verminderten Speichelfließrate auch auf die durch die Droge induzierte erhöhte körperliche Aktivität und den Konsum von Softdrinks mit niedrigem pH-Wert zurück (Zero 1996).

Medikamente und Mundhygieneprodukte

Viele Mundhygieneprodukte, wie Zahnpasten und fluoridhaltige Mundspüllösungen, besitzen einen niedrigen pH-Wert. Dies sorgt einerseits für die chemische Stabilität der Fluoridkomponenten, fördert andererseits den Einbau der Fluoridionen in das Hydroxylapatit und damit die Bildung von Fluorapatit. Außerdem wird auch die Bildung von Kalziumfluorid auf der Zahnoberfläche gefördert, die einen Schutz gegen Säureeinflüsse bildet.

Zahnpflegeprodukte wie Mundspüllösungen, die z.B. EDTA enthielten, um die Zahnsteinbildung zu vermindern, können erosiven Substanzverlust bedingen (Rytömaa et al. 1989). Dies wurde auf die kalziumkomplexierende Wirkung von EDTA zurückgeführt.

Wattestäbchen, die mit Limonenaroma versetzt sind, wie sie in Krankenhäusern bei bettlägerigen Personen zur Speichelstimulation und zur Mundhygiene eingesetzt werden, können bei verminderter Speichelflussrate verstärkt Erosionen bewirken. Im Experiment wurden Erosionen an Rinderzähnen verursacht (Meurman et al. 1996).

Zahnpasten, die Zitronensäure oder Zitrat enthalten, einen niedrigen pH-Wert und kein Fluorid enthalten, können einen Zahnhartsubstanzverlust bewirken. Auch hier konnte in In-vitro-Versuchen an Rinderzähnen eine Abnahme der Härte gemessen werden (Lussi und Jaeggi 2001).

Eine erosive Wirkung kann auch bei verschiedenen Medikamenten festgestellt werden. Bei Achlorhydrie-Patienten wird die im Magensaft fehlende Magensäure oral substituiert und somit können erosive Schäden an der Zahnhartsubstanz auftreten. Auch Ascorbinsäure (Vitamin C), z.B. als Kautablette, führt bei regelmäßiger Einnahme zu erosiven Zahnhartsubstanzverlust. Acetylsalicylsäure (z.B. Aspirin®) ist ein weit verbreitetes Medikament und birgt ebenfalls bei regelmäßiger Einnahme die Ge-

fahr, Erosionen zu entwickeln. Sullivan und Kramer (1983) untersuchten Kinder, die regelmäßig Aspirin® wegen juveniler, rheumatoider Arthritis einnahmen. Sie fanden starke Erosionen auf den okklusalen Zahnflächen bei den Kindern, die Aspirin® in Form einer Kautablette erhielten. Kinder, die Aspirin® als ganze Tablette schluckten, zeigten keine Anzeichen erosiver Schäden. Grundsätzlich kann bei medikamentös bedingten erosiven Schäden, angenommen werden, dass die Häufigkeit, der Zeitraum, die Darreichungsform und die individuelle Anfälligkeit eines Individuums einen entscheidenden Einfluss haben (Zero 1996).

Berufstätigkeit und Sport

Berufe mit erhöhtem Säureanteil in der Umgebungsluft bergen ein erhöhtes Risiko, erosive Veränderungen an der Zahnhartsubstanz zu entwickeln. Hierzu zählen insbesondere Berufe in der chemischen Industrie. Durch die Exposition mit anorganischen Säuren ist vor allem die inzisale Kante der vorderen oberen Schneidezähne betroffen. Auch die Seitenzähne weisen vermehrt Erosionen auf. Mundatmung erhöht als Kofaktor das Risiko erosiver Veränderungen zusätzlich (Zero und Lussi 2000). Zero zitierte 1996 hierzu mehrere Studien. So beschrieb Miller (1907) die dentalen Erosionen bei Arbeitern einer Dynamitfabrik, die einer Atmosphäre aus Schwefel- und Salpetersäure ausgesetzt waren. Ten Bruggen Cate (1968) untersuchte die Verbreitung und das Fortschreiten von Erosionen bei britischen Fabrikarbeitern. Hierbei handelte es sich um Beschäftigte, die in einer Batteriefabrik Schwefelsäure ausgesetzt waren und Galvaniseure, die unter Salzsäuredämpfen zu leiden hatten. Zudem untersuchte er weitere Arbeiter, die Ätz- und Reinigungsprozesse mit Schwefel- und Salzsäure durchführten. Die Kontrollgruppen arbeiteten an Arbeitsplätzen, die frei von Säuredämpfen waren. Im Rahmen dieser Studie konnte bei den Arbeitern der Batteriefabrik die größte Inzidenz und Prävalenz dentaler Erosionen festgestellt werden. Durch Schutzmaßnahmen konnte ein effektiver Rückgang der Erosionen erzielt werden. Neuere deutsche und finnische Untersuchungen bei Fabrikarbeitern zeigten, dass berufsbedingte Erosionen zu einem fortschreitenden Problem in manchen Ländern werden (Zero 1996). So fanden Tuominen und Tuominen (1991) bei Arbeitern einer Düngemittelfabrik in Tansania vermehrten Zahnhartsubstanzverlust an Molaren. Sie führten dies zum einen auf die Schwefelsäuredämpfe in der Fabrik, zum anderen auf die sehr faserreiche, abrasive und landestypische Ernährung zurück. Je höher die Säurekonzentration am Arbeitsplatz war, desto häufiger traten

Erosionen auf und desto ausgeprägter war die Erscheinungsform der Erosionen (Tuominen und Tuominen 1991).

Angehörige einer weiteren Berufsgruppe mit einem erhöhten Risiko für Erosionen sind professionelle Weinverkoster. Das erosive Potenzial von Wein ist relativ hoch. Dies liegt an der geringen Mineralienkonzentration, insbesondere von Phosphat und Kalzium und an dem niedrigen pH-Wert von 3 bis 3,6. Die Anzahl der professionellen Weinverkoster nimmt weltweit stetig zu. In Ländern wie Schweden und Finnland prüfen professionelle Weinverkoster in staatlichen Weinläden täglich 20 bis 50 Weine. Die Untersuchung von 19 Weinverkostern ergab bei 14 Personen geringe bis starke Erosionen, die sich vor allem an den vestibulären Flächen der Oberkieferfrontzähne zeigten. Tendenziell nahm die Schwere der Erosionen mit der Anzahl der Berufsjahre zu. Die unstimulierte Speichelbildungsrate war bei 14 von 19 Weinverkostern verringert, was ebenfalls die Entstehung und das Fortschreiten von Erosionen begünstigte (Wiktorsson et al. 1997). Eine weitere Untersuchung wurde von Chikte et al. (2005) durchgeführt. Hierbei wurden Winzer, die über einen häufigen und langen Zeitraum Wein konsumierten und ihre Ehepartner, die diesem Reiz nicht ausgesetzt waren, untersucht. Die Studie versuchte herauszufinden, ob bei den Winzern ein höherer Zahnhartsubstanzverlust festzustellen war als bei den Ehepartnern. Hierbei wurden die Probanden klinisch untersucht, der allgemeine Zustand des Gebisses und der Kariesstatus erhoben. Zudem wurde das Vorhandensein und der Ausprägungsgrad von Zahnhartsubstanzverlust, die Fluoridierung und die Versorgung mit prothetischem Zahnersatz berücksichtigt. Auch die Speichelfließrate, die Pufferkapazität und der pH-Wert des Speichels wurden erfasst. Insgesamt nahmen an der Studie 36 Personen teil, die sich in 21 Winzer und 15 ihrer Ehepartner aufteilten. Das Ergebnis der Studie zeigte bei den Winzern ein erhöhtes Risiko Zahnhartsubstanzverlust zu entwickeln. Es wurde auch ein höherer Ausprägungsgrad bei bereits bestehendem Zahnhartsubstanzverlust im Vergleich zu Personen, die nicht regelmäßig Wein tranken oder testeten, festgestellt. Somit stellen Erosionen ein Berufsrisiko bei Winzern dar.

Auch Gray et al. berichteten im Jahr 1998 in einem Fallbericht über eine Person, die zehn Jahre in der Weinindustrie arbeitete. Zur täglichen Aufgabe gehörte das Verkosten von mindestens 20 Weinen. Die Erosion zeigte sich durch eine erhöhte Empfindlichkeit der Zähne, bedingt durch zervikale Defekte und schüsselförmige Zahnhartsubstanzschäden an der Kaufläche. Außerdem wurden die Auswirkungen von

Wein an nicht durchgebrochenen, menschlichen Zähnen untersucht. Hierzu wurden die Zähne in Wein (pH 3,3) inkubiert und anschließend unter dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Sichtbare Oberflächenveränderungen traten nach einer Inkubationszeit von 24 Stunden auf.

In einer weiteren Studie von Rees et al. (2002) wurde das erosive Potenzial von Weißweinen untersucht, die aus verschiedenen Regionen der Welt stammten. Es wurden der initiale pH-Wert, die titrierbare Säure und der Schmelzverlust in In-vitro nach einer vierstündigen Inkubationszeit gemessen. Es stellte sich heraus, dass die meisten Weine so erosiv wie Orangensaft waren. Einige Sorten wie Cava wirkten deutlich erosiver.

Bei einigen sportlichen Aktivitäten besteht ebenso das Risiko, dentale Erosion zu entwickeln. Dies ist zum einen dadurch bedingt, dass durch körperliche Anstrengung eine Dehydrierung und ein daraus resultierender Mineralverlust erfolgt. Dies wird häufig durch den Konsum spezieller mineralhaltiger Sportgetränke kompensiert. Mathew et al. führten hierzu 2002 eine Studie an der Columbus-University Ohio in den USA durch. In dieser Studie wurde der Konsum von speziellen Sporterfrischungsgetränken bei Athleten aller Sportarten mit der Ausnahme von Schwimmern und Wrestlern der Universität untersucht. Schwimmer wurden wegen des Risikos von Erosionen aufgrund eines möglichen, zu niedrigen pH-Wertes des Schwimmbeckens aus der Studie ausgenommen. Wrestler wurden wegen ihrer ungewöhnlichen Ernährungsgewohnheiten zur Gewichtskontrolle ebenfalls nicht untersucht. 63 % der Athleten gaben an, mehr als einen Liter Sportgetränke pro Tag zu konsumieren. Die am meisten konsumierten Sportgetränke waren Gatorade® und Powerade®. Bei insgesamt 36,5 % der untersuchten Sportler konnten erosive Veränderungen festgestellt werden. Bei den Veränderungen traten 75,2 % der Läsionen auf Schmelz und nur 24,8 % auf Dentin auf. Auch im Vergleich mit anderen Studien konnten Mathew et al. feststellen, dass bei den durch Sportgetränke verursachten Erosionen die konsumierte Menge, die Einwirkzeit im Mund und auch die Marke des Getränks einen entscheidenden Einfluss hatten. Auf der anderen Seite kann auch die Sportart selbst ein erhöhtes Risiko von Erosionen bergen. Gefährdet sind Schwimmer, die täglich mehrere Stunden im Wasser verbringen. Die Schwimmbecken sollten idealerweise einen konstanten pH-Wert besitzen. In Schwimmbädern gibt es zwei Methoden zur Desinfektion des Wassers. Zum einen geschieht dies durch das Einleiten von Chlorgas ins Wasser und zum anderen durch die Zugabe von Natriumhypochlorit (Lussi und

Jaeggi 2006). Lussi und Jaeggi zitieren zu diesem Thema eine Untersuchung von Lokin und Huysmans (2004), die Schwimmbäder in den Niederlanden untersuchten und eine Studie von Geurtsen (2000). Geurtsen untersuchte Schwimmbäder, die mit der Chlorgas-Methode desinfiziert wurden. In den Niederlanden ist die Natriumhypochlorit-Methode zur Desinfektion gebräuchlich. Lokin und Huysmans beobachteten, dass 0,14 % der 2001 untersuchten Schwimmbäder in den Niederlanden einen zu niedrigen pH-Wert aufwiesen. In der Studie von Geurtsen wurde eine steigende Prävalenz von Erosionen bei Schwimmern gefunden, die sich lange und regelmäßig in Bädern aufhielten, die mit der Chlorgas-Methode desinfiziert wurden. Im Gegensatz dazu, kamen Lokin und Huysmans in ihrer Studie zu dem Schluss, dass das Risiko von dentalen Erosionen in mit Natriumhypochlorit desinfizierten Bädern unerheblich ist. Der empfohlene pH-Wert von Schwimmbädern liegt bei 7,2 bis 8,0. Beim Aufenthalt in so eingestellten Schwimmbecken werden die Zähne nicht geschädigt. Lussi und Jaeggi beschrieben aber auch eine Untersuchung von Centerwall et al. (1986), in der die Häufigkeit von Erosionen bei Wettkampfschwimmern bei 39 % lag. Die Sportler trainierten in einem Pool mit einem eingestellten pH-Wert von 2,7, was einer etwa 100.000mal höheren Konzentration an H⁺-Ionen entspricht, als in korrekt eingestellten Bädern (Lussi und Jaeggi 2006).

2.6 Intrinsische Einflüsse bei der Entstehung von Erosionen

Der pH-Wert des Magensaftes liegt im stark sauren Bereich. Im nüchternen Zustand kann ein Wert zwischen pH 0,8 und pH 2,2 angenommen werden, der je nach aufgenommenen Nahrungsmitteln variieren kann. Zudem enthält der Magensaft Enzyme wie beispielsweise Pepsin und Gallensäuren. Sowohl der niedrige pH-Wert, als auch die enthaltenen Enzyme und Gallensäuren können erosive Schäden am Zahnschmelz verursachen, wenn Magensaft in die Mundhöhle gelangt. Dies ist bei Zuständen möglich, bei denen es zu einem erhöhten intraabdominellen Druck kommt, wie zum Beispiel bei Obstipation oder starkem Übergewicht (Lussi und Jaeggi 2009).

Gastro-ösophagealer Reflux (GOR)

Im gesunden Zustand kann im Ösophagus ein pH-Wert zwischen fünf und sieben gemessen werden. Der gastro-ösophageale Reflux ist definiert als ein Zustand, bei dem der pH-Wert der Speiseröhre zeitweise unter vier liegt. Bei gesunden Personen treten diese kurzen pH-Abfälle meist postprandial auf und werden durch die Peristaltik im Gastrointestinaltrakt wirksam beseitigt. Vor allem nach reichhaltigem Essen,

meist von sauren und sehr fettigen Speisen tritt oft Unwohlsein auf. Dies tritt auch bei Alkoholkonsum am späten Abend auf. Bei Patienten, die unter gastro-ösophagealem Reflux leiden, treten Symptome stärker und langanhaltender auf. Die häufigsten Anzeichen eines gastro-ösophagealen Refluxes äußern sich in Sodbrennen, epigastrischen Schmerzen, saurem Aufstoßen und Dysphagie. Aber auch retrosternale Schmerzen, chronischer Husten, Asthma oder Heiserkeit können Symptome eines gastro-ösophagealen Refluxes sein (Bartlett 2006). Der GOR gehört zu den häufigsten Erkrankungen im Magen-Darm-Trakt und betrifft Erwachsene wie auch Kinder gleichermaßen. Man kann annehmen, dass etwa 7 bis 10 % der Bevölkerung täglich unter Symptomen wie Sodbrennen, Magenschmerzen, saurem Aufstoßen und Regurgitation leiden und dadurch erosive Zahnschäden aufweisen. Etwa die Hälfte der Patienten zeigt erosive Schäden an der Schleimhaut des Ösophagus (Refluxösophagitis). Jedoch geben nur etwa 40 % der Betroffenen Symptome an, die tatsächlich einer Refluxösophagitis zuzuordnen sind. Daraus kann gefolgert werden, dass durch Reflux bedingte Schäden im oberen Verdauungstrakt oft unbemerkt bleiben (Lussi und Jaeggi 2009). Der Zusammenhang zwischen dentalen Erosionen und gastro-ösophagealem Reflux wurde in einigen Studien untersucht: Jarvinen et al. (1988) diagnostizierten endoskopisch einen gastro-ösophagealen Reflux und fanden bei 4 von 20 Patienten mit Ösophagitis Erosionen. Sie folgerten, dass Patienten mit gastro-ösophagealem Reflux ein erhöhtes Risiko hatten an dentalen Erosionen zu erkranken. Meurmann et al. (1994) fanden bei 28 von 117 Patienten (24 %) mit gastro-ösophagealem Reflux dentale Erosionen. Tendenziell waren eher ältere Patienten betroffen und Patienten, die schon signifikant länger unter Reflux litten. Auch konnten bei Patienten mit einer niedrigen Pufferkapazität des Speichels mehr erosive Veränderungen beobachtet werden. Bei der Untersuchung der oralen Mukosa konnten keine pathologischen Veränderungen festgestellt werden (Meurmann et al. 1994).

Anorexia nervosa und Bulimia nervosa

Einen weiteren intrinsischen Risikofaktor stellen die in den Industrieländern zunehmenden Essstörungen dar. Vor allem junge Frauen im Alter zwischen 12 und 35 Jahren sind öfter betroffen. Es wird angenommen, dass etwa 5 % der jungen Frauen zwischen 18 und 35 an Bulimie und circa 2 % der weiblichen Altersgruppe zwischen 12 und 20 Jahren an Anorexie erkrankt sind. Anorexie kann bei den meist sehr stark untergewichtigen Patientinnen gut erkannt werden, wohingegen Bulimiepatienten meist ihr Normalgewicht beibehalten und somit nicht selten viele Jahre vergehen, bis

die Krankheit erkannt wird (Lussi und Jaeggi 2009). Typische Verhaltensweisen bei Anorexie sind striktes Fasten und erhöhte körperliche Aktivität. Bulimie zeichnet sich dagegen durch immer wieder kehrende Heißhungerattacken aus, in denen große Mengen von Nahrungsmitteln in kurzer Zeit gegessen werden und der Patient anschließend versucht durch selbst hervorgerufenes Erbrechen die Nahrung wieder los zu werden. Nicht selten geht mit Bulimie auch ein Abführmittel- und Diuretikamissbrauch sowie exzessive Zahnpflege einher. Die Krankheit Bulimie gilt als diagnostiziert, wenn es in den letzten drei Monaten mindestens zweimal in der Woche zu solchen Heißhungerattacken mit anschließendem Erbrechen gekommen ist (Bartlett 2006). Insbesondere die Bulimie stellt ein Risiko für die Entwicklung von dentalen Erosionen dar. Rytömaa et al. führten hierzu 1998 eine Studie durch, in der 35 bulimiekranken junge Frauen mit 105 Kontrollpatienten gemischten Geschlechts verglichen wurden. Es konnte festgestellt werden, dass das Auftreten von Erosionen, Abrasion und Attrition bei den erkrankten Frauen etwa 1,5- bis 6-fach höher war, als bei der gesunden Kontrollgruppe. 22 von 35 Bulimikerinnen wiesen Erosionen verschiedener Schweregrade auf, dagegen nur 12 der 105 Kontrollpatienten. Diese waren in den meisten Fällen milde ausgeprägt. Erosive Veränderungen konnten an allen Zahnflächen nachgewiesen werden. Am häufigsten und am ausgeprägtesten traten sie an der palatinalen Fläche der oberen Inzisiven auf. Dieses Merkmal kann auf das regelmäßige Erbrechen zurückgeführt werden. Zusätzlich bewirkt die raue Oberfläche der Zunge, die mit der Palatinalfläche der Oberkieferfrontzähne regelmäßig Kontakt hat, einen reibenden Effekt, wodurch es nach dem Erbrechen vermutlich zu einem zusätzlichen Zahnhartsubstanzverlust kommt. Nach dem Erbrechen kann exzessives Zähneputzen einen weiteren Hartsubstanzverlust bewirken. Bei den erkrankten Patientinnen konnte zudem dreimal häufiger eine verminderte, unstimulierte Speichelfließrate ($< 0,2$ ml/min) festgestellt werden (Rytömaa et al. 1998). Es ist möglich, dass dies eine verminderte Remineralisation der Zahnhartsubstanz durch den Speichel zur Folge hat. Allgemein stellten Rytömaa et al. fest, dass die Ausprägung der Erosionen mit der Dauer der Erkrankung, der Häufigkeit des Erbrechens und der Speichelmenge in Zusammenhang gebracht werden kann.

2.7 Diagnostik von Erosionen

Vor allem im Anfangsstadium kann es schwierig sein, erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz zu erkennen. Der Grund hierfür liegt darin, dass zu Beginn einer Erosion der Zahnschmelz kontinuierlich degradiert und verloren geht. Erst in fortgeschrittenen Stadien, in denen es oftmals zu einer Dentinexposition oder zu Dellen auf der Kaufläche kommt, werden Erosionen als solche bemerkt. Die Patienten werden meist durch eine gelbliche Farbveränderung der Zähne, durch einen Verlust der vertikalen Dimension und eine zunehmende Überempfindlichkeit der Zähne auf den Zahnhartsubstanzverlust aufmerksam (Lussi et al. 2009). Bei der Diagnostik sollten zunächst die Anzeichen und Symptome der jeweiligen Erkrankung erfasst werden und im zweiten Schritt erst eine Klassifikation erfolgen. Zugleich sollte die natürliche Anatomie und Morphologie der Zähne mit dem aktuellen Zustand verglichen werden. Die unterschiedlichen chemischen und physikalischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanz hinterlassen charakteristische Erscheinungsbilder. Die Klassifikation des Zahnhartsubstanzverlustes beruht auf klinisch beobachtete morphologischen Merkmale. Außerdem geben manche Indizes Auskunft bezüglich der Ursache wie Attrition, Abrasion und Erosion. Aufgrund dieser Annahme können zwei Ursachen diskutiert werden: Erstens, dass ein Zusammenhang zwischen der Defektmorphologie und den einzelnen ätiologischen Faktoren nicht valide gesichert ist und zweitens, dass die angenommenen Ursachen die Untersuchungsmethoden im Vorhinein beeinflussen und zu Voreingenommenheit führen können (Ganss und Lussi 2006).

Im Anfangsstadium stellen sich Erosionen als matt-seidig glänzende Oberfläche und fehlenden Perikymatien dar. Dies äußert sich in fortgeschrittenen Stadien in weiteren morphologischen Veränderungen am Zahn. Es kommt zu einer zunehmenden Abflachung der Oberfläche oder Vertiefungen im Zahnschmelz, deren Breite deutlich größer ist, als die Tiefe. Unregelmäßig geformte Ränder der Läsion sind möglich. Zudem ist ein schmaler, intakter Schmelzrand am Zahnfleischrand typisch, der auf einen Plaquesaum zurückzuführen ist. Dieser wirkt als Diffusionsbarriere. Auch die neutralisierende Wirkung des Sulkusfluids wird für einen intakten Erhalt des schmalen Zahnschmelzrandes angenommen. Weitere Säureattacken können zu einem flach auslaufenden Defekt am Schmelzrand führen. Auf den okklusalen und linguale Zahnflächen stellen sich die initialen Anzeichen auf die gleiche Weise dar, wie oben beschrieben. Bei weiterem Fortschreiten kommt es auf den Okklusalfächen zu abgerundeten Vertiefungen und Riefenbildung an den Defekten und auf den Inzisalkan-

ten. Restaurationsränder ragen über die Zahnoberfläche hinaus. In schweren Fällen kommt es zu einem Verlust der gesamten okklusalen Oberfläche des Zahnes (Lussi et al. 2004). Auf den palatinalen Flächen ist eine flächenhafte Entkalkung charakteristisch (Lussi et al. 2005).

Um Erosionen besser verstehen zu können, ist es unerlässlich, Untersuchungssysteme zu entwickeln, die sowohl ein Erkennen als auch eine Kontrolle der Defekte ermöglichen. Es kann schwierig sein, erosionsbedingte Defekte von Zahnhartsubstanzverlust anderer Genese zu unterscheiden. Die am besten abgrenzbaren Merkmale bei Erosionen sind glatte, glänzende und abgerundete Flächen, die mit einem Verlust der ursprünglich entwicklungsgemäßen Kanten und Strukturen einhergehen. Es können auch Veränderungen der gesamten natürlichen Makromorphologie der Zahnoberfläche festgestellt werden. Eine Klassifikation des Hartsubstanzverlustes sollte somit an der Ausdehnung und der Schwere der Veränderungen orientiert sein. Zahlreiche Methoden zur Einteilung von Erosionen in vivo, basieren auf einer visuellen Beurteilung der Zähne. So entwickelte Ten Bruggen Cate 1968 eine Klassifikationsmethode, als er Erosionen an Arbeitern, die sauren Dämpfen ausgesetzt waren untersuchte. Eccles und Jenkins veröffentlichten 1974 ein Einteilungssystem für dentale Erosionen, mit denen sie ernährungsbedingte und intrinsische Faktoren bei Erosionen untersuchten (Tabelle 2.2).

Score/Klasse	Fläche	Kriterien
Klasse I		Frühes Erosionsstadium, fehlen der natürlichen Kaukanten, glatte, matt-glänzende Oberfläche, vorwiegend auf den labialen Zahnflächen der oberen Schneide- und Eckzähne
Klasse II	fazial	Freiliegendes Dentin ist bei weniger als einem Drittel der Oberfläche mitbetroffen Typ 1: ovale oder krestische, konkave Läsion der zervikalen Fläche, welche von einem keilförmigen Defekt abgegrenzt werden sollte Typ 2: irregulärer Defekt, der ausschließlich in der Zahnkrone lokalisiert ist. Es scheint als wäre an dieser Stelle der Schmelz „ausgestochen“ worden.
Klasse IIIa	fazial	Weiter ausgedehnte Dentinzerstörung insbesondere der oberen Inzisiven, welche meist große Teile der Oberfläche betrifft; einige Defekte sind lokalisiert und erscheinen „ausgehöhlt“
Klasse IIIb	lingual oder palatinal	Läsionen betreffen mehr als ein Drittel der Oberfläche, die inzisalen Kanten erscheinen aufgrund des Dentinverlustes transluzent; das Dentin wirkt glatt, manchmal flach oder ausgehöhlt, die gingivalen und proximalen Ränder besitzen ein weißes, mattes Erscheinungsbild

Klasse IIIc	inzisal oder okklusal	Die Inzisalkanten und Okklusalflächen sind bis zum Dentin betroffen, abgeflacht oder schüsselförmig eingekerbt, Restaurationsränder ragen über die Zahnoberfläche hinaus, die Inzisalkanten wirken transluzent aufgrund des unterminierten Schmelzes
Klasse III d	alle Flä- chen	Stark betroffene Zähne, bei denen sowohl die labialen als auch die lingualen Flächen ausgedehnt betroffen sind.

Tab. 2.2: Index nach Eccles (1979)

Smith und Knight veröffentlichten 1994 ein universell anwendbares System (Tabelle 2.3), mit dem ein Substanzverlust unklarer Ätiologie klassifiziert werden konnte. Hierbei wurden neben den Erosionen auch die Attrition und die Abrasion erfasst. Dieses System zeigt insbesondere die Stufen des pathologischen Zahnhartsubstanzenverlustes an.

Score/Klasse	Fläche	Kriterien
0	B/L/O/I C	Kein Verlust von natürlichen Schmelzkonturen Kein Konturverlust
1	B/L/O/I C	Verlust von natürlichen Schmelzkonturen Geringer Konturverlust
2	B/L/O I C	Schmelzverlust mit Dentinexposition auf weniger als einem Drittel der Fläche Schmelzverlust und freiliegendes Dentin Defekte mit einer Tiefe kleiner als 1 mm
3	B/L/O I C	Schmelzverlust mit einer Dentinexposition auf mehr als einem Drittel der Fläche Schmelzverlust und erheblicher Dentinverlust, keine freiliegende Pulpa oder Exposition von Sekundärdentin Defekte mit einer Tiefe von 1-2 mm
4	B/L/O I C	Kompletter Schmelzverlust, oder freiliegende Pulpa, oder Exposition von Sekundärdentin Freiliegende Pulpa oder Exposition von Sekundärdentin Defekte mit einer Tiefe von mehr als 2 mm, freiliegende Pulpa oder Exposition von Sekundärdentin

Tab. 2.3: Index nach Smith und Knight (1984)

- B = bukkale oder labiale Fläche
- L = linguale oder palatinale Fläche
- I = inzisale Fläche
- C = zervikale Fläche
- O = Okklusalfäche

Lussi et al. verwendeten im Jahr 1991 für eine Studie über Erosionen bei Schweizern einen Index der jeweils für bukkale, okklusale und orale Zahnflächen den erosiven Zahnhartsubstanzenverlust in vier Graden unterschied (Tabellen 2.4 – 2.6):

„Index für bukkale Erosionen:

Grad 0	Keine Erosion. Schmelz glänzt, evtl. Verlust der Oberflächenstruktur (Perikymatien)
Grad 1	Größerer, flächenhafter Verlust von Zahnschmelz. Intakte Schmelzleiste zervikal der Läsion. Eindellungen, Stufenbildung. Schmelz glänzt seidig. Keine Dentinbeteiligung
Grad 2	Dentin liegt auf weniger als 50 % der betroffenen Zahnoberfläche frei.
Grad 3	Dentin liegt auf mehr als 50 % der betroffenen Zahnoberfläche frei.

Tab. 2.3: Index nach Lussi et al. (1991)

Index für okklusale Erosionen:

Grad 0	Keine erosiven Defekte, Schmelz glänzend.
Grad 1	Schwach ausgeprägte Erosion. Abgerundete Höcker, Schmelz weist Seidenglanz auf. Füllungen höher als das benachbarte Zahnhartsubstanzniveau. Keine Dentinbeteiligung.
Grad 2	Stark ausgeprägte Erosion. Dentinbeteiligung.

Tab. 2.4: Index nach Lussi et al. (1991)

Index für orale Erosion:

Grad 0	Keine Erosionen, Schmelz glänzt, evtl. Verlust der Oberflächenstruktur (Perikymatien).
Grad 1	Größerer (flächenhafter) Verlust von Zahnschmelz. Schmelz seidenglänzend, intakter Schmelzrand zervikal der Läsion. Keine Dentinbeteiligung.
Grad 2	Stark ausgeprägte erosive Läsion. Intakter Zahnschmelz zervikal des Defekts möglich. Dentinbeteiligung.

Tab. 2.5: Index nach Lussi et al. (1991)

Bartlett et al. entwickelten 2009 ein Verfahren zur Beurteilung von Säureschäden an der Zahnhartsubstanz, die sogenannte Basic Erosive Wear Examination (BEWE). Es werden erosive Schäden an den vestibulären, oralen und okklusalen Flächen aller Zähne, mit Ausnahme der Weisheitszähne, in vier Graden erfasst (Tabelle 2.6):

- 0 = kein erosiver Zahnhartsubstanzverlust
- 1 = beginnender Verlust der Oberflächenstruktur
- 2 = klar ersichtlicher Zahnhartsubstanzverlust mit weniger als 50 % der Oberfläche
- 3 = ausgeprägter Zahnhartsubstanzverlust mit mehr als 50 % der Oberfläche

Das Gebiss wird in Sextanten eingeteilt. Je Sextant wird der höchste Wert der erosiven Schädigung notiert. Die Summe der Werte definiert den Schweregrad des erosiven Schadens und gibt eine Empfehlung über die weitere Behandlung des Patienten.

Schweregrad der Erosion	Summe aller Sextanten	Management
nihil	2 und weniger	Aufklärung und Kontrolle Wiederholung im Abstand von 3 Jahren
gering	3 bis 8	Mundhygieneinstruktion; Abklärung von Ernährungsgewohnheiten und Beratung; liegt Reflux vor? Wiederholung im Abstand von 2 Jahren
mittel	9 bis 13	Vorgehen wie oben beschrieben Fluoridierungsmaßnahmen empfehlen; Widerstandsfähigkeit der Zahnhartsubstanz erhöhen? Restaurative Maßnahmen in Erwägung ziehen? Wiederholung im Abstand von 6 bis 12 Monaten
hoch	14 und mehr	Vorgehen wie oben beschrieben Spezielle Betreuung bei schnell fortschreitenden Erosionen; restaurative Maßnahmen? Wiederholung im Abstand von 6 bis 12 Monaten

Tab. 2.6: Basic erosive wear examination (BEWE) (Bartlett et al. 2009)

Bei den Schweregraden zwei und drei ist oft eine Dentinbeteiligung vorhanden. Dennoch wird beim BEWE auf die Bezeichnung „Dentinexposition“ verzichtet. Dies liegt zum einen an der schweren Beurteilbarkeit, zum anderen gibt freiliegendes Dentin nicht immer einen Hinweis auf die Schwere des vorhandenen Defekts, da die Schmelzschicht nicht an allen Stellen gleich dick ist (Bartlett et al. 2009).

2.8 Prävalenz, Inzidenz und Verbreitung dentaler Erosionen

Erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz kommen in unserer industrialisierten Gesellschaft häufig vor und können fast als ein „normaler“ Zustand angesehen werden. Aufgrund der meist sehr unterschiedlichen Untersuchungsmethoden sind die erhobenen Ergebnisse schwer epidemiologisch zu vergleichen. Es gibt verschiedene klinische Untersuchungsbefunde, unterschiedliche Schweregrade und es werden verschiedene Zahnflächen untersucht. Auch die Inhomogenität der untersuchten Gruppen wie zum Beispiel das Alter der Personen, das Geschlecht, die Anzahl der untersuchten Individuen oder die geographische Lage, tragen dazu bei, dass Studien kaum miteinander verglichen werden können. Es ist einfacher Schulkinder für klinische Studien zu rekrutieren als Erwachsene. Folglich werden in der Literatur auch mehr Studien an Kindern gefunden, als an Erwachsenen. Es ist dennoch wichtig Daten über die Verbreitung (Prävalenz), die Anzahl der Neuerkrankungen (Inzidenz)

und das Streuverhalten (Distribution) der erosiven Veränderungen zu erfassen. Um das Auftreten und die Häufigkeit von Erosionen besser verstehen zu können, ist es ebenfalls wichtig Ursachen wie Reflux, Erbrechen oder Ernährungsgewohnheiten zu erfassen (Jaeggi und Lussi 2006).

Betrachtet man die Anfälligkeit von Kindern und Erwachsenen für erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz, so muss man zunächst die unterschiedlichen anatomischen Strukturen der bleibenden Zähne und die der Milchzähne berücksichtigen. Die Schmelzschicht der bleibenden Zähne ist dicker als die der Milchzähne. Bei Säureexposition wird bei Milchzähnen früher das Dentin angegriffen und es kommt dort eher zu ausgedehnten Läsionen als bei den bleibenden Zähnen. Ein weiterer Grund für eine erhöhte Anfälligkeit kann die geringere mechanische Stabilität von Milchzähnen sein. Attin et al. fanden 1997 eine geringere Härte bei Milchzähnen. Deshalb kann der Hartsubstanzverlust durch erosive Angriffe bei Milchzähnen ausgeprägter sein, als bei bleibenden Zähnen. Im Gegensatz hierzu sind die funktionellen und parafunktionellen Kräfte, die auf die Zähne einwirken, bei Kindern geringer als bei Erwachsenen. Jaeggi und Lussi (2006) fanden jedoch, dass nur geringe Unterschiede in der Anfälligkeit für Erosionen bei Kindern und Erwachsenen vorhanden sind.

2.8.1 Prävalenz, Inzidenz und Verbreitung dentaler Erosionen bei Erwachsenen

Um die Prävalenz, Inzidenz und Verbreitung bei bestimmten Bevölkerungsanteilen bestimmen zu können, sind prinzipiell drei Möglichkeiten denkbar:

- Studien, die auf der Beurteilung von extrahierten Zähnen oder Modellen basieren,
- Studien, die die Erosionen an Zähnen nur teilweise erfassen und
- Klinische Studien, die die gesamte Situation im Mund des Patienten erfassen.

Als Beispiel für die erste Möglichkeit, die Untersuchung von extrahierten Zähnen, dient eine Studie von Sognaes et al. (1972). Sognaes et al. untersuchten 10.827 extrahierte Zähne. Bei 18 % konnten Anzeichen von erosionsähnlichen Läsionen gefunden werden. Unterkieferzähne waren häufiger betroffen als Oberkieferzähne. Am häufigsten wurden an den Unterkieferfrontzähnen erosionsähnliche Läsionen beobachtet.

Eine weitere Möglichkeit, erosive Veränderungen mit Hilfe von Studienmodellen zu erfassen, beschrieben Khan et al. (2001). Im Rahmen dieser Querschnittsstudie

wurde das Vorhandensein oder das Fehlen von Prämolaren und Molaren untersucht. Außerdem wurde die Größe von schüsselförmigen Defekten auf den Höckerspitzen und dem okklusalen Relief erfasst. Diese Messung erfolgte durch die Erfassung von Farbunterschieden, die mit einer Farbbildkamera mit standardisierter Linse und Brennweite ausgestattet war. Keine Läsionen wiesen 46 % aller Höckerspitzen und okklusalen Flächen auf, kleine Läsionen fanden sich bei 17 %, mittelschwere Defekte bei 8 %, große schüsselförmige Defekte bei 4 % und Läsionen, die bereits das okklusale Relief mit einbezogen, bei 3 %. Bei 22 % der Patienten konnten wegen fehlender Zähne aufgrund von Extraktionen oder Füllungen die Zahnflächen nicht beurteilt werden. Von den 116 Patienten waren 59 im Alter von 13 bis 27 Jahren und 57 im Alter von 28 bis 70 Jahren. Mit zunehmendem Alter wurde eine lineare Zunahme der Anzahl und der Größe der Defekte festgestellt. An den Kauspitzen der ersten Unterkiefermolaren wurden gehäuft Erosionen erkannt (Kahn et al. 2001).

Bartlett et al. (1997) untersuchten 23 Patienten im Alter zwischen 15 und 74 Jahren, die palatinale Erosionen unklarer Genese aufwiesen. Die Kontrollgruppe bestand aus 12 Probanden im Alter von 26 bis 46 Jahren, die keine Erosionen an den palatinalen Flächen aufwiesen. Für die Messung wurden kleine Stahlplättchen mit zwei Millimeter Durchmesser und 0,1 Millimeter Stärke an die Palatinalfläche zementiert. Anschließend wurde eine Silikonabformung angefertigt. Diese wurde nach sechs Monaten wiederholt und dabei der Substanzverlust mit einem Laserprofilometer ermittelt. Nach einem halben Jahr konnte bei 13 Patienten der Gruppe mit Erosionen und bei sieben Patienten der Kontrollgruppe an zumindest einem Zahn an der dem Plättchen umliegenden palatinalen Oberfläche eine Veränderung festgestellt werden. Trotz des relativ hohen Verlustes an zementierten Plättchen, konnten Bartlett et al. bei Patienten aus der Testgruppe einen Substanzverlust zwischen 17,6 μm und 108,2 μm feststellen, wohingegen in der Kontrollgruppe ein Substanzverlust zwischen 0,5 μm und 15,8 μm festgestellt wurde (Bartlett et al. 1997).

Jaeggi et al. (1999) untersuchten Rekruten der Schweizer Armee hinsichtlich erosiver Veränderungen. Bei dieser Studie wurde der im vorherigen Kapitel beschriebene Index nach Lussi et al. (1991) angewandt. Es wurden bei 417 Rekruten mit einem Alter von 19 bis 25 Jahren die oralen, okklusalen und bukkalen Flächen aller Zähne bis auf die der Weisheitszähne untersucht. Die Untersuchung wurde von zwei Zahnärzten durchgeführt. Im Vorfeld wurde ein Fragebogen bezüglich der Ernährungsgewohnheiten der Probanden ausgefüllt. Die Studie ergab, dass Erosionen am häufigs-

ten auf den Okklusalfächen zu finden waren. Schäden mit einem Schweregrad von eins waren bei 82 % der untersuchten Personen zu finden und Schweregrad zwei bei 30,7 %. Bukkale Erosionen mit Grad eins traten bei 14,4 % der Rekruten auf, Grad zwei bei zwei Fällen und Grad drei bei keinem Probanden auf. Orale Erosionen waren insgesamt nur sehr selten zu finden. Wenn sie dennoch auftraten, waren stets mehrere Zähne betroffen. Bukkale Defekte wurden bevorzugt an Eckzähnen und Prämolaren festgestellt, okklusale Erosionen bei den ersten Molaren und Prämolaren. Orale Erosionen konnten, wenn vorhanden, an den Inzisiven im Oberkiefer festgestellt werden. Die beschriebene Studie wurde an einem selektierten Patientengut durchgeführt, in diesem Fall an jungen Männern (Jaeggi et al. 1999). Daher können die Beobachtungen dieser Studie nicht auf die Gesamtbevölkerung übertragen werden. Eine weitere Studie mit dem gleichen Index führten Lussi et al. (1991) an einer Gruppe erwachsene Schweizer durch. Hierbei wurden insgesamt 391 Personen untersucht. Bei dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass auf der bukkalen Zahnfläche 11,9 % der jüngeren Altersgruppe (26 bis 30 Jahre) und 9,6 % der älteren Altersgruppe (46 bis 50 Jahre) einen oder mehrere erosive Defekte vom Grad eins aufwiesen. Allgemein wurden bei 16 % der Probanden bukkale Erosionen festgestellt. Auf der Okklusalfäche wurde bei 35,6 % der jüngeren Altersgruppe und bei 40,1 % der älteren Gruppe erosive Zahnhartsubstanzdefekte vom Grad eins registriert. Grad zwei wurde auf der Kaufläche bei 29,9 % der jüngeren Probanden und bei 42,6 % der älteren Studienteilnehmer erfasst. Orale, erosive Veränderungen konnten bei 3,6 % der jungen Studienteilnehmer und bei 6,1 % der älteren Teilnehmer erkannt werden und hatten jeweils den Schweregrad eins. Alle oralen Defekte waren an den Oberkieferfrontzähnen zu finden. Generell kann festgestellt werden, dass die älteren Studienteilnehmer vermehrt von Erosionen betroffen waren, als die jüngeren Studienteilnehmer. Die Zähne im Oberkiefer waren häufiger von Läsionen Grad eins betroffen, als die im Unterkiefer. Dennoch wiesen die ersten Molaren im Unterkiefer und die Unterkieferprämolaren mehr Defekte vom Grad eins auf, als die entsprechenden Zähne im Oberkiefer. Erosionen von Grad zwei wurden am häufigsten auf den ersten Molaren im Unterkiefer festgestellt. Orale Erosionen konnten nur an den Oberkieferinzisiven registriert werden, wobei hier die mittleren Schneidezähne stärker betroffen waren als die seitlichen Inzisiven oder Eckzähne. Orale Defekte mit Grad zwei konnten nur bei der älteren Untersuchungsgruppe gefunden werden. Eine weitere Untersuchung von Schiffner et al. (2002) wurde im Rahmen der dritten

deutschen Mundgesundheitsstudie durchgeführt. In dieser Studie wurden Erosionen und keilförmige Defekte bei deutschen Erwachsenen (35 bis 44 Jahre) und Senioren (65 bis 74 Jahre) untersucht. Der Schwerpunkt lag bei Senioren, dadurch war diese Altersgruppe stärker repräsentiert. Schiffner et al. fanden bei 42,1 % der Erwachsenen und 46,3 % der Senioren Defekte. Im Durchschnitt wiesen dabei die Probanden zwei bis drei Zähne mit keilförmigem Defekt oder erosive Veränderungen auf. Die Differenz zwischen Erwachsenen und Senioren war gering. Männer wiesen gegenüber Frauen häufiger Läsionen auf. Wird jedoch der einzelne Zahn als statistische Einheit zu Grunde gelegt, kommt es bei den Senioren zu einem doppelt so hohen prozentualen Anteil an Zähnen mit erosiven Veränderungen oder keilförmigen Defekten (Schiffner et al. 2002).

2.8.2 Dentale Erosionen bei Kindern und Jugendlichen

Bei Kindern und Jugendlichen stellen erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz ein zunehmendes Problem dar. Hier kann der zunehmende Konsum von sauren Softdrinks oder Sportgetränken als eine mögliche Ursache angesehen werden. Zu der Annahme, dass Milchzähne stärker von erosiven Schäden betroffen sind, als bleibende Zähne, existieren gegensätzliche Meinungen und Untersuchungen. Dies kann anhand von zwei verschiedenen Studien von Amaechi et al. (1999) und Hunter et al. (2000) gezeigt werden. Amaechi et al. (1999) fanden für Milchzähne ein 1,5mal höheres Erosionsrisiko. Im Gegensatz hierzu beobachteten Hunter et al. (2000), dass Milchzähne nur geringfügig anfälliger für Erosionen waren als bleibende Zähne. Im Jahr 2004 untersuchten Jaeggi und Lussi 42 Kinder im Alter zwischen fünf und neun Jahren. Sie untersuchten insgesamt 951 Zähne. Im Vorfeld der Untersuchung füllten die Eltern der Kinder einen Fragebogen aus. Außerdem wurden die Pufferkapazität und Speichelflussrate gemessen. Sie fanden bei allen Kindern mindestens eine erosive Läsion von Grad eins und bei 47,6 % (20) der Kinder eine Läsion von Grad zwei auf den Okklusalfächen. Diese Werte wurden vor allem an den Milchzähnen festgestellt. Bei 14,3 % (6) der Kinder konnte an den bleibenden Zähnen eine Erosion von Grad eins gefunden werden. Erosionen an den fazialen und oralen Flächen wurden nur an Milchzähnen gefunden. 9,5 % (4 Kinder) zeigten einen Defekt von Grad eins an der fazialen Fläche und 4,8 % (2 Kinder) von Grad zwei. Bei den fazialen Erosionen waren vor allem die oberen, mittleren Milchinzisivi betroffen. Oral konnten bei 7,1 % (3 Kinder) der Kinder Läsionen von Grad eins und bei 2,4 % (ein Kind) von Grad 2 beobachtet werden. Diese Untersuchung wurde zum Teil an Wech-

selgebissen durchgeführt. Dies kann einen möglichen Störfaktor darstellen, da sich die Zähne zum Zeitpunkt der Untersuchung manchmal unterschiedlich lange in der Mundhöhle befanden (Jaeggi und Lussi 2004). Larsen et al. (2005) untersuchten 558 dänische Schulkinder im Alter zwischen 15 und 17 Jahren. Erfasst wurden die okklusalen, fazialen und oralen Zahnflächen. Sie konnten bei den Jugendlichen nur Erosionen, die auf den Schmelz beschränkt waren, feststellen oder Läsionen, die weniger als die Hälfte des Dentins betrafen. Stärkere erosive Schäden konnten nicht gefunden werden. Bei 14 % der Kinder (78 Kinder) fanden sie an vier oder mehr Flächen Erosionen, die weniger als 50 % des Dentins betrafen oder nur im Schmelz vorhanden waren. Die Zahlen schwankten, je nach Schule, zwischen 7,1 % und 18,2 %. Tendenziell waren männliche Jugendliche mit 18,9 % häufiger betroffen als weibliche Probanden mit 8,2 %. Bei 1,6 % konnte eine Beteiligung bis ins Dentin nachgewiesen werden. Ein Zusammenhang mit dem Alter konnte nicht gefunden werden. Die Inzisivi und Eckzähne waren häufiger betroffen als die Prämolaren und Molaren, wobei die oralen Flächen häufiger Erosionen aufwiesen als die fazialen Flächen (Larsen et al. 2005).

Nunn et al. untersuchten 2003 bei britischen Jugendlichen neben der Prävalenz auch den Zusammenhang von Erosionen und möglichen Risikofaktoren, insbesondere die Ernährungsgewohnheiten. Bei der Studie wurden Daten aus dem Zeitraum zwischen 1993 und 1996/1997 von Kindern zwischen 1,5 und 4,5 Jahren (Jahr 1992 bis 1993) und 4 bis 18 Jahren erfasst (Jahr 1996 bis 1997). Die erosiven Veränderungen wurden nach dem Index nach Smith und Knight (1984) erhoben. Nunn et al. beobachteten eine Zunahme der Erosionen in diesem Zeitraum. Eine Zunahme ergab sich bei Kindern im Alter von 3,5 bis 4,5 Jahren insbesondere dann, wenn diese sehr häufig kohlenstoffhaltige Getränke konsumierten. Auch bei nächtlichem Konsum dieser Getränke konnte eine erhöhte Prävalenz beobachtet werden. Bei Kindern im Alter zwischen vier und sechs Jahren, die unter einem gastro-ösophagealem Reflux litten, fand man ebenfalls häufiger Erosionen. Auch die Lage des Wohnortes und der sozioökonomische Status der Probanden spielte eine Rolle. So wiesen Kinder aus dem Norden eine doppelt so hohe „odds ratio“ auf, als Kinder aus London oder aus dem Südosten (Nunn et al. 2003). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass erosive Schäden sowohl an den Milchzähnen als auch an den bleibenden Zähnen von mehreren Faktoren beeinflusst werden. Hierbei spielen vor allem die Ernährungsge-

wohnheiten und der sozioökonomische Status des Kindes bzw. des Jugendlichen eine Rolle.

3 Material und Methoden

3.1 Überblick

Um Smoothies auf ihre mögliche erosive Wirkung auf Zahnschmelz zu untersuchen, wurden verschiedene chemische Parameter wie pH-Wert, titrierbare Säure, Kalziumgehalt und Phosphatgehalt im Labor bestimmt. Zusätzlich wurde der Zahnhartsubstanzverlust *in vitro* an extrahierten, intakten Molaren und Prämolaren mit Hilfe eines Profilometers bestimmt. Desweiteren wurde anhand von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der Hartsubstanzverlust optisch dargestellt.

3.2 pH-Wert-Messung

3.2.1 Grundlagen der pH-Wert-Bestimmung



Abb. 3.1: pH-Meter Metrohm 827 pH lab (Metrohm AG, Schweiz)

Für die Bestimmung des pH-Wertes der Smoothies wurde ein pH-Meter der Firma Metrohm mit der zugehörigen pH-Glaselektrode Metrohm Unitrode 6.0258.600 mit Temperaturfühler Pt 1000 verwendet. Das Diaphragma der Elektrode wurde speziell für die pH-Wert-Bestimmung in Obst- und Gemüsesäften entwickelt und besitzt ein

gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma. Bei dieser pH-Elektrode handelt es sich um eine Glaselektrode, die nach dem Prinzip einer Redox-Einstabmesskette funktioniert. Dabei wird die Wasserstoffionenanzahl in einer wässrigen Lösung mit Hilfe der Elektrode gemessen (Metrohm AG, Schweiz, 2008). Das sich an der Glaselektrode einstellende Potenzial wird von der Aktivität der Wasserstoffionen beeinflusst und folgt der Nernst'schen Gleichung, die bei einem Redox-Paar die Abhängigkeit des Elektrodenpotenzials von der Konzentration beschreibt (Atkins und de Paula 2013, Gerold et al. 2009, Kratz 1950).

$$E = E_0 + (RT/Z_e F) \ln c_{\text{Ox}}/c_{\text{Red}}$$

Die Abkürzungen bezeichnen:

E = Elektrodenpotenzial

E_0 = Standardelektrodenpotenzial

R = universelle bzw. molare Gaskonstante, $R = 8,31447 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8,31447 \text{ C V mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T = Temperatur (Kelvin)

Z_e = Äquivalentzahl = Anzahl der übertragenen Elektronen

F = Faraday-Konstante ($F = 96485,34 \text{ C mol}^{-1} = 96485,34 \text{ J V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

c = Konzentration der Redox-Partner

Der Aufbau einer solchen Elektrode besteht prinzipiell aus einer Messelektrode und einer Bezugselektrode. Dabei wird eine Bauform verwendet, die beide Elektroden vereint, die sog. Einstabmesskette (Atkins und de Paula 2013, Gerold et al. 2009)

Die verwendete Messelektrode der Firma Metrohm besteht aus mehreren Bestandteilen. Dies sind eine kegelförmige Glasmembran, ein Innenpuffer, der den pH-Wert im Inneren der Messelektrode konstant halten soll, ein in der Nähe der Glasmembran angebrachtes Ableitelement, das aus einem mit Silberchlorid ummantelten Silberdraht besteht und Kontakt zum Innenpuffer hat und einer Abschirmung, bestehend aus einem Glasrohr, die das Messsystem umhüllt. Mit Hilfe der Bezugselektrode, die ebenfalls mit in die Messprobe eintaucht und deren Potenzial pH-unabhängig ist, kann man die an der Membraninnenseite entstehende elektrische Ladung bei der Messung abgreifen und über das Ableitelement an einen im Gerät integrierten Messverstärker weiterleiten. Im Inneren des Glaskörpers wird das Messsystem durch die elektrische Abschirmung ummantelt, die mit der Außenummantelung des Elektrodenkabels verbunden ist. Der an der Membran anliegende elektrische Widerstand

beträgt bei der verwendeten Glaselektrode von Metrohm 150 - 500 M Ω (Haber 2007).

Der eigentliche Messvorgang an der Glaselektrode funktioniert wie folgend: Die an der Glasmembran befindlichen Natrium- und Lithiumionen sind relativ frei beweglich. Für Wasserstoffionen ist die Membran jedoch undurchlässig. Dennoch können die Wasserstoffionen Gitterplätze an den Sauerstoffanionen der unterkühlten Silikat-schmelze einnehmen, da diese bei Kontakt mit der wässrigen Lösung an der Oberfläche aufzuquellen beginnt. Ein niedriger pH-Wert hat zur Folge, dass die Wasserstoffionen die Gitterplätze bevölkern und Natrium- und Lithiumionen in die Membran „zurückdrängen“. Da diese in der Membran frei beweglich sind, werden sie tendenziell auf die Innenseite der Membran verschoben und das gemessene Potenzial entsteht. Bei einem hohen pH überwiegt die Wasserstoffionenkonzentration im Inneren des Messstabes. Der beschriebene Prozess läuft dann in anderer Richtung ab und das Potenzial entsteht mit anderem Vorzeichen (Kratz 1950, Wikipedia 2019).

Die Vergleichselektrode bzw. das Bezugselement ist wie die Messelektrode (Silber/Silberchlorid) aufgebaut. Sie taucht in eine KCl-Lösung (Kaliumchloridlösung) ein, die ionenmäßig leitfähig mit dem Bezugselement verbunden ist. Die KCl-Lösung diffundiert langsam durch das Diaphragma in die zu messende Probe, wodurch eine elektrische Verbindung hergestellt wird. Die zweite Leitung wird durch ein Ableitsystem mit dem Messgerät verbunden. Das Diaphragma stellt meist einen Schwachpunkt in der Vergleichselektrode dar. Es muss auf der einen Seite für die KCl-Lösung durchlässig sein, andererseits darf aber nichts von der Messprobe in die KCl-Lösung der Bezugselektrode gelangen lassen. Dies wird dadurch verhindert, dass der KCl-Gehalt in der Elektrodenlösung immer höher gehalten wird, als in der zu messenden Probe. Außerdem muss die Diffusion der KCl-Lösung in der Elektrode nach außen möglichst hoch sein, damit ein kleiner elektrischer Widerstand entsteht. Eine weitere Aufgabe der hochkonzentrierten KCl-Lösung ist es, den elektrischen Innenwiderstand gegenüber der Messelektrode möglichst klein zu halten, damit hier entstehende Potentialdifferenzen vernachlässigbar sind und Störspannungen vermieden werden. Die Vergleichselektrode besitzt keine elektrische Abschirmung, da diese von der niederohmigen KCl-Lösung, die das Ableitsystem umhüllt, übernommen wird (Haber 2007).

Konstruktiv werden diese beiden Elemente so miteinander verbunden, dass die Messselektrode von der Bezugselektrode ringförmig umhüllt wird und damit die Einstabmesskette entsteht (Haber 2007).

3.2.2 Durchführung der pH-Wert-Bestimmung

Für die Bestimmung des pH-Werts in Smoothies wurden die Proben zunächst ca. 30 Minuten vor Messung aus dem Kühlraum geholt und auf Zimmertemperatur gebracht. Das pH-Meter Metrohm 827 pH lab wurde vor jeder Messreihe bei pH 4 und pH 7 kalibriert. Jeder Smoothie wurde zunächst pur und danach mit 10 % Naturjoghurt (Weihenstephan Naturjoghurt 0,1 % Fett) versetzt gemessen. Hierzu wurden auf einer Waage in einem Becherglas 45 g Smoothie und 5 g Joghurt eingewogen. Während der Messung befanden sich die Proben in einem Becherglas und wurden mit Hilfe eines Magnetrührers (Thermo electron corporation, Denley MagMix, Waltham, Massachusetts/USA) permanent gut durchmischt. Die Messung wurde gestoppt und das Ergebnis übernommen, wenn auf dem Display des pH-Meters keine Schwankung mehr angezeigt wurde.

3.3 Bestimmung der titrierbaren Säure

Die Erosivität von Smoothies lässt sich auch anhand der erforderlichen Menge Natronlauge abschätzen, um einen neutralen pH-Wert zu erreichen. Um einen Anhaltspunkt zu bekommen, wie viel Pufferkapazität in der Mundhöhle erforderlich ist, um nach dem Konsum eines Smoothies einen neutralen pH-Wert zu erreichen, wurde im Laborversuch den Smoothies 0,1 molaren Natronlauge bis zum neutralen pH-Wert zu titriert. Das Prinzip der Messung der titrierbaren Säure ist die Reaktion von im Smoothie enthaltenen H^+ -Ionen bzw. H_3O^+ -Ionen mit OH^- -Ionen, die aus einer 0,1 molaren Natronlauge stammen. Hierbei kommt es zur Bildung von Wasser. Dies stellt eine der häufigsten Vorgänge in wässrigen und nicht-wässrigen Medien dar und findet häufig Anwendung in der Lebensmittelanalytik z.B. der Bestimmung des Alkaligehalts von Wasser oder der Bestimmung des Säuregehalts in Wein, Fruchtsaft oder Milch (Radiometer Analytical SAS 2002). Ziel unserer Untersuchung war es festzustellen, wie viel einer 0,1 molaren NaOH-Lösung erforderlich waren, um einen pH-Wert von 7,0 und damit einen neutralen Zustand zu erreichen. Für die Durchführung der Testreihe wurde von jedem Smoothie eine Menge von 50 g, einmal pur und einmal mit 10 % Naturjoghurt (Weihenstephaner Naturjoghurt mit 0,1 % Fett) ver-

setzt, abgewogen. Danach wurden die Proben auf einem Magnetrührer (Thermo electron corporation Denley MagMix, Waltham, Massachusetts/USA) bei mittlerer Umdrehungszahl schrittweise mit Natronlauge versetzt. Die Kontrolle des pH-Werts erfolgte mit einer pH-Elektrode (Unitrode 6.0258.600 Metrohm AG, Schweiz) und zugehörigem pH-Meter. Das Volumen der zugegebenen Natronlauge wurde mit 10 ml-Kunststoffpipetten abgemessen. Es wurde jeweils soviel Natronlauge zugegeben, bis ein pH-Wert von ca. 7,0 ($\pm 0,1$) erreicht wurde. Während des gesamten Titrationsvorgangs wurden die Proben mit dem Magnetrührer gut durchgemischt. Die Titration wurde gestoppt, wenn der Wert auf dem Display des pH-Meters konstant blieb.

3.4 Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts

3.4.1 Photometrische Messung des Kalziumgehalts

Zur Messung des Kalziumgehaltes in den einzelnen Nahrungsmittelproben wurde der Test Stanbio Total Calcium LiquiColor® Procedure No. 0150 der Firma Stanbio (USA) ausgewählt, der für die quantitative, kolorimetrische Bestimmung des Kalziumgehaltes in Plasma, Serum und Urin ausgelegt ist. Damit kann relativ einfach, kostengünstig und präzise Kalzium bestimmt werden.

Dieser Test basiert auf der direkten Kombination einiger Reaktionspartner unter anderem Ortho-Kresolphthalein (OCPC), um eine beständige Farbreaktion zu bilden. Zusätzlich wird das Ausfallen von Kalzium oder Protein verhindert.

Das Prinzip dieser Kalziumbestimmung ist die Mikromethode von Sarkar und Chauhan (1967). Hierbei dissoziiert das Kalzium von den Proteinen in einer sauren Lösung ab. Es folgt eine direkte Reaktion mit Ortho-Kresolphthalein (OCPC). Danach bildet der Ca-OCPC-Komplex im alkalischen Medium eine violette Farbreaktion, die bei 550 nm photometrisch gemessen werden kann. Die Kalziummenge in der Probe ist direkt proportional zur Farbtintensität. Bei diesem Reaktionstyp handelt es sich um eine steigende Endpunktreaktion.

Störreaktionen durch Magnesium werden mit Hilfe von 8-Hydroxyquinoline abgewendet und durch Schwermetalle mittels Kaliumcyanid verhindert.

Um eine möglichst hohe Richtigkeit und Präzision zu erreichen, werden bei jedem Messvorgang eine Standardprobe (Total Calcium Standard 10 mg/dl Cat. No. 0153; Firma Stanbio Laboratory, USA), eine Positivkontrolle (Mineralwasser mit einem be-

kannten Kalziumgehalt) und eine Negativkontrolle (destilliertes, steriles Wasser) mitbestimmt.

Bei der Kalziummessung wurde zunächst das Grundreagenz aus gleichen Anteilen von Total Calcium Base Reagent Cat. No. 0152 (Stanbio Laboratory) und Total Calcium Color Reagent Cat. No. 0151 (Stanbio Laboratory) hergestellt und bis zur Weiterpipettierung in einem Kunststoffreagenzgefäß verschlossen aufbewahrt. Danach werden zunächst 1000 µl des Grundreagenz in Eppendorfgefäßen vorgelegt. Anschließend erfolgt die Zugabe von zehn µl des Standards bzw. der Proben, Positiv- oder Negativkontrolle. Alle Reagenzien und Proben sollten zum Zeitpunkt der Testdurchführung eine Temperatur zwischen 15 bis 30°C besitzen. Nachdem Grundreagenz und Proben zusammen pipettiert wurden, sollte der Inhalt des Eppendorfgefäßes kurz auf dem Vortexgerät (Denley Vibro Mix; Thermo Scientific, Dreieich, Deutschland) gut durchgemischt werden und anschließend nach einem vorher festgelegten Pipettierschema in eine NUNC 96-Well Testplatte möglichst blasenfrei pipettiert und ca. eine Minute inkubiert werden. Nun erfolgt die photometrische Messung der Farbintensität bei 550 nm im Elisaprozessor VarioSkan der Firma Thermo (Thermo Scientific, Dreieich, Deutschland). Die bei der Messung erhaltenen Absorptionwerte müssen mit Hilfe der Formel $(\text{Absorption Probe} \div \text{Absorption Standard}) \times 10$ in mg/dl umgerechnet werden. Um eine Angabe in mmol/l zu erhalten, wird der Ca-Wert mit Hilfe der Formel $(\text{mg/dl}) \div 4 = \text{Ca (mmol/l)}$ berechnet.

Zu Beginn der Messung wurde eine Standardkurve erstellt. Hierfür wurde ein Standard mit einer Konzentration von zehn mg/dl Kalzium (Total Calcium Standard 10 mg/dl Cat. No. 0153) in verschiedenen Verdünnungen in einer NUNC 96-Well-Platte, mit Hilfe eines Elisaprozessors der Firma Thermo (Dreieich, Deutschland), bei 550 nm gemessen. Folgendes Pipettierschema wurde angewandt:

Zugabe destilliertes Wasser	Standard 10 mg/dl Kalzium	Kalziumkonzentration
0 µl	50 µl	10 mg/dl
10 µl	40 µl	8 mg/dl
20 µl	30 µl	6 mg/dl
30 µl	20 µl	4 mg/dl
40 µl	10 µl	2 mg/dl

Tab. 3.1: Pipettierschema Standardkurve Total Calcium LiquiColor® (Thermo, Deutschland)

Die gemessene Standardkurve konnte übernommen werden. Nachfolgend wurde der Smoothie Mango-Banane der Firma Alnatura bei verschiedenen Verdünnungen mit folgendem Pipettierschema gemessen:

Verdünnung	Probe	Destilliertes Wasser
unverdünnt	1000 µl	0 µl
1 : 5	200 µl	800 µl
1 : 10	100 µl	900 µl
1 : 20	50 µl	950 µl
1 : 50	20 µl	980 µl

Tab. 3.2: Pipettierschema Probe Total Calcium LiquiColor® (Thermo, Deutschland)

Vor der eigentlichen Testdurchführung wurden die Smoothieprobe und die Verdünnungen drei Minuten homogenisiert. Desweiteren wurden die Pipettenspitzen der Mikroliterpipetten abgeschnitten, da aufgrund der Faserstoffe die Proben sonst nicht pipettiert werden konnten.

Das Testreagenz wurde aus 6 ml Total Calcium Color Reagent Cat.No. 0151 und 6 ml Total Calcium Base Reagent Cat.No. 0152 angesetzt und bis zur Weiterpipettierung verschlossen aufbewahrt.

In einer 96-Well-Platte wurden nun zehn µl Probe oder Verdünnung, bzw. Standard und 200 µl Testreagenz pipettiert und eine Minute schwenkend inkubiert.

Danach erfolge die Messung in einem Thermo VarioSkan Elisaprozessor (Dreieich, Deutschland) bei einer Wellenlänge von 550 nm. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt. Hierbei stellte sich heraus, dass ein Kalziumwert, wenn überhaupt nur bei unverdünntem Smoothie messbar war. Bei der Messung weiterer Proben stellte sich heraus, dass vermutlich aufgrund der Eigenfarbe und der Faserstoffe in den Smoothies es zu divergierenden Messwerten kam. Bei keiner der Proben war ein übereinstimmender Doppelwert zu erreichen.

Um den Störfaktor der Eigenfarbe und der Faserstoffe auszuschalten, wurde ein weiterer Testansatz mit einem Mineralwasser, einem Joghurt mit 3,5 % Fett (Weideglück) und einer Buttermilch (Berchtesgadener Land) mit jeweils bekannter Kalziumkonzentration durchgeführt. Joghurt und Buttermilch wurden vor Testbeginn drei Minuten homogenisiert.

Der Ansatz erfolgte, wie oben beschrieben, mit zehn µl Probe und 200 µl Testreagenz. Gemessen wurde in einer 96-Well-Platte. Bei der Auswertung ergaben sich bei

Mineralwasser plausible Werte, die jedoch bei einer Messung von Joghurt und Buttermilch nicht möglich waren.

Um bei Joghurt und Buttermilch Kalziumwerte messen zu können, wurden in einem weiteren Versuch 1000 µl Joghurt und 500 µl Buttermilch mit 500 µl 0,5 molarer Salzsäure versetzt und über Nacht in den Rüttler gestellt, um eine Ausfällung des Kalziums zu erwirken. Anschließend wurden die Proben anzenrifugiert und der Überstand, wie oben beschrieben, gemessen. Auch hier konnten keine, mit den Angaben der Verpackungen übereinstimmenden Werte gemessen werden.

Somit stellte sich heraus, dass die Messungen durch die in den Smoothies enthaltenen Faserstoffe und festen Bestandteile stark gestört wurden. Aufgrund der massiven Störanfälligkeit dieser Methode wurden keine weiteren Messungen an Smoothies unternommen.

3.4.2 Photometrische Messung des Phosphatgehalts

Analog zu der Kalziumbestimmung kann mit einem Test der Firma Stanbio Laboratory (USA), Stanbio Phosphorus Liqui-UV[®] Procedure No. 0830 (Stanbio Laboratory USA), der Phosphatgehalt bestimmt werden. Jedoch beschränkt sich dieses Testverfahren auf Serum und Urin, weshalb es zur Bestimmung des Phosphatgehaltes in Smoothies nicht weiter untersucht wurde, da auch hier die gleichen Störfaktoren angenommen werden mussten.

3.5 Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts mittels Spectroquant[®]

In einem weiteren Testansatz wurde versucht, den Kalzium- und Phosphatgehalt mit Hilfe des Spectroquant[®]-Tests der Firma Merck zu ermitteln. Die Firma gibt an, dass dieses Bestimmungsverfahren sich für Lebensmittel eignen würde, wobei Störeinflüsse wie Eigenfarbe und Faserstoffe, mittels Schwefelsäure aufgehoben werden. Für Kalzium wird ein Messbereich von 1 bis 15 mg je Liter und für Phosphat von 0,5 bis 5 mg je Liter angegeben.

Für die Probenaufbereitung werden folgende Materialien benötigt:

95 - 97 %ige Schwefelsäure Art. 1.00731.1000 (Merck, Darmstadt/Deutschland)

30 % Perhydrol® Art. 1.07209.1000 (Merck, Darmstadt/Deutschland)

Wasser, Art. 1.16754.9010 (Merck, Darmstadt/Deutschland)

32 % Natronlauge, hergestellt aus 32 Teilen 45%iger NaOH und 13 Teilen demineralisiertem Wasser

Nach den Angaben der Firma Merck wurden ein Gramm eines Smoothies mit 5 ml der 97%igen Schwefelsäure im 600 ml-Becherglas gemischt und im Abzug auf einer Elektroheizplatte langsam erhitzt, bis eine Schwarzfärbung der Mischung eintrat. Nach dem Abkühlen wurden 5 ml Perhydrol® zugefügt. Anschließend wurde die Mischung bis zum Rauchpunkt erhitzt. Dann wurden 7 ml Perhydrol® zugegeben und es wurde weiter erhitzt, bis die Flüssigkeit klar wurde. Nach erneutem Abkühlen wurden zunächst 50 ml Wasser (Art. 1.16754.9010, Firma Merck, Darmstadt, Deutschland) hinzugefügt und danach mit ca. 14 ml 32 %iger NaOH der pH-Wert auf 5 bis 7 eingestellt. Dann wurde der Ansatz in einem Erlenmeyerkolben mit Wasser (Art. 1.16754.9010, Merck, Darmstadt, Deutschland) auf 1 Liter aufgefüllt. Der entsprechende Analysenwert entsprach dem Messwert in mg/l, mit dem Faktor 1000 multipliziert.

Anschließend erfolgte die photometrische Kalziumbestimmung mit dem Spectroquant® Calcium-Test (Art. 1.14815.0001; Merck, Darmstadt/Deutschland). Hierbei werden der Testlösung drei Reagenzien zugefügt. Dabei bildet sich aus den Kalziumionen der Testlösung, in einem alkoholisch-alkalischen Milieu, mit modifiziertem Glyoxal-bis(2-hydroxyanil) ein rotvioletter Komplex, der photometrisch messbar ist. Dabei wird folgendes Pipettierschema angewandt:

Vorbereitete Probe (20-35 °C)	0,5 ml	In ein Reagenzglas pipettieren
Reagenz Ca-1	5,0 ml	Mit Pipette zugeben und mischen
Reagenz Ca-2	4 Tropfen	Zugeben und mischen
Reagenz Ca-3	4 Tropfen	Zugeben und mischen

Tab. 3.3: Pipettierschema Spectroquant® Calcium-Test (Merck, Deutschland)

Die so hergestellten Testansätze wurden dann 8 Minuten inkubiert. Vor der Messung wurde mittels eines pH-Meters (Schott blue line, Jena, Deutschland) der pH-Wert der Messlösung überprüft, der über pH 12 liegen sollte. Danach erfolgte die photometrische Messung in einer 10 mm Küvette mit dem Multiquant-Spectralphotometer der Firma Merck. Bei diesem Photometer sind die einzelnen Testmethoden der Spectro-

quant-Tests bereits fertig programmiert und geeicht. Daher war das Erstellen einer Standardkurve nicht notwendig.

Bei den Messungen konnten jedoch bei allen Proben keine Calciumwerte bestimmt werden, da diese unterhalb des Messbereichs von 1,0 bis 15,0 mg/l Kalzium lagen. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt. Um die Verlässlichkeit der Methode zu überprüfen, wurde eine Flasche „Hohes C mit Calcium“ (Eckes-Granini, Deutschland) getestet, da auf der Deklaration ein Kalziumgehalt von 135 mg angegeben wurde. Bei der photometrischen Messung wurde jedoch angezeigt, dass auch bei „Hohes C mit Calcium“ der gemessene Wert unterhalb des Messbereichs lag.

Die Rückfrage bei der Firma Merck ergab, dass statt auf 1000 ml nur auf 250 ml verdünnt werden soll, um messbare Werte zu erhalten (VWR 2010). Dies wurde dann entsprechend durchgeführt. Jedoch konnten auch jetzt keine Kalziumwerte gemessen werden.

Da auch nach diesem weiteren Messversuch keine Ergebnisse erzielt werden konnten, wurde die Firma Merck über die Vertriebsfirma VWR kontaktiert (VWR 2010). Diese riet, es mit einer Verdünnung von nur auf 250 Milliliter zu belassen.

Erneut konnte auch dann in einem Vortest kein Kalziumwert bestimmt werden. Vermutlich lag der Kalziumgehalt immer noch unterhalb der Nachweisgrenze dieses Verfahrens.

Für die Bestimmung des Phosphatwertes wurde ebenfalls ein Test der Firma Merck (Spectroquant® Phosphat-Test Art. 1.14848.0001 bzw. 1.14848.0002, Firma Merck, Darmstadt, Deutschland) verwendet, für den, laut Firma Merck, ebenfalls die oben genannte Probenvorbereitung möglich ist. Bei dieser Methode kommt es zu einer Bildung von Molybdato-phosphorsäure, die in schwefelsaurer Lösung aus Orthophosphationen und Molybdationen gebildet wird. Durch den Zusatz von Ascorbinsäure wird Molybdato-phosphorsäure zu Phosphormolybdänblau reduziert. Dies ermöglicht dann eine photometrische Messung. Dieses Verfahren ist gleichwertig mit EPA 365.2+3, US Standard Methode 4500-P E, ISO 6978/1 und DIN EN 1189 D11.

Um vergleichbare Kalzium- und Phosphatwerte zu erhalten, wurden für den ersten Testlauf ein Gramm pürierter Apfel, ein Gramm Hohes C plus Calcium (Eckes-Granini, Deutschland) und ein Gramm Smoothie eingewogen und jeweils nach dem oben beschriebenen Probenaufschluss vorbereitet. Zusätzlich wurde sowohl bei der

Kalzium- als auch bei der Phosphatbestimmung bei jedem Testlauf eine Blindprobe (demineralisiertes Wasser) mitgeführt.

Bei der Phosphatwertbestimmung wurde ebenfalls nach dem in der Testanleitung des Spectroquant® Phosphat-Tests angegebenen Pipettierschemas folgendermaßen vorgegangen:

Vorbereitete Probe (10-35 °C)	5,0 ml	In ein Reagenzglas pipettieren
Reagenz PO4-1	5 Tropfen	Zugeben und mischen
Reagenz PO4-2	1 gestrichener blauer Mikrolöffel aus der PO ⁴⁻ - 2-Flasche	Zugeben und kräftig schütteln, bis das Rea- genz vollständig gelöst ist

Tab. 3.4: Pipettierschema Spectroquant® Phosphat-Test (Merck, Deutschland)

Die Testansätze wurden 5 Minuten bei Raumtemperatur inkubiert und kurz vor der Messung mit einem pH-Meter (blue line, Schott, Jena, Deutschland) der entsprechende pH-Wert, der zwischen 0,80 und 0,95 liegen sollte, überprüft. Danach wurden die Testansätze auch in einer 10 mm Küvette in einem Multiquant-Spectralphotometer gemessen. Auch hier waren die entsprechenden Methoden bereits von der Firma Merck programmiert und geeicht, so dass auch hier auf eine manuell erstellte Standardkurve verzichtet wurde.

Bei dieser Testmethode stellte sich das gleiche Problem dar, wie bei der bereits beschriebenen Calciumbestimmung. Auch hier waren die Phosphatwerte unterhalb des angegebenen Messbereichs von 0,05 - 5,00 mg/l PO⁴⁻.

3.6 Bestimmung des erosiven Zahnschmelzverlustes mittels Oberflächenprofilometrie

Zur Prüfung der Erosivität von Smoothies auf die Zahnhartsubstanz und den damit verbundenem Schmelzverlust, wurde das Tastschrittverfahren mit dem Perthometer Typ 3 SP (Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen, Deutschland) durchgeführt.



Abb. 3.2: Perthometer Typ 3 SP (Mahr, Deutschland)

Theoretische Grundlagen der Oberflächenmesstechnik und des Tastschrittverfahrens

Beim Tastschrittverfahren wird die zu prüfende Oberfläche mit Hilfe einer Tastnadel entlang einer geradlinigen Strecke mit konstanter Geschwindigkeit abgetastet. Das Gerät zeichnet einen zweidimensionalen Profilschnitt auf, indem die Oberflächenflächenstrukturen als mechanische Auslenkung der Tastspitze dargestellt werden. Diese werden in digitale Werte umgewandelt und in einem Profilspeicher als sogenanntes D-Profil abgelegt. Die Oberfläche der zu untersuchenden Probe wird somit durch das D-Profil repräsentiert und besteht aus etwa 8000 gleichmäßig über die Taststreckenlänge verteilten Werten (Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen, Deutschland).

Bei dieser Form des Messverfahrens wird eine dreidimensionale Oberfläche in einem zweidimensionalen Profil dargestellt. Zur Messung dient eine Diamant-Tastspitze, die reibungsfrei in einem Tastsystem gelagert ist und mit Hilfe eines Vorschubgerätes mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Oberfläche der Messprobe geführt wird (Tschernin 2003). Hierbei wird die Oberflächenstruktur von der Tasterspitze formgetreu erfasst. Die vertikalen Lageveränderungen der Messnadel, die von der Profiler-

klüftung der Oberfläche abhängig sind, werden durch einen im Tastsystem vorhandenen elektrischen Wandler in elektrische Signale umgewandelt und mittels des Mess- und Auswerterechners ausgewertet. Das Tastsystem stellt den wichtigsten Teil des Messgerätes dar. Seine Aufgabe ist es, die Struktur der Oberfläche zu erfassen und in ein elektrisches Signal umzuwandeln. Wichtig ist, dass das Tastsystem reibungsfrei gelagert ist, damit die Gestaltabweichungen auch im Nanometerbereich erfasst werden können. Die Diamantspitze hat die Form eines Kegels mit einem Winkel von 90° , mit einer Toleranz von $\pm 5^\circ$. Der Radius der Spitze beträgt in aller Regel $5 \mu\text{m}$ mit einer Toleranz von $\pm 2 \mu\text{m}$. Weiterhin dient ein elektrischer Filter dazu, die Formabweichungen und die Welligkeit von der Rauheit zu trennen. Dabei errechnet das ungefilterte Ist-Profil eine Mittellinie, die dem Welligkeitsprofil entspricht. Abweichungen des Ist-Profiles von der Mittellinie stellen die Rauheit dar. Durch einen Hochpassfilter werden aus dem ungefilterten Ist-Profil die langwelligen Abweichungen, also die Welligkeit herausgefiltert. Mit dem Tiefpassfilter die kurzwelligen Abweichungen (Rauheit) dargestellt (Tschernin 2003).

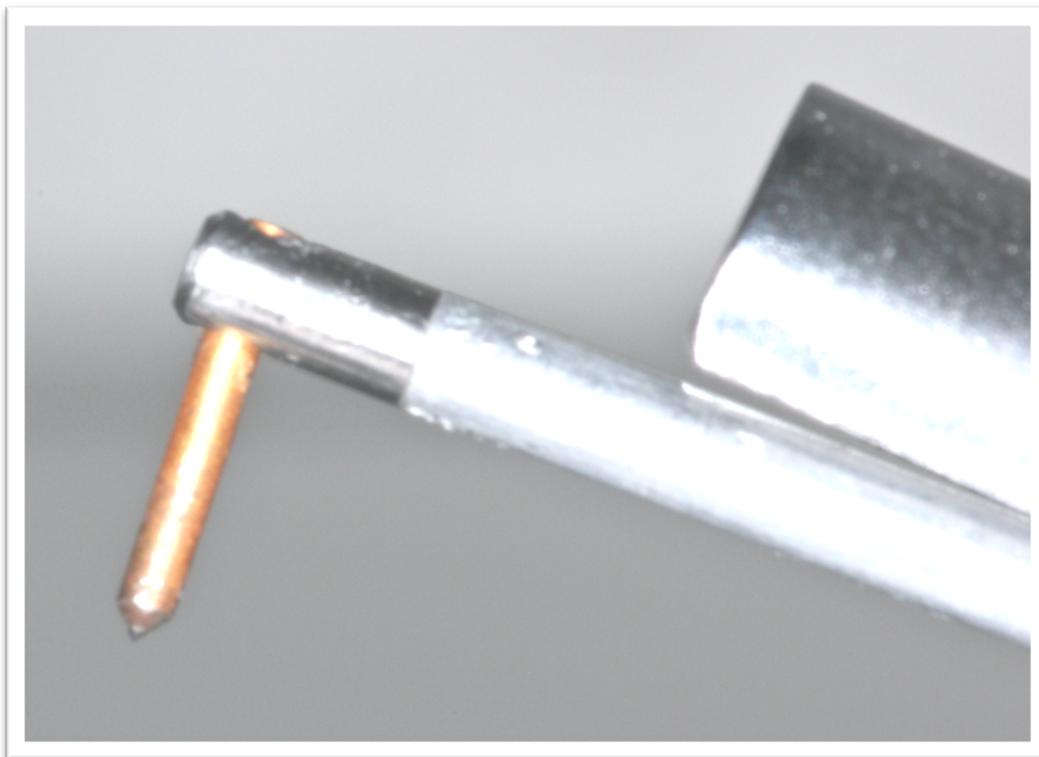


Abb. 3.3: Messspitze des Perthometer Typ 3 SP (Mahr, Deutschland)

Gestaltabweichungen nach DIN 4760

Ein Ordnungssystem für Gestaltabweichungen nach DIN 4760 (DIN 1982) wurde vom deutschen Institut für Normung e.V. beschrieben:

Gestaltabweichung	Art der Abweichung	Wesentliche Normen
1. Ordnung	Geradheit, Ebenheit, Rundheit, Zylinderform, Linienform, Flächenform	DIN ISO 1101
2. Ordnung	Welligkeit	DIN 4774
3. Ordnung	Rauheit (Rillen)	DIN 4762
4. Ordnung	Rauheit, Riefen, Schuppen, Kuppen	DIN 4768
5. Ordnung	Gefügestruktur	DIN 4776
6. Ordnung	Gitteraufbau des Werkstoffes	

Tab. 3.5: Ordnungssystem für Gestaltabweichungen (DIN 1982, deutsches Institut für Normung e.V.)

Es treten hierbei Überlagerungen bei den Gestaltabweichungen der 1. bis 4. Ordnung auf.

Definition der Oberflächenkennwerte (Rauheitskenngrößen)

- R_z Gemittelte Rautiefe – DIN 4768/1

Die gemittelte Rautiefe R_z (früher R_{tm}) wird beschrieben, als der Mittelwert von 5 hintereinander folgenden Einzelmessstrecken im Rauheitsprofil. Hierbei werden die Extremwerte in jedem Messabschnitt zusammengezählt und dann die Spannweite durch die Anzahl der Messabschnitte geteilt (Brevier Technische Keramik 2003).

- R_{max} Maximale Rautiefe – DIN 4768

Die maximale Rautiefe wird beschrieben als der größte Abstand vom höchsten bis zum tiefsten Punkt, also die größte Einzelrautiefe, innerhalb einer Grenzwellenlänge (Volk 2005).

Es ist sinnvoll, R_z und R_{max} gemeinsam zu betrachten. Wenn der Wert der maximalen Rautiefe deutlich größer ist, als der der gemittelten Rautiefe, liegt ein einzelner besonders hoher Defekt im gemessenen Tastschritt vor. Volk (2005 empfiehlt) in diesem Fall die Messung an einer anderen Stelle der Probe zu wiederholen.

- R_a Arithmetischer Mittenrauwert – nach DIN EN ISO 4287 (1998)

Der arithmetische Mittenrauhwert R_a ist der Mittelwert der Höhen- und Tiefenunterschiede, bezogen auf die Messstrecke. Theoretisch betrachtet, entspricht R_a dem Abstand von mehreren Linien, die entstehen, wenn die höchsten Punkte oberhalb und die tiefsten Punkte unterhalb der Mittellinie in gleich große Rechtecke verwandelt würden (Brevier Technische Keramik 2003). Der Wert R_a wird in der Werkstoffkunde eingesetzt, um die Rauheit einer bearbeiteten Oberfläche, oder um mit der Zeit entstehende Oberflächenveränderungen zu beschreiben, da dieser Wert weder zwischen Spitzen und Riefen noch unterschiedlichen Profilformen unterscheidet.

Vorbereitung der Schmelzproben für die Rauheitsmessung

Um den Substanzverlust im Zahnschmelz bestimmen zu können, wurden extrahierte Molaren und Prämolaren mit einer kariesfreien vestibulären oder oralen Fläche verwendet. Die Zähne wurden nach ihrer Entfernung entweder in Leitungswasser oder in einer Natriumazid-Lösung zur Vermeidung einer Geruchsbildung gelagert. In Natriumazid gelagerte Zähne wurden vor ihrer weiteren Verarbeitung mindestens 30 Minuten unter fließendem Wasser gewässert. Danach wurden mit einer Schneidemaschine (Vari/CutTM VC-50, Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, USA) die Wurzeln von den Zahnkronen entfernt und die Zahnkronen in mesio-distaler Richtung halbiert. Dabei war auf eine gute Wasserkühlung zu achten. Die Kronenpulpa wurde, soweit vorhanden, weitestgehend mit einer Pinzette entfernt. Die halbierten Zahnkronen wurden in Silikonformen (Adisil[®] rosé, Siladent, Deutschland), mit der Schnittfläche am Boden der Form aufliegend, in Technovit[®] 4004 (Heraeus Kulzer GmbH, Deutschland Lot. 012904) eingebettet. Technovit ist ein Kaltpolymerisat, das zur Schliffeinbettung, insbesondere bei metallographischen Untersuchungen, geeignet ist. Die Kunststoffblöckchen mit den eingebetteten Zahnkronen wurden danach mindestens eine Stunde ausgehärtet, anschließend aus der Silikonform entnommen und auf einer Poliermaschine (Leco VP 100) poliert. Poliert wurde in folgender Reihenfolge: Zunächst wurde mit einem groben Schleifpapier das Blöckchen auf der konvexen Zahnseite (bukkal oder lingual) solange herunter geschliffen, bis der Zahnschmelz geringfügig angeschliffen war. Hierfür wurde ein Schleifpapier der Firma Leco Silicon Carbide Wet/Dry C Weight Premium Grade Abrasives mit einer 240 Grit Körnung (Leco XO Grit 240 P280) verwendet. Nachfolgend wurde der nun freiliegende Zahnschmelz mit feineren Schleifpapierdiscs, zunächst mit 800 Grit Schleifpapier (Leco KF 800/2400P Silicon Ca), danach mit 1200 Grit (Leco KK 1200/4000 P) vorpoliert. Hierbei war darauf zu achten, nicht ins Dentin zu gelangen. Danach wurden die Pro-

ben mit Polierpapier der Firma Leco (Part No.: 809-501, Polishing Discs, Lot-No.: 0608-0957, Leco Corporation 3000 Lakeview Avenue, St. Joseph Mi 49085-2396, USA) und Diamantspray mit einer Körnung von 1 μm (Struers A/S, Denmark) auf Hochglanz poliert. Der gesamte Schleif- und Poliervorgang fand unter Wasserkühlung statt. Die auf Hochglanz polierten Schmelzproben wurden bis zu ihrer Messung im Perthometer in destilliertem Wasser gelagert. Da die von uns verwendeten Zahnkronen weitestgehend nicht desinfiziert werden konnten, um mögliche Demineralisationen zu vermeiden, erfolgte der gesamte Schneide-, Schleif- und Poliervorgang zum Schutz vor Kontamination mit Handschuhen, Mundschutz und Schutzbrille. Die Maschinen und Arbeitsflächen wurden mit Incidin[®] Liquid (Ecolab/Deutschland) wischdesinfiziert. Die Schleifpapierdiscs wurden separat hygienisch gelagert und nach ihrer Verwendung entsorgt. Nachfolgend wurde auf der polierten Schmelzoberfläche ein Streifen von 1 mm Länge mit einem Lineal ausgemessen, markiert und mit durchsichtigem Klebeband (Tesafilm[®]) beidseitig so abgeklebt, dass ein Schmelzstreifen von 1 mm mit der Probe in Kontakt kommt. Die Probenblöckchen wurden in verschraubbaren Kunststoffgefäßen vollständig mit Smoothie bedeckt und 60 Min. auf einem Schwenkgerät (Heidolph Polymax 1040) inkubiert. Danach wurden die Blöckchen mit destilliertem Wasser abgespült, die Kunststoffgefäße mit Wasser ausgespült und mit entmineralisiertem Wasser aufgefüllt. Von den Blöckchen wurde das Klebeband entfernt und die Proben bis zu ihrer Messung in den Kunststoffgefäßen in destilliertem Wasser gelagert. Vor der Messung wurden die Proben vorsichtig mit Druckluft getrocknet.

Messung der Proben im Perthometer Typ 3SP

Für den Messvorgang wurde auf dem Probenträger des Perthometers das Probeblöckchen mit Boxingwachs planparallel zur Oberfläche nach Augenmaß ausgerichtet. Die Blöckchen wurden zusätzlich mit Tesafilm[®] auf dem Probenträger fixiert. Die Diamantmessnadel wurde ohne lange Messarmverlängerung in die Halterung eingeschoben. Anschließend wurde das Perthometer eingeschaltet und die Funktion T8 FRW – 750 cal gewählt. Im Menü sollte die Funktion VG VH OF auf dem Display erscheinen. Der Neigungswinkel des Gerätes sollte auf „0“ stehen. Die Vertikale sollte auf 10 μm , die Horizontale auf 250 μm eingestellt sein. Die Messstrecke LT V wurde von 5,6 mm auf 2,5 mm begrenzt. Die „P Profile“-Einstellung war „pos“. In einem weiteren Arbeitsschritt wird die „Teil \perp “-Ebene eingestellt und anschließend der Mess-

arm am Startpunkt positioniert. Die Nadel wird auf die Probe aufgesetzt bis S3P 0YM angezeigt wird und die Messung gestartet.

Zu jedem Smoothie wurde ein Messblöckchen angefertigt und pro Messblock wurden je sechs Werte für R_{\max} , R_z und R_a an willkürlich ausgewählten Stellen erhoben. Anschließend wurde mit Hilfe von Microsoft Excel für jeden einzelnen Smoothie der Mittelwert erhoben, sowie die Standardabweichung und der Medianwert berechnet. Das Konfidenzintervall wurde mit 95 % festgelegt. Bei den nachfolgend genannten Wertangaben handelt es sich ausschließlich um Angaben in μm (Mikrometer).

3.7 Darstellung des erosiven Zahnschmelzverlustes mittels Rasterelektronenmikroskopie

Bei der Rasterelektronenmikroskopie handelt es sich um eine Methode, bei der ein Bild nicht mit Hilfe von Licht, sondern mit Hilfe eines Elektronenstrahls abgebildet wird. Im Gegensatz zur Lichtmikroskopie handelt es sich bei der Rasterelektronenmikroskopie nicht um eine zweidimensionale Darstellung, sondern um die dreidimensionale Darstellung eines Bildes. Kommerziell wird die Rasterelektronenmikroskopie seit circa 1965 genutzt, um dreidimensionale Körper mit hohem Auflösungsvermögen und großer Schärfe darzustellen. Sie wird bis heute zur quantitativen und qualitativen Analyse genutzt (Ludwig 2017).

Funktionsprinzip der Rasterelektronenmikroskopie

Mit Hilfe einer Wolfram- oder LaB₆-Glühkathode werden durch Glühemission (Edison-Effekt) oder mittels Feldemission von einer kalten Elektrode, Elektronen erzeugt. Durch eine angelegte Spannung von etwa 1 bis 30 kV zwischen der positiv geladenen Anode und der negativ geladenen Kathode, erhalten die Elektronen ihre Energie. Die Energie des Elektronenstrahls wird in Elektronenvolt (eV) angegeben, wobei Elektronenvolt wie folgt definiert wird:

$$\text{Elektronenvolt (eV)} = \text{Elementarladung (e)} \times \text{Beschleunigungsspannung (U)}$$

Zur Fokussierung des Elektronenstrahls dienen ein sogenannter Wehneltzylinder und elektromagnetische Linsen, die aus einer stromdurchflossenen Spule mit ferromagnetischem Kern bestehen. Die Brennweite der Linsen wird durch die Stärke des elektrischen Stroms gesteuert. Sie dienen als Strahlstromblende. Je größer der Durchmesser des Elektronenstrahls ist, desto weniger Strom wird von der Blende

durchgelassen. Der Arbeitsabstand ist über den Abstand der Probe zur Objektivlinse definiert und beträgt meist zwischen 5 und 50 Millimeter. Um ein Zusammenstoßen von beschleunigten Elektronen mit Gasteilchen zu vermeiden, müssen sich die Elektronenkanone, die Linsen, die zu untersuchende Probe und die Detektoren in einer Hochvakuumkammer befinden (Ludwig 2017).

Während der Messung wird ein fokussierter Elektronenstrahl in einem definierten Raster über die Probe geführt und tastet damit die Oberfläche des zu untersuchenden Objekts ab. Während der Messung wird von den Ablenkspulen (Kondensorlinsen) ein Magnetfeld quer zur Strahlrichtung erzeugt. Die vom Elektronenstrahl abgetastete Fläche ist umso kleiner, je geringer die Ablenkung durch die Spulen ist. Gleichzeitig ist die Vergrößerung umso höher, je kleiner die vom Strahl abgetastete Fläche ist. In Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Oberfläche der Probe werden an der getroffenen Stelle Elektronen erzeugt und zurück gestreut. Diese aus der Probe herausgelösten und zurückgeschossenen Elektronen werden von Detektoren registriert. Mit Hilfe eines Rastergenerators wird das empfangene Signal verstärkt und auf einem Bildschirm dargestellt. Die Oberflächenstruktur wird mittels unterschiedlicher Helligkeitswerte dargestellt. Während in den Anfangszeiten der Rasterelektronenmikroskopie das empfangene Signal über die klassische Kathodenstrahlröhre (sogenannte Braun'sche Röhre) abgebildet wurde, werden heute die empfangenen Signale digital auf einem Computer dargestellt. Hierdurch ist auch eine Abspeicherung und Bearbeitung des erzeugten Bildes möglich. Die Bildgröße liegt bei der digitalen Darstellung im Bereich von 1 bis 10 Millionen Bildpunkten, bei der analogen Darstellung von 600 bis 3000 Zeilen (Ludwig 2017).

Auflösungsvermögen und Abbildungsstärke der Rasterelektronenmikroskopie

Während bei der klassischen Lichtmikroskopie das Auflösungsvermögen von der Wellenlänge λ des Lichts und von der numerischen Apertur ($NA = \sin\alpha \times 0,5$; α = Öffnungswinkel) abhängt, wird das Bild bei der Rasterelektronenmikroskopie durch Elektronen erzeugt. Die bei der Rasterelektronenmikroskopie erzeugten Elektronen haben ebenfalls die Wellenlänge λ , welche durch die De-Broglie-Wellenlänge definiert ist. Sie kann aus der in der Beschleunigungskanone herrschenden vorliegenden Beschleunigungsspannung berechnet werden.

De-Broglie-Wellenlänge:

$$\lambda = h/p$$

h = Planck'sches Wirkungsspektrum

p = Impuls des Elektrons

Wellenlänge über Beschleunigungsspannung (U):

$$\lambda \text{ (nm)} = 1,226 / \sqrt{U(V)}$$

Die hohen Vergrößerungen und das sehr hohe Auflösungsvermögen des Rasterelektronenmikroskops werden durch die sehr kurzen Wellenlängen ermöglicht. Im Gegensatz zur Lichtmikroskopie, bei der eine möglichst große numerische Apertur für ein hohes Auflösungsvermögen nötig ist, ist bei der Rasterelektronenmikroskopie, auch bei einer sehr kleinen numerischen Apertur, die theoretische Auflösungsgrenze noch unter einem Nanometer. Auch die Schärfenebene eines Objekts, das nicht genau in der Schärfenebene liegt, wird maßgeblich durch die Numerische Apertur (NA) beeinflusst. Je größer die Numerische Apertur ist, desto größer sind die Zerstreuungskreise eines Punktes, der nicht in der Schärfenebene liegt. Mit zunehmender Größe der Zerstreuungskreise nimmt auch die Unschärfe zu. Folglich lässt sich ein dreidimensionales Objekt, das nicht in einer Schärfenebene liegt, bei kleiner NA einfacher scharf abbilden. Deshalb hat ein Rasterelektronenmikroskop eine hohe Schärfentiefe bei gleichzeitig hoher Vergrößerung. Dies ist das wichtigste Merkmal der Elektronenmikroskopie (Ludwig 2017).

Vorbereitung der Proben für die Rasterelektronenmikroskopie

Um eine möglichst kontrastreiche Aufnahme der zu untersuchenden Oberflächen zu erhalten, ist vor der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme eine Besputterung der Oberfläche mit Metallen wie Gold oder Palladium erforderlich. Dies wurde in unserer Untersuchung mit der Kathodenzerstäubungsanlage Polaron Range Sputter Coater CA 7625 carbon accessory (Polaron Range Sputter Coater CA 7625 carbon accessory, Quorum Technologies, East Sussex, England) vorgenommen (Abbildung 3.4).

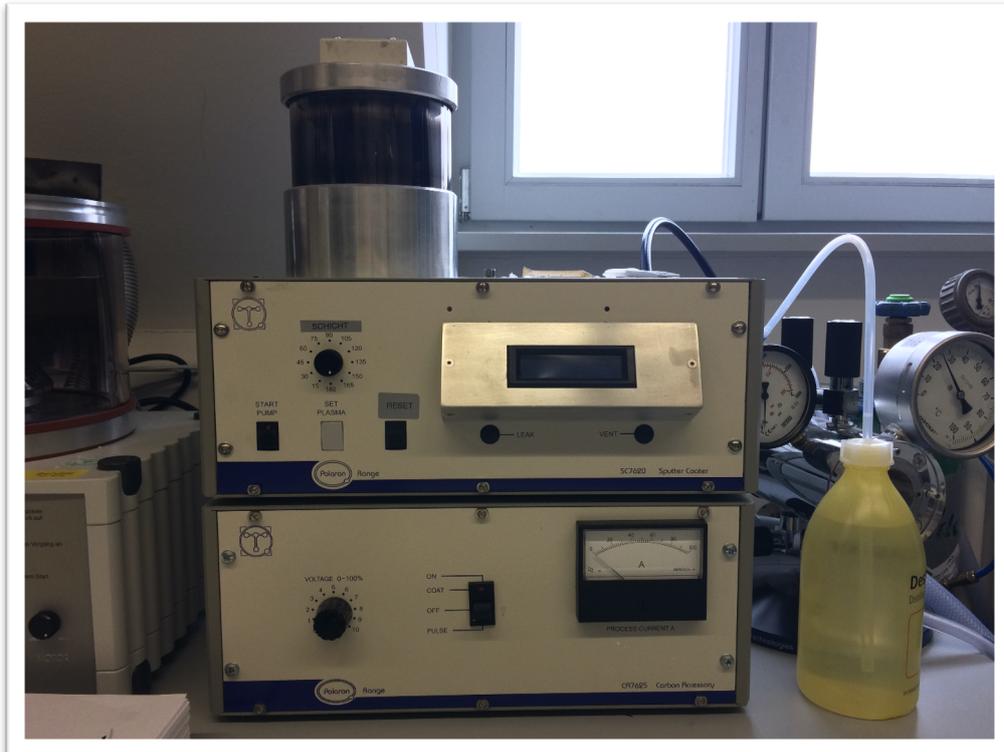


Abb. 3.4: Polaron Range Sputter Coater CA 7625 carbon accessory (Quorum, England)

Die Besputterung bezeichnet einen physikalischen Prozess, bei dem Atome durch den Beschuss mit energiereichen Edelgasionen aus einem Festkörper herausgelöst werden und in eine Gasphase übergehen. Abhängig von den verwendeten Elektroden, bzw. deren kinetischer Energie, kommt es dabei zu folgendem Prozess:

Zunächst wird Material aus der mit den Ionen beschossenen Kathode, dem sog. Target, abgetragen. Dabei werden die Ionen in das Target eingebaut. Dieser Prozess wird als Ionenimplantation bezeichnet. Die Ionen kondensieren auf der zu untersuchenden Probe und bilden eine dünne Schicht. Dieser Vorgang nennt sich Sputterdeposition. Als Ionenquelle dient hierbei meist eine Gleichstromgasentladung, das sogenannte DC-Sputtern. In unserem Beispiel wird hierbei unter Vakuum und einer angelegten Gleichspannung, ein Argon-Niederdruckplasma gezündet und die positiven Argonionen schlagen aus dem Target Atome heraus, die auf dem Substrat, in unserer Untersuchung die bearbeiteten Schmelzproben, kondensieren (Martin 1986).

Im Rahmen unserer Untersuchung wurde der Zahnschmelz einer Zahnkrone wie bereits oben beschrieben folgendermaßen vorbereitet: Die Zahnkrone wurde bei dieser Untersuchung nicht eingebettet, sondern nur die untersuchte Stelle im Schmelz po-

liert. Poliert wurde mit der gleichen Methode und in der gleichen Reihenfolge wie oben bereits bei der Oberflächenprofilometrie beschrieben. Die auf Hochglanz polierten Schmelzproben wurden bis zu ihrer Weiterverarbeitung in destilliertem Wasser gelagert. Nachfolgend wurde die zu untersuchende Schmelzfläche zur Hälfte mit durchsichtigem Klebeband (Tesafilm®, Tesa SE, Norderstedt, Deutschland) abgeklebt und für 60 Minuten in Smoothie Alnatura Beerenfrucht inkubiert. Während der Lagerung befand sich die Schmelzprobe in einem Kunststoffbehälter auf einem Schwenkgerät (Heidolph Polymax 1040, Heidolph Instruments GmbH, Schwabach, Deutschland). Nach Ablauf der Inkubationszeit wurde die Probe aus dem Smoothie genommen, mit destilliertem Wasser abgespült und vorsichtig getrocknet. Danach wurde die Probe im Sputtercoater unter Vakuum mit einem Arbeitsdruck von 0,3 atm (entspricht 0,3 bar) bei 40 mA für 60 Sekunden bei einer Sputterrate von 15nm/Minute mit Gold-Palladium besputtert. Die Schmelzprobe wurde unmittelbar im Anschluss unter dem Rasterelektronenmikroskop (Supra VP55, Carl Zeiss GmbH, Oberkochen, Deutschland) in verschiedenen Vergrößerungen abgetastet (Abbildung 3.5).

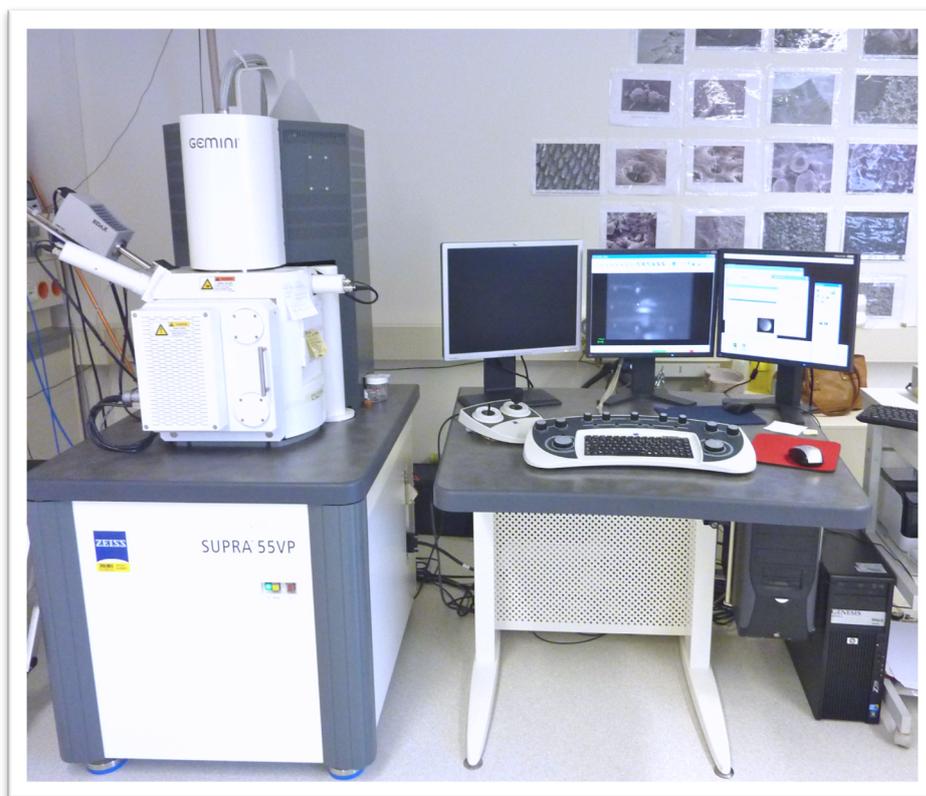


Abb. 3.5: Rasterelektronenmikroskop Supra 55 VP (Carl Zeiss, Deutschland)

Darstellung des Substanzverlustes unter dem Rasterelektronenmikroskop

Die von uns angefertigten rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden mit dem Detektor SE2 angefertigt. Hierbei handelt es sich um einen Detektor der sich insbesondere zur Darstellung von glatten Flächen eignet. Zudem wurde die 10.000fache Vergrößerung der mit Smoothie inkubierten Schmelzprobe noch mit dem Detektor InLens abgebildet. Hierbei handelt es sich um einen Detektor, der vor allem zur Beurteilung räumlicher Strukturen angewendet wird. In unserer Untersuchung sollen hiermit vor allem die freigelegten Schmelzprismen besser dargestellt werden. Zur Dokumentation wurden Fotos angefertigt.

3.8 Die konfokale Laserscanmikroskopie (CLSM)

Bei der konfokalen Lasermikroskopie wird das zu untersuchende Objekt Punkt für Punkt mit einem Laserstrahl abgetastet und die Wechselwirkungen des Laserlichtes mit der bestrahlten Stelle registriert. Im Gegensatz zur konventionellen Lichtmikroskopie können mit Hilfe des CLSM auch Objekte mit einer größeren Schichtdicke beurteilt werden (Wilhelm et al. 2019).

Der wesentliche Unterschied des CLSM zum konventionellen Lichtmikroskop ist das Vorhandensein einer konfokalen Blende, dem sogenannten Pinhole. Das Pinhole ist in einer zur Objektebene und zur Zwischenbildebene des Mikroskops parallelen Ebene angeordnet. Hierdurch werden der Beleuchtungspunkt und der Beobachtungspunkt ineinander abgebildet. Dies bezeichnet man als konfokalen Strahlengang. Über den Durchmesser des Pinhole wird festgelegt, wie viel Licht von Objektpunkten, die außerhalb der Objektebene liegen, ausgeblendet wird. Der Konfokali-tätsgrad kann variiert werden. Zudem wird durch die konfokale Blende der Anteil an Streulicht minimiert und somit der Kontrast des zu untersuchenden Objekts erhöht. Ein großer Vorteil der konfokalen Lasermikroskopie zur Lichtmikroskopie ist, dass bei dickeren Präparaten die z-Ausdehnung größer ist als die wellenoptische Tiefenschärfe des Objektivs. Mit Hilfe der konfokalen Lasermikroskopie ist es möglich, einen optischen Schnitt abzubilden. Im Gegensatz zur konventionellen Lichtmikroskopie können somit auch dickere Präparate gut abgebildet werden und eine Vielzahl optischer Schnitte angefertigt werden (Wilhelm et al. 2019).

Die Probenvorbereitung für die konfokale Laserscanmikroskopie erfolgte mit dem gleichen Procedere wie die Probenvorbereitung für die Oberflächenprofilometrie. Als Vorversuch wurde von uns eine einzelne Schmelzprobe angefertigt und mit dem Smoothie Beerenfrüchte der Firma Alnatura 60 Minuten inkubiert.

Die Darstellung des erosiven Substanzverlustes erfolgte mit Hilfe des konfokalen Lasermikroskops LSM-510 Meta microscope (Carl Zeiss, Jena, Deutschland).

4 Ergebnisse

4.1 pH-Werte

Die Messung der pH-Werte erfolgte zum einen bei den reinen Smoothies. Als zweites wurde die Erosivität der Fruchtzubereitungen nach der Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett, Weihenstephan) untersucht, um eine mögliche Beeinträchtigung durch Calcium, Phosphat und Milchproteine durch Milchprodukte zu bestimmen.

Smoothies der Firma Alnatura (Abbildung. 4.1) hatten einen pH-Wert von 3,30 bis 3,75. Die Smoothies Traube-Himbeere und Mango-Maracuja wiesen mit 3,30 und 3,41 die niedrigsten pH-Werte auf, wohingegen die Sorten Mango-Banane und Heidelbeer-Banane einen pH-Wert von 3,75 und 3,68 hatten. Die Zugabe von Joghurt bewirkte eine Anhebung des pH-Werts um minimal 0,02 bei der Sorte Beerenfrucht und maximal um 0,11 bei der Sorte Pfirsich-Mango.

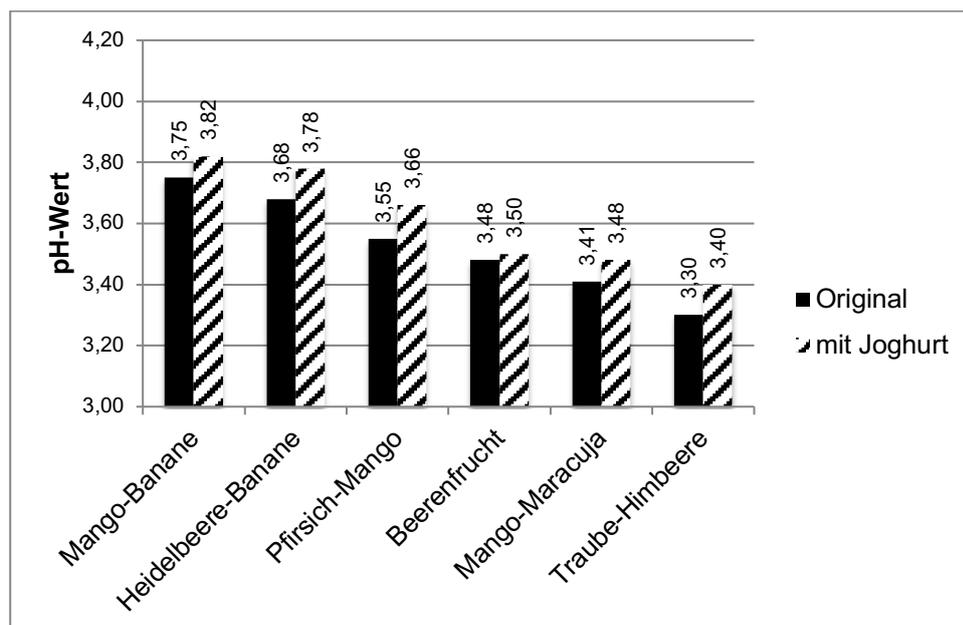


Abb. 4.1: pH-Werte der Smoothies der Firma Alnatura und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Bei den Smoothies der Firma Chiquita zeigte sich ein pH-Wert von 3,58 bis 3,91. Die niedrigsten pH-Werte konnten bei diesem Hersteller bei den Sorten Kokos-Mango und Himbeere-Granatapfel mit 3,58 und 3,61 festgestellt werden, wohingegen die Sorten Ananas-Banane und Heidelbeere-Cranberry mit 3,83 und 3,91 die höchsten pH-Werte hatten. Die Zugabe von 10 % Joghurt bewirkte hierbei einen Anstieg des pH-Werts um minimal 0,04 bei der Sorte Erdbeer-Banane und maximal um 0,26 bei

der Sorte Kokos-Mango. Zu einem Abfall des pH-Werts um 0,42 kam es hingegen bei der Sorte Heidelbeere-Cranberry.

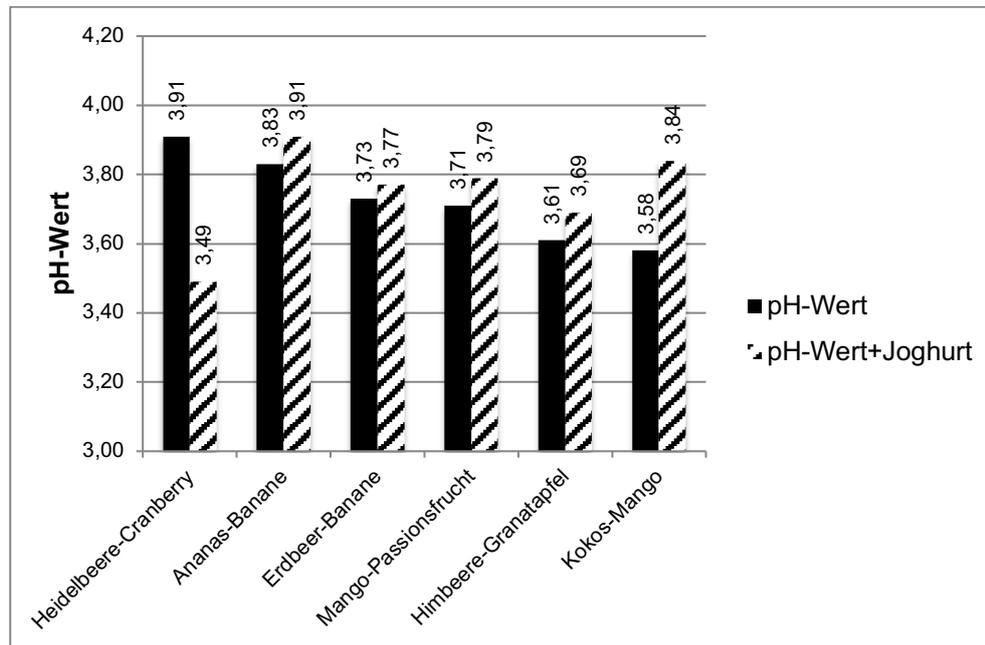


Abb. 4.2: pH-Werte von Smoothies der Firma Chiquita und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Die Smoothies „Fruit-2-day“ der Firma Schwartau enthalten sehr große Fruchtstücke. Daher wurde diese Sorte sowohl im pürierten, als auch im unpürierten Zustand gemessen, um eine mögliche Verfälschung des pH-Wertes durch die enthaltenen Fruchtstücke erkennen zu können. Im unpürierten Zustand wurden pH-Werte von 3,68 bis 3,71 und im pürierten Zustand Werte von 3,64 bis 3,76 gemessen. Die höchsten pH-Werte betragen im unpürierten Zustand bei den Sorten Erdbeer-Orange und Mango-Orange 3,76 und 3,74. Im pürierten Zustand hatten die Sorten Mango-Pfirsich mit 3,76 und Kirsche-rote Traube sowie Himbeere-Boysenbeere mit 3,68 etwas höhere Werte. Die niedrigsten pH-Werte konnten im unpürierten Zustand bei den Sorten Himbeere-Granatapfel und Mango-Pfirsich mit jeweils 3,68 gemessen werden. Im pürierten Zustand hatten die Sorten Erdbeer-Orange und Mango-Orange mit 3,65 und 3,64 niedrigere pH-Werte. Die Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte den pH-Wert geringfügig um minimal 0,01 bei der Sorte Mango-Orange und maximal um 0,11 bei der Sorte Himbeere-Granatapfel. Die Sorte Himbeere-Granatapfel war zum Zeitpunkt der Messung der pürierten Smoothies nicht mehr auf dem Markt erhältlich.

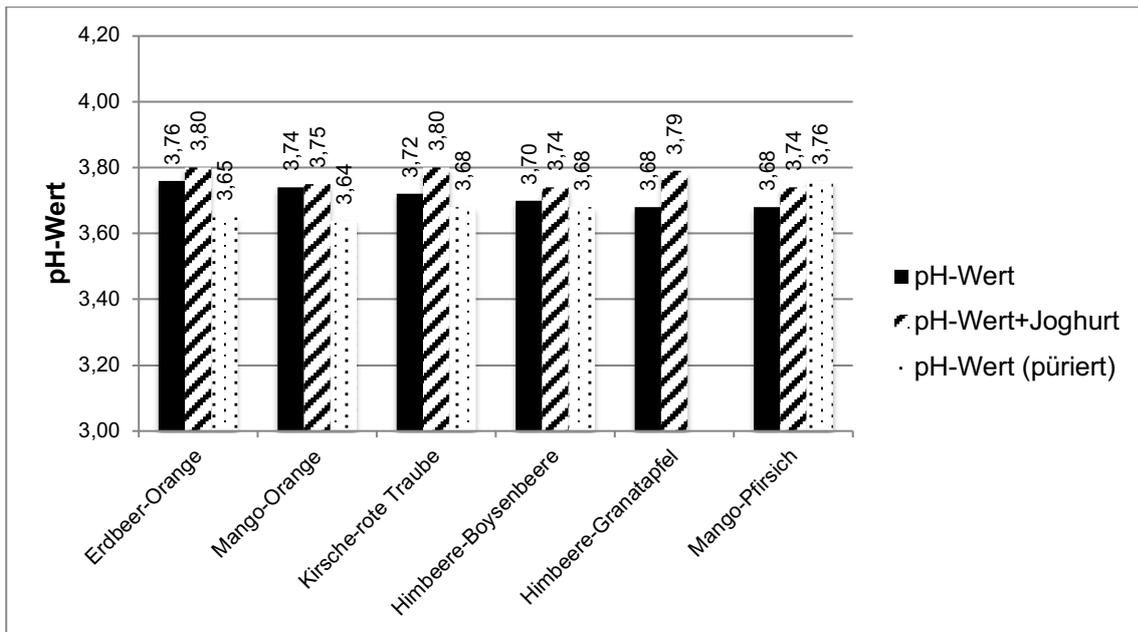


Abb. 4.3: pH-Werte (püriert und unpüriert) der Smoothies „Fruit-2-Day“ der Firma Schwartau und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Bei zwei weiteren Smoothies der Firma Schwartau aus der Serie „pur-pur“ wurden folgende pH-Werte festgestellt: die Sorte Mango-Maracuja wies einen pH-Wert von 3,62 auf, die Sorte Himbeere-Cassis einen pH-Wert von 3,44. Die Zugabe von 10 % Joghurt bewirkte bei der Sorte Mango-Maracuja eine pH-Wert-Erhöhung um 0,09 und bei der Sorte Himbeere-Cassis eine pH-Wert-Erhöhung um 0,13.

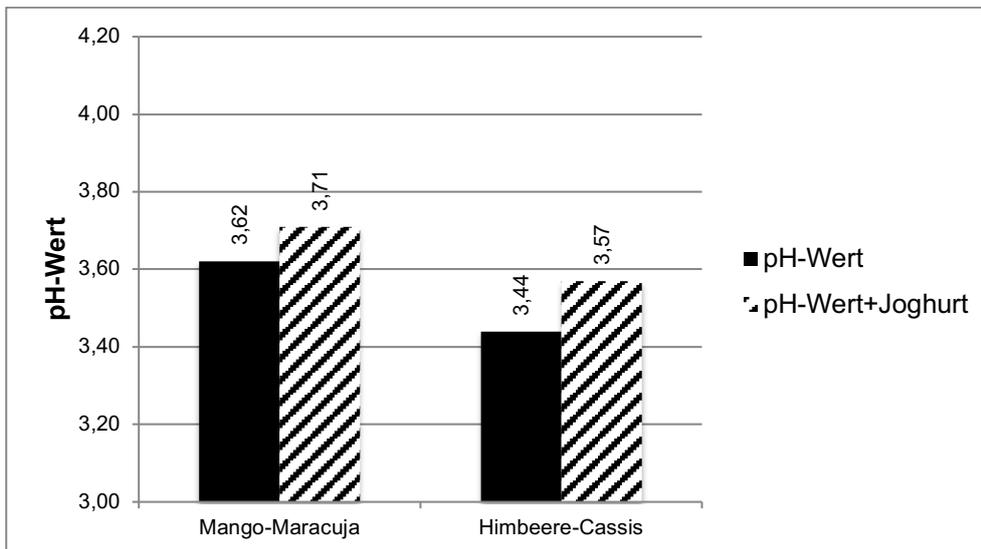


Abb. 4.4: pH-Werte der Smoothies „pur-pur“ der Firma Schwartau und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Bei Fruchtzubereitungen der Firma Innocent wurden pH-Werte von 3,30 bis 3,92 gemessen. Die niedrigsten pH-Werte konnten bei den Sorten Blackberries-Strawberries-Black Currants und Apfel-Kirsche-Cranberry mit 3,30 bis 3,41 festge-

stellt werden. Die höchsten pH-Werte wurden bei Kokos-Banane-Ananas und Orange-Karotte-Mango mit 3,92 und 3,78 gemessen. Hier bewirkte eine Zugabe von 10 % fettarmen Joghurt keinen Anstieg des pH-Werts bei der Sorte Orange-Karotte-Mango und einen maximalen Anstieg des pH-Werts um 0,15 bei der Sorte Apfel-Kirsche-Cranberry.

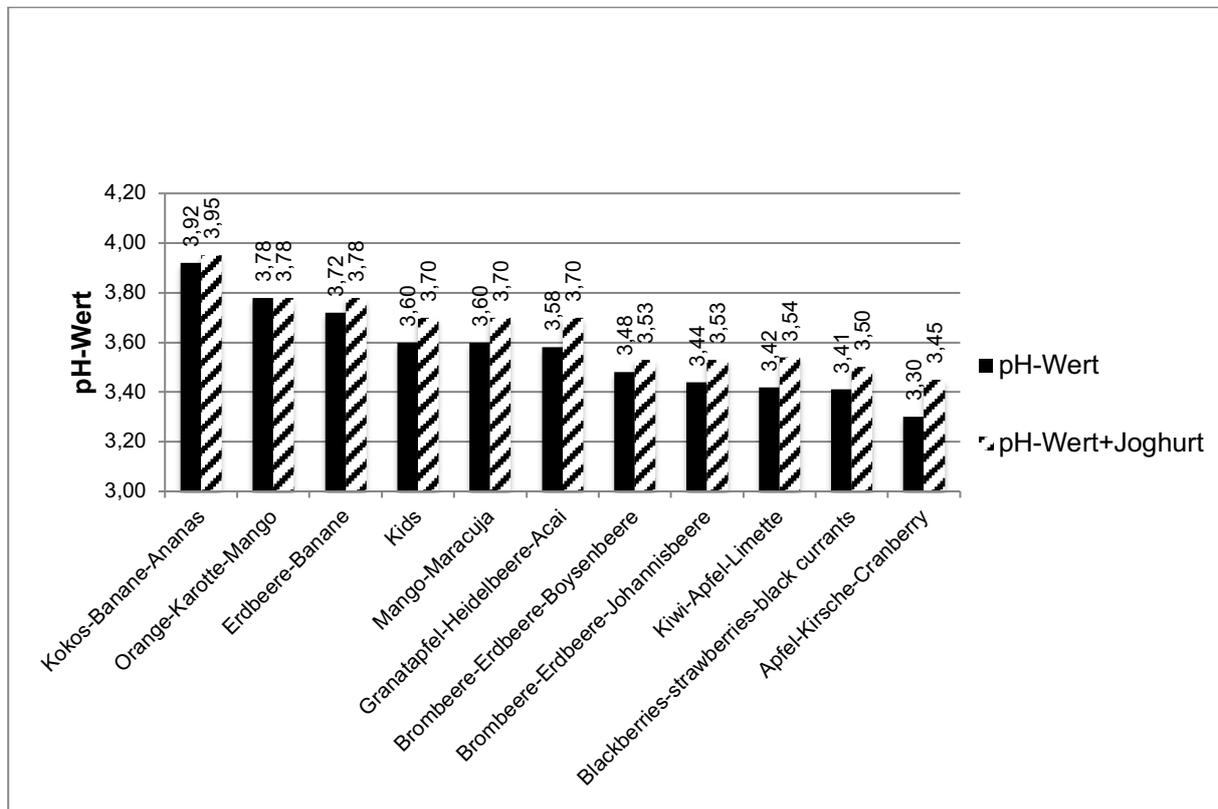


Abb. 4.5: pH-Werte der Smoothies der Firma Innocent und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Smoothies der Firma Kaufland wiesen einen pH-Wert von 3,57 bis 4,08 auf. Den niedrigsten pH-Wert hatte die Sorte Erdbeer-Banane mit 3,57. Der höchste pH-Wert mit 4,08 wurde bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos gemessen. Die Zugabe von 10 % Joghurt bewirkte bei Smoothies der Firma Kaufland eine Erniedrigung des pH-Werts um 0,01 bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos. Eine Erhöhung des pH-Werts erfolgte um minimal 0,07 bei der Sorte Mango-Maracuja und maximal um 0,1 bei der Sorte Erdbeer-Banane.

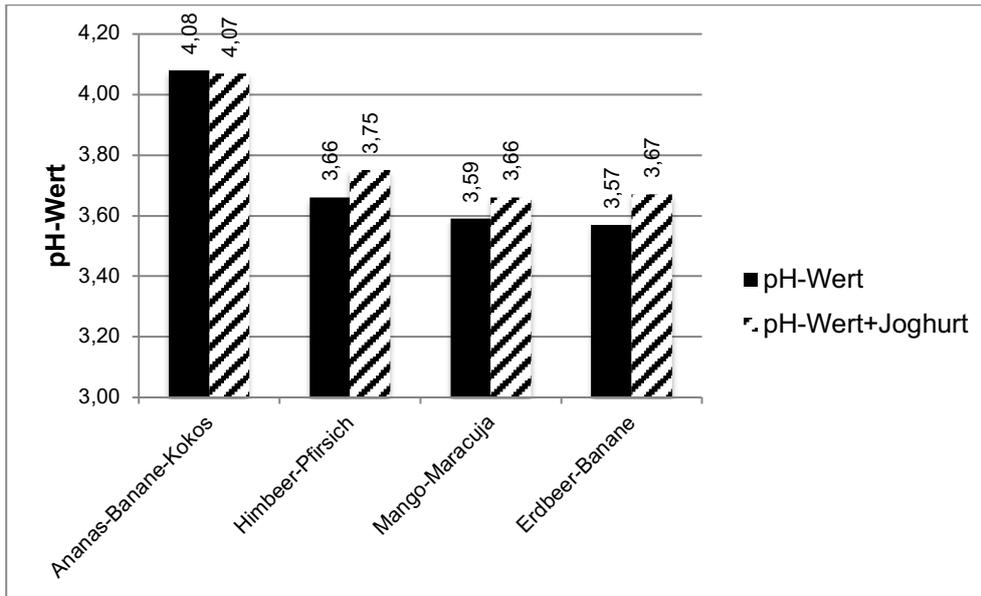


Abb. 4.6: pH-Werte der Smoothies der Firma Kaufland und nach Zugabe von 10% Joghurt (0,1 % Fett)

Bei den Smoothies der Firma true fruits konnten pH-Werte von 3,35 bis 3,70 gemessen werden. Der niedrigste pH-Wert konnte bei der Sorte „purple“ mit 3,35 gemessen werden. Den höchsten pH-Wert mit 3,70 wies die Sorte „white“ auf. Hier bewirkte die Zugabe von 10 % Joghurt eine Anhebung des pH-Wertes um minimal 0,05 bei den Sorten „white“ und maximal um 0,24 bei der Sorte „red“.

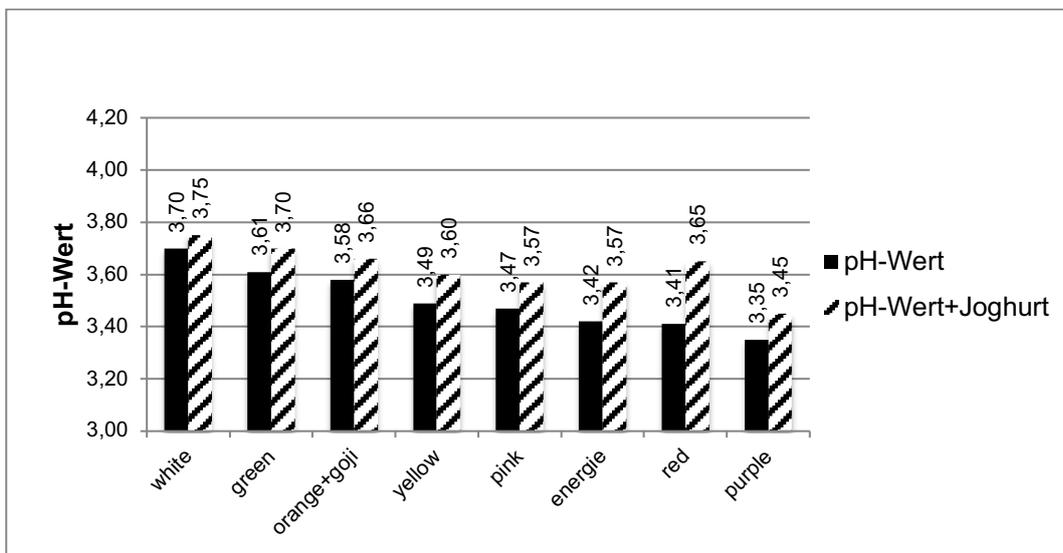


Abb. 4.7: pH-Werte der Smoothies der Firma true fruits und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Die Smoothies „rio d'oro“ der Firma Aldi wiesen pH-Werte von pH 3,58 bis 4,06 auf. Den niedrigsten pH-Wert mit 3,58 wurde bei der Sorte Apfel-Himbeere gemessen, den höchsten pH-Wert von 4,06 bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos. Eine 10 %ige Joghurtzugabe bewirkte eine Verminderung des pH-Werts um 0,04 bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos. Bei der Sorte Kirsch-Banane kam es zu keiner Änderung des pH-Werts. Bei den Sorten Mango-Orange kam es zu einer Erhöhung des pH-Werts um 0,03 und bei der Sorte Apfel-Himbeere bewirkte die Joghurtzugabe eine Erhöhung des pH-Werts um 0,07.

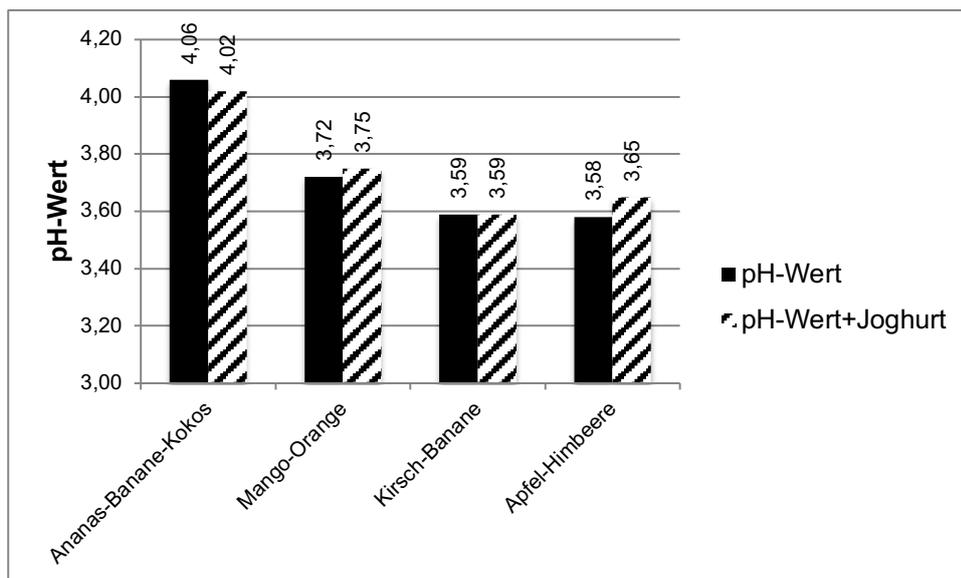


Abb. 4.8: pH-Werte der Smoothies der Firma rio d'oro (Aldi) und nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

Der mittlere pH-Wert aller untersuchten Smoothies lag bei $3,62 \pm 0,18$ (Abbildung 4.8). Nach der Zugabe von 10 % Joghurt stieg der pH-Wert geringfügig auf $3,69 \pm 0,15$. Bei den unterschiedlichen Sorten und Herstellern bestehen somit nur geringfügige Unterschiede zwischen den von uns bestimmten pH-Werten.

Bei der Betrachtung der gemessenen pH-Werte kann tendenziell festgestellt werden, dass Smoothies mit der Fruchtkombination Ananas-Banane-Kokos wie zum Beispiel von Innocent, Kaufland oder Rio d'Oro von Aldi gegenüber dem Mittelwert aller smoothies einen gering höheren pH-Wert von über 3,83 hatten.

Im Gegensatz hierzu konnte bei Fruchtzubereitungen, die vorwiegend rote Beerenfrüchte, wie Himbeere, Kirsche oder Johannisbeere enthielten, ein geringfügig niedriger pH-Wert gemessen werden. Die Werte lagen bei diesen Smoothies in einem Be-

reich von 3,30 bis 3,72. Hierbei zeigten den niedrigsten pH-Wert die Smoothies Apfel-Kirsche-Cranberry von Innocent (nicht mehr im Sortiment) und Traube-Himbeere von Alnatura.

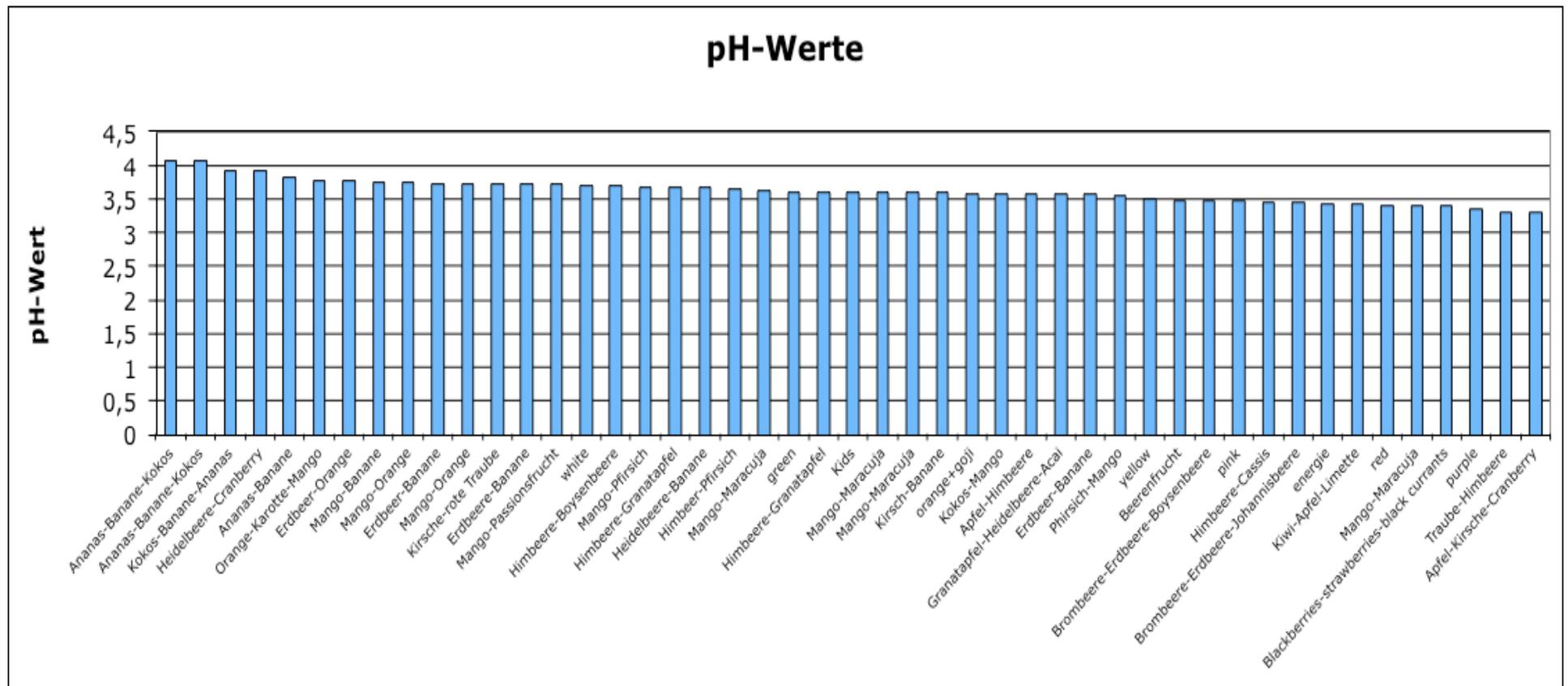


Abb. 4.9: pH-Werte aller Smoothies abnehmend sortiert. Im Durchschnitt lag der pH-Wert bei $3,62 \pm 0,18$. Zum Vergleich: Zimmer et al. (2015) fanden für Apfelsaft einen pH-Wert von 3,38, für Orangensaft 3,87, für Sprite 2,68 und für Cola 2,47.

4.2 Bestimmung der titrierbaren Säure

Bei den Smoothies der Firma Alnatura „Traube-Himbeere“ wurden 56,9 ml NaOH bis zum Erreichen des neutralen pH-Wertes benötigt. Bei „Beerenfrucht“ 51,6 ml, bei „Mango-Maracuja“ 50,2 ml, bei „Pfirsich- Mango“ 36,3 ml und bei „Mango- Banane“ waren 36,1 ml erforderlich, um einen neutralen pH-Wert zu erreichen (Abbildung 4.10).

Der Zusatz von 10 % Joghurt (0,1 % Fett) beeinflusste die benötigte Menge an NaOH zur Erreichung des neutralen pH-Wertes nur geringfügig. So war durch die Zugabe von Joghurt bei Traube Himbeere nur 1,9 ml weniger NaOH erforderlich. Dagegen blieb die Menge an Natronlauge bis zur Erreichen des neutralen pH-Wertes bei Beerenfrucht gleich hoch und bei den Sorten Mango-Maracuja und Pfirsich-Mango, Mango-Banane sowie Heidelbeere-Banane war sogar etwas mehr Natronlauge bis zum Erreichen des Neutralwertes erforderlich (Abbildung 4.10).

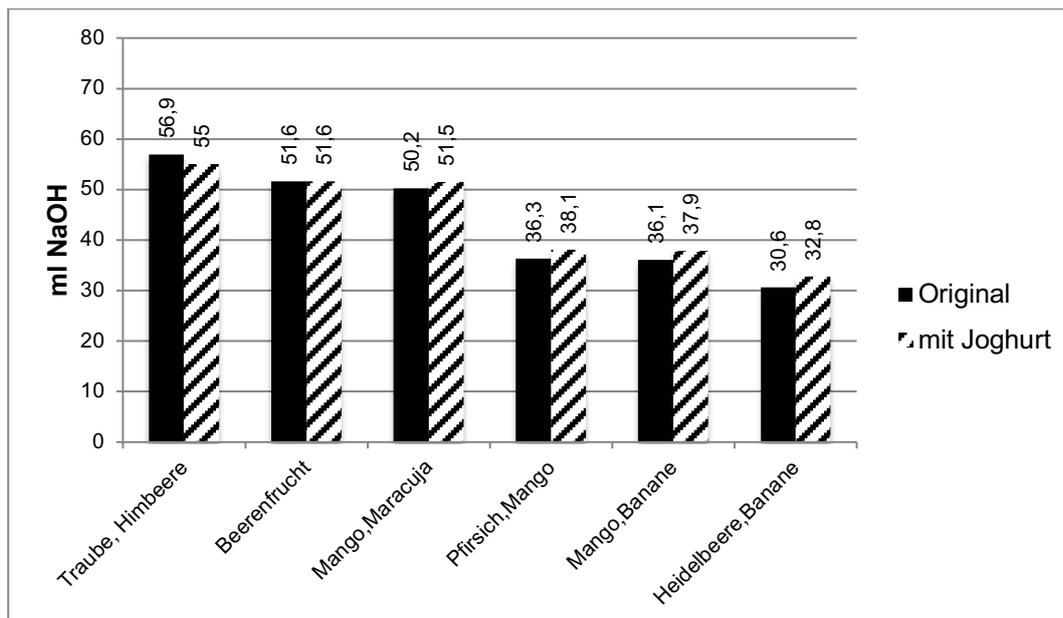


Abb. 4.10: Benötigte Menge NaOH (0,1M) zur Titration bis zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes (Alnatura)

Bei dem Smoothie „purple“ der Firma true fruits benötigte man 71,4 ml NaOH bis zum Erreichen eines pH-Wertes von sieben, der Smoothie „energy“ benötigte 46,6 ml NaOH, „orange+goji“ 50,45 ml NaOH, „green“ 47,9 ml NaOH, „pink“ 65,9 ml NaOH, „yellow“ 72,5 ml NaOH, „white“ 38 ml NaOH und die Sorte „red“ 45 ml NaOH. Auch bei dieser Firma waren durch die Zugabe von 10 % 0,1%igen Joghurt, die Mengen an notwendiger Natronlauge zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes nur geringfügig-

gig niedriger oder höher. So konnte man bei den Sorten „purple“, „orange+goji“, „pink“ und „yellow“ eine geringe Verminderung des zugegebenen NaOH-Volumens feststellen. Bei der Sorte „purple“ waren 69 ml NaOH, bei „orange+goji“ 50,1 ml NaOH, bei der Sorte „pink“ 64,3 ml NaOH und bei der Sorte „yellow“ 70,4 ml NaOH erforderlich. Bei den Sorten „energy“, „green“, „white“ und „red“ konnte wiederum eine leichte Erhöhung der notwendigen Menge an NaOH zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes festgestellt werden. Im Einzelnen wurde bei der Sorte „energy“ 47,2 ml NaOH, bei der Sorte „green“ 48,2 ml NaOH, bei der Sorte „white“ 39,3 ml NaOH und bei der Sorte „red“ 45,5 ml NaOH benötigt.

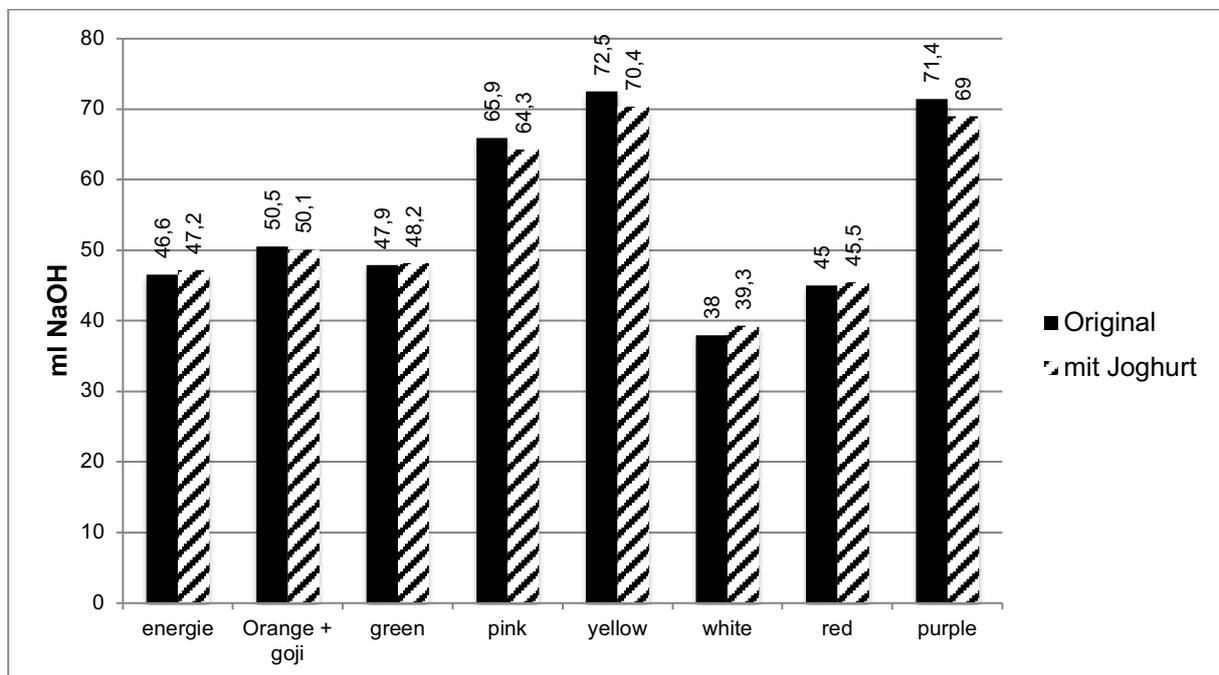


Abb. 4.11: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH=7 (true fruits)

Bei den Smoothies der Firma Chiquita wurde bei den Sorten Ananas-Banane 32,0 ml NaOH, der Sorte Heidelbeere-Cranberry 40,5 ml NaOH, bei Kokos-Mango 27,05 ml NaOH, der Sorte Mango-Passionsfrucht 34,4 ml NaOH, bei Erdbeere-Banane 32,4 ml NaOH und Himbeere-Granatapfel 36,5 ml Natronlauge zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes benötigt. Nach Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte sich bei der Sorte Ananas-Banane die Zugabe von NaOH um 1,2 ml, bei Heidelbeere-Cranberry um 0,65 ml NaOH, bei Kokos-Mango um 2,95 ml, bei Mango-Passionsfrucht um 1,2 ml NaOH bei Erdbeere-Banane um 1,1 ml NaOH und bei der Sorte Himbeere-Granatapfel um 1,4 ml NaOH (Abbildung 4.12).

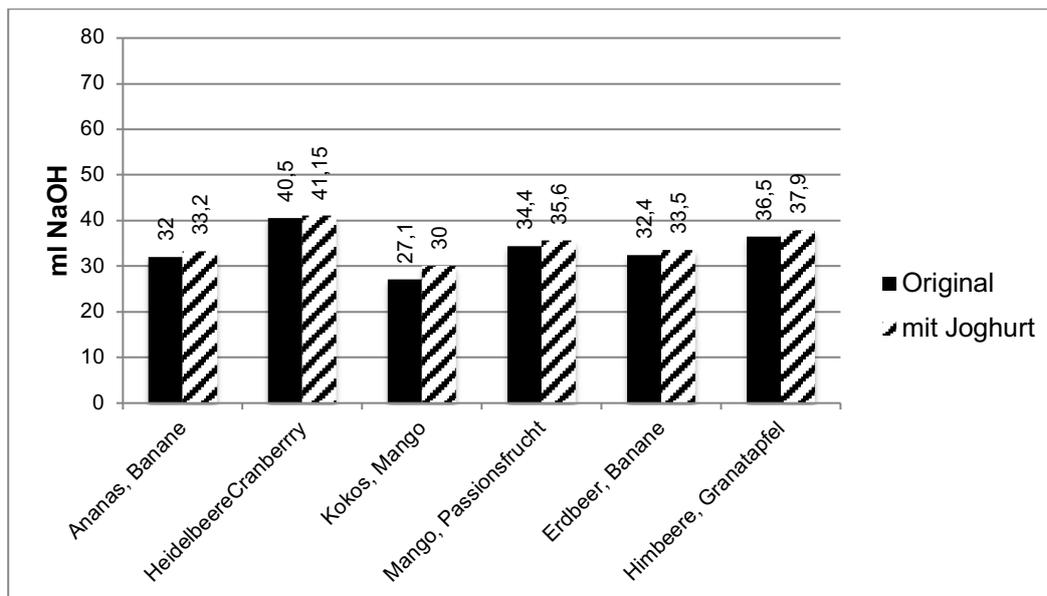


Abb. 4.12: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH = 7 (Chiquita)

Bei den Fruchtzubereitungen rio d'oro der Firma Aldi wurden zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos 31,2 ml NaOH, bei der Sorte Apfel-Himbeere 47,5 ml NaOH, bei der Sorte Kirsche-Banane 51,35 ml NaOH und bei der Sorte Mango-Orange 47,2 ml NaOH benötigt. Auch hier konnte nach der Zugabe von 10 % eine Erhöhung der notwendigen Mengen an Natronlauge festgestellt werden und zwar bei Ananas-Banane-Kokos auf 32,7 ml NaOH, bei Apfel-Himbeere auf 47,5 ml NaOH, bei Kirsche-Banane auf 52,0 ml NaOH und bei Mango-Orange auf 48,4 ml Natronlauge (Abbildung 4.13).

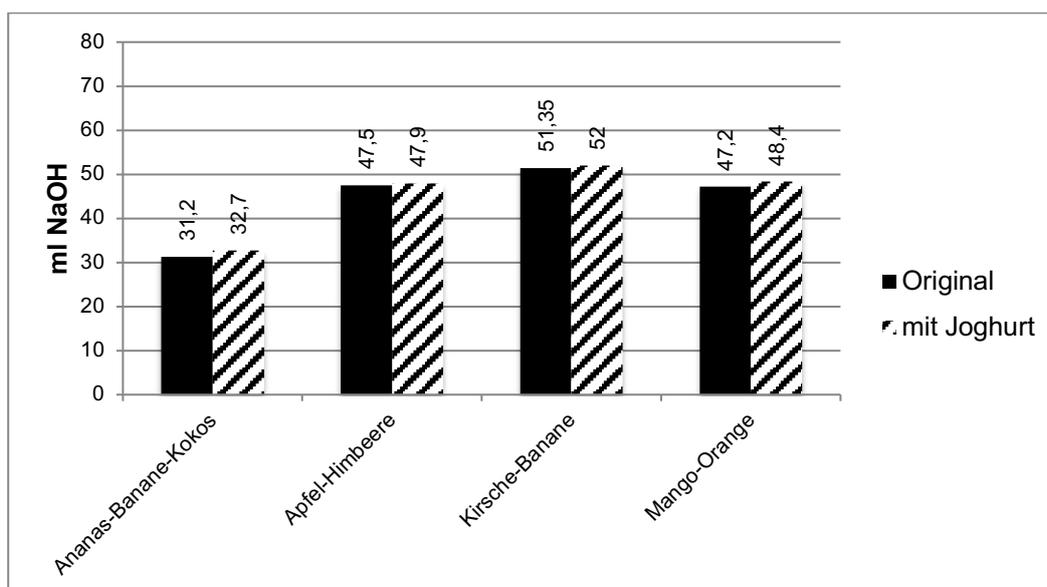


Abb. 4.13: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH = 7 (rio d'oro, Aldi)

Bei den Smoothies Fruit-2-day der Firma Schwartau wurde bei der Sorte Mango-Orange 38,55 ml NaOH, bei Himbeere-Boysenbeere 39,45 ml NaOH, bei Mango-Pfirsich 31,2 ml NaOH, bei der Sorte Kirsche-rote Traube 31,05 ml NaOH, bei der Sorte Erdbeere-Orange 35,9 ml NaOH und bei der Sorte Himbeere-Granatapfel 32,45 ml NaOH bis zum Erreichen des neutralen pH-Wertes benötigt. Da in den Smoothies Fruchtstücke vorhanden waren, wurden die Fruchtzubereitungen zusätzlich püriert. Nach Pürieren der Smoothies verringerte sich die benötigte Menge an Natronlauge bei der Sorte Mango-Orange auf 37,85 ml, bei der Sorte Himbeere Boysenbeere auf 39,2 ml NaOH. Bei den Sorten Mango-Pfirsich und Erdbeere-Orange blieb die titrierte Menge mit 31,2 ml bei Mango-Pfirsich und 35,9 ml bei Erdbeere-Orange gleich. Bei der Sorte Kirsche-Rote Traube erhöhte sich die Menge an benötigter NaOH auf 31,5 ml. Die Sorte Himbeere-Granatapfel konnte bei dieser Untersuchung nicht mehr getestet werden, da sie zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits nicht mehr im Handel war. Nach Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte sich die benötigte Menge an NaOH bei den Smoothies Mango-Orange auf 40,1 ml NaOH, bei Himbeere-Boysenbeere auf 41,4 ml NaOH, bei der Sorte Mango-Pfirsich auf 33,1 ml NaOH und bei der Sorte Kirsche-rote Traube auf 34,0 ml NaOH. Lediglich bei den Sorten Erdbeere-Orange und Himbeere-Granatapfel verringerte sich die benötigte Menge an NaOH auf 34,0 ml bei Erdbeere-Orange und auf 34,25 ml NaOH bei der Sorte Himbeere-Granatapfel. Die Werte zeigen, dass bei Zugabe von 10 % Joghurt und dem Pürieren der Fruchtstücke sich das Titrationsvolumen zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes nur minimal unterschied (Abbildung 4.14).

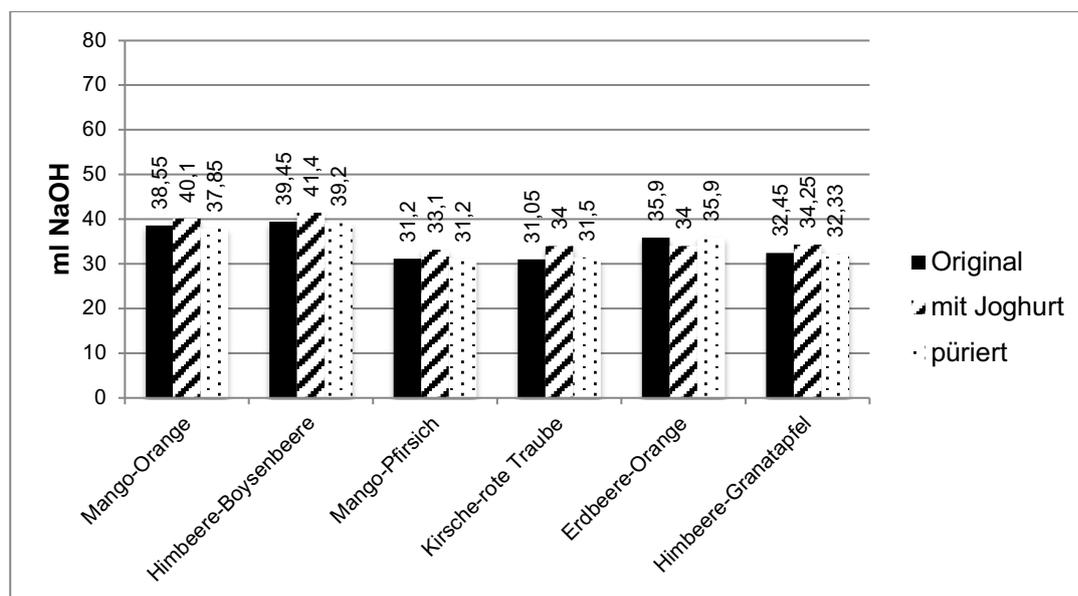


Abb. 4.14: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH = 7 (Fruit-2-day, Schwartau)

Bei den Smoothies der Firma Innocent wurden bei den Sorten Kids-Erdbeere-Brombeere-Himbeere 45,2 ml NaOH, bei Mango-Maracuja 52,2 ml NaOH und bei Apfel-Kirsche-Cranberry 46,5 ml NaOH benötigt. Bei der Sorte Kokos-Banane-Ananas waren 39,0 ml NaOH, bei Orange-Karotte-Mango 44,8 ml NaOH, bei Brombeere-Himbeere-Boysenbeere 54,2 ml NaOH, bei Apfel-Kiwi-Limette 44,1 ml NaOH, bei Granatapfel-Heidelbeere-Açai 43,3 ml NaOH, bei Brombeere-Erdbeere-Johannisbeere 54,7 ml NaOH, bei Erdbeere-Banane 44,3 ml NaOH und bei Blackberries-Strawberries-black Currants 57,2 ml NaOH bis zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes erforderlich.

Bei Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte sich die benötigte Menge bei den Sorten Kids-Erdbeere-Brombeere-Himbeere geringfügigst von 45,2 auf 45,8 ml NaOH, bei Apfel-Kirsche-Cranberry auf 46,7 ml NaOH bei Kokos-Banane-Ananas auf 39,8 ml NaOH, bei Orange-Karotte-Mango auf 45,3 ml NaOH, bei Apfel-Kiwi-Limette 44,4 ml NaOH, bei Granatapfel-Heidelbeere-Açai auf 43,9 ml NaOH, bei Erdbeer-Banane auf 44,85 ml NaOH und bei der Sorte Blackberries-Strawberries-black Currants auf 58,5 ml NaOH. Bei der Sorte Brombeere-Erdbeere-Johannisbeere blieb die benötigte Menge an NaOH bis zum Erreichen des neutralen pH-Wertes gleich. Eine geringere Menge Natronlauge zum Erreichen des pH-Wertes 7, wurde bei den Sorten Mango-Maracuja mit 51,7 ml NaOH und bei der Sorte Himbeere-Erdbeere-Boysenbeere mit 53,1 ml NaOH benötigt (Abbildung 4.15)

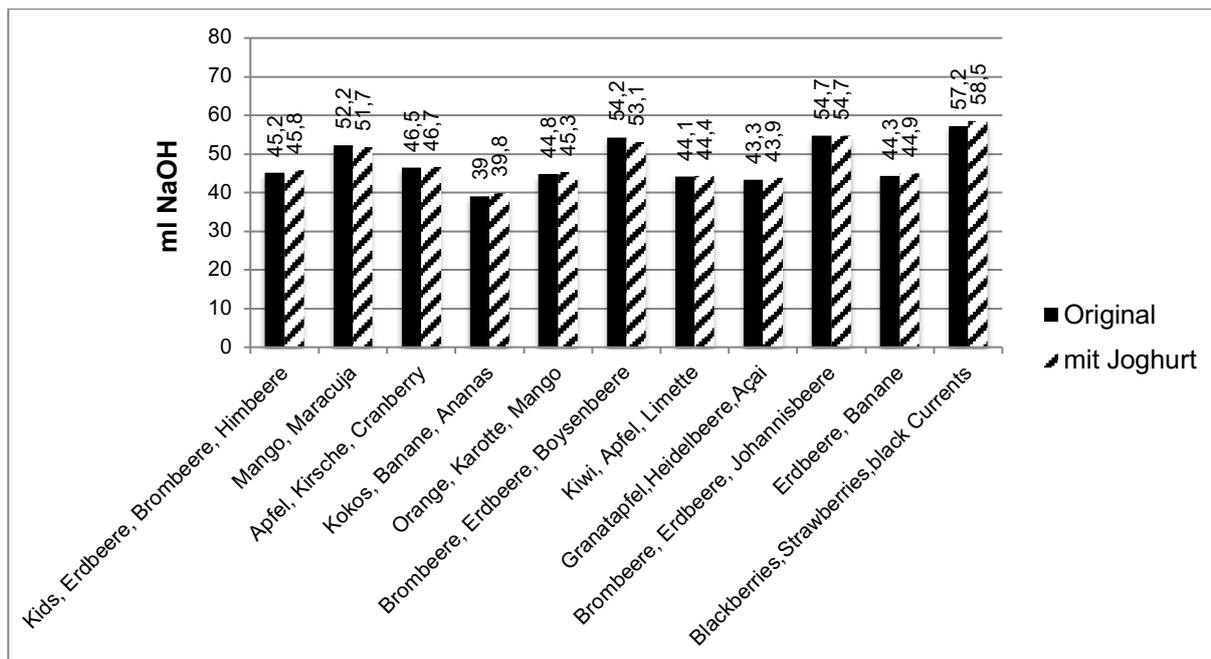


Abb. 4.15: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH = 7 (Innocent)

Bei den Smoothies der Firma Kaufland wurde zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes bei der Sorte Mango-Maracuja 57,5 ml NaOH benötigt, bei der Sorte Erdbeer-Banane 54,7 ml NaOH, beim Smoothie Ananas-Banane-Kokos 34,1 ml NaOH und bei Himbeer-Pfirsich 44,2 ml NaOH.

Nach Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte sich die Zugabe von NaOH bei Mango-Maracuja auf 65,5 ml NaOH, bei Ananas-Banane-Kokos auf 36,1 ml NaOH und bei Himbeer-Pfirsich auf 44,8 ml NaOH. Lediglich bei der Sorte Erdbeer-Banane verringerte sich die benötigte Menge an Natronlauge geringfügig auf 54,6 ml NaOH (Abbildung 4.16).

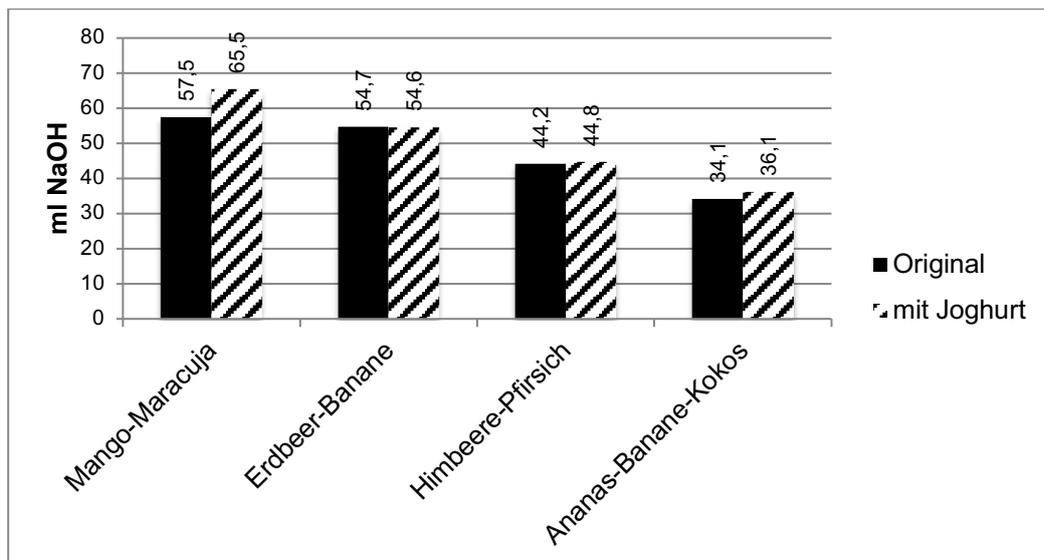


Abb. 4.16: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH=7 (Kaufland)

Bei den Smoothies der Sorte pur-pur von Schwartzau wurde bei der Sorte Himbeere-Cassis 52,3 ml NaOH und bei der Sorte Mango-Maracuja 51,8 ml NaOH benötigt. Nach Zugabe von 10 % Joghurt verringerte sich bei dieser Marke der Verbrauch an NaOH bei der Sorte Himbeere-Cassis auf 53,1 ml NaOH und bei der Sorte Mango-Maracuja auf 52,75 ml NaOH.

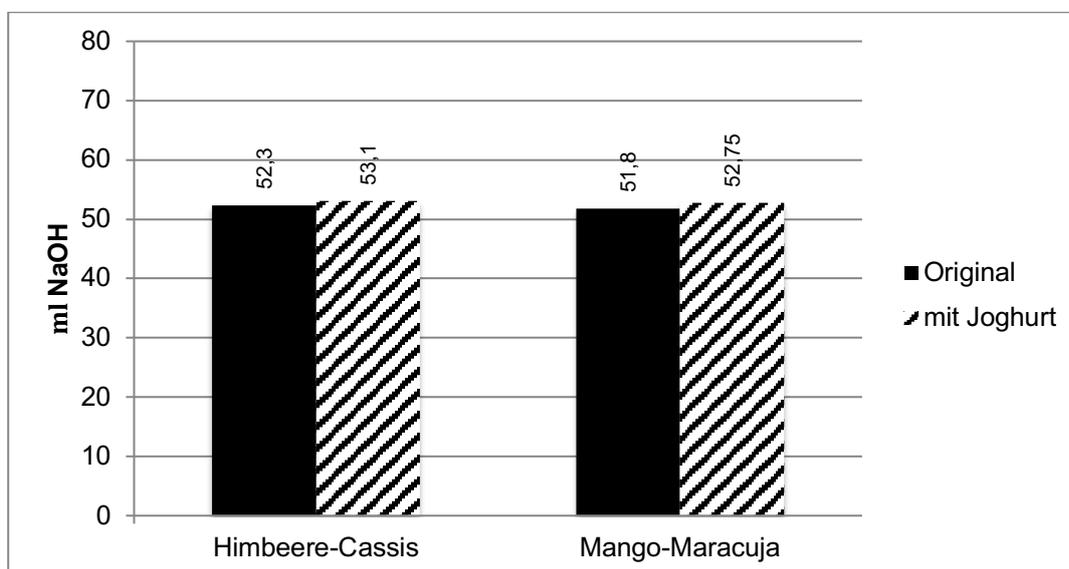


Abb. 4.17: Benötigte Menge NaOH (0,1 M) zur Titration bis pH = 7 (pur-pur, Schwartzau)

Die Sortierung nach der benötigten Menge NaOH ergab, dass Smoothies der Sorte Ananas-Banane-Kokos durchschnittlich eine geringere Menge an titrierbarer Säure besitzen, als andere Smoothies und einen geringeren Anteil an titrierbarer Säure hat-

ten. Der Smoothie mit dem geringsten Anteil an titrierbarer Säure war der Smoothie der Firma Chiquita Mango Kokos mit 27,05 ml NaOH.

Smoothies mit einem hohen Anteil an Beerenfrüchten, haben im Durchschnitt einen niedrigeren pH-Wert aber einen höheren Anteil an titrierbarer Säure. Der Smoothie Yellow von True Fruits hatte den höchsten Anteil an titrierbarer Säure mit 72,5 ml NaOH.

Die nachfolgende Tabelle 4.1, sortiert nach aufsteigenden Titrationsvolumen, zeigt eine Übersicht der Ergebnisse bei der Titration. Hierbei sind pro Messung der pH-Wert, die Temperatur während des Messvorgangs und das Titrationsvolumen mit 0,1 molarer Natronlauge angegeben.

Smoothie (Hersteller)	Titration auf pH (Temp °C); Volumen NaOH (V)	Titration auf pH + 10 % Joghurt (Temp °C); Volumen NaOH (V)
Kokos-Mango (Chiquita)	7,02 (23,7); V=27,05 ml	7,26 (24,1); V=30,00 ml
Heidelbeere-Banane (Alnatura)	7,01 (21,3); V=30,60 ml	7,01 (22,5); V=32,80 ml
Kirsche-rote Traube (Fruit-2-day)	7,01 (23,6); V=31,05 ml	7,04 (24,7); V=34,00 ml
Mango-Pfirsich (Fruit-2-day)	7,03 (24,7); V=31,20 ml	7,02 (25,6); V=33,10 ml
Ananas-Banane-Kokos (rio d'oro)	7,01 (22,9); V=31,20 ml	7,01 (23,9); V=32,70 ml
Ananas-Banane (Chiquita)	7,00 (23,8); V=32,00 ml	7,01 (23,4); V=33,20 ml
Erdbeer-Banane (Chiquita)	7,06 (24,2); V=32,40 ml	7,00 (25,9); V=33,50 ml
Himbeere-Granatapfel (Fruit-2-day)	7,00 (22,2); V=32,45 ml	6,98 (20,5); V=34,25 ml
Ananas-Banane-Kokos (Kaufland)	7,00 (19,0); V=34,10ml	7,00 (21,8); V=36,05 ml
Mango-Passionsfrucht (Chiquita)	7,00 (23,8); V=34,40 ml	7,01 (26,3); V=35,60 ml
Erdbeere-Orange (Fruit-2-day)	7,00 (23,5); V=35,90 ml	7,02 (24,7); V=34,00 ml
Mango-Banane (Alnatura)	7,01 (21,4); V=36,10 ml	7,02 (23,7); V=37,90 ml
Pfirsich-Mango (Alnatura)	6,99 (21,4); V=36,30 ml	7,00 (23,3); V=38,10 ml
Himbeere-Granatapfel (Chiquita)	7,00 (21,9); V=36,50 ml	6,98 (22,0); V=37,90 ml
White (Innocent)	7,03 (20,0); V=38,00 ml	7,00 (18,7); V=39,30 ml
Mango-Orange (Fruit-2-day)	7,01 (21,2); V=38,55 ml	7,00 (26,0); V=40,10 ml
Kokos-Banane-Ananas (Innocent)	7,00 (23,0); V=39,00 ml	6,99 (25,7); V=39,80 ml
Himbeere-Boysenbeere (Fruit-2-day)	7,00 (21,7); V=39,45 ml	6,99 (25,4); V=41,40 ml
Heidelbeere-Cranberry (Chiquita)	7,01 (24,0); V=40,50 ml	7,06 (23,4); V=41,15 ml
Granatapfel-Heidelbeere-Açai (Innocent)	6,99 (19,6); V=43,30 ml	6,99 (18,6); V=43,90 ml
Kiwi-Apfel-Limette (Innocent)	7,01 (25,1); V=44,10 ml	7,00 (26,3); V=44,40 ml
Himbeer-Pfirsich (Kaufland)	6,99 (19,2); V=44,20 ml	6,99 (21,0); V=44,80 ml
Erdbeere-Banane (Innocent)	7,02 (22,3); V=44,30 ml	7,04 (21,3); V=44,85 ml
Orange-Karotte-Mango (Innocent)	7,03 (24,5); V=44,80 ml	7,36 (25,5); V=45,30 ml
Red (Innocent)	7,00 (17,4); V=45,00 ml	6,99 (17,6); V=45,50 ml
Kids, Erdbeere-Brombeere-Himbeere (Innocent)	7,03 (24,1); V=45,20ml	7,00 (25,5); V=45,80 ml
Apfel-Kirsche-Cranberry (Innocent)	7,01 (23,3); V=46,50 ml	7,00 (25,9); V=46,70 ml
Energie (Innocent)	7,01 (17,2); V=46,60 ml	7,02 (19,1); V=47,20 ml
Mango-Orange (rio d'oro)	7,00 (23,3); V=47,20 ml	6,99 (25,9); V=48,40 ml
Apfel-Himbeere (rio d'oro)	7,00 (22,7); V=47,50 ml	7,00 (24,5); V=47,90 ml
Green (Innocent)	6,99 (21,8); V=47,90 ml	7,01 (19,7); V=48,20 ml
Mango-Maracuja (Alnatura)	6,99 (20,1); V=50,20 ml	7,04 (23,2); V=51,50 ml
Orange+goji (Innocent)	7,00 (20,2); V=50,45 ml	7,01 (19,4); V=50,10 ml

Kirsche-Banane (rio d`oro)	7,03 (23,2); V=51,35 ml	6,99 (26,1); V=52,00 ml
Beerenfrucht (Alnatura)	7,01 (19,4); V=51,60 ml	7,03 (22,9); V=51,60 ml
Mango-Maracuja (Innocent)	7,01 (23,0); V=52,20 ml	7,00 (25,8); V=51,70 ml
Himbeere-Cassis (pur-pur)	6,99 (19,7); V=52,30 ml	6,99 (19,7); V=51,85 ml
Mango-Maracuja (pur-pur)	6,99 (22,8); V=53,10 ml	6,99 (21,2); V=52,75 ml
Brombeere-Erdbeere-Boysenbeere (Innocent)	7,07 (25,3); V=54,20 ml	7,00 (26,1); V=53,10 ml
Brombeere-Erdbeere-Johannisbeere (Innocent)	6,99 (20,7); V=54,70 ml	6,99 (22,4); V=54,70 ml
Erdbeer-Banane (Kaufland)	7,03 (18,0); V=54,70ml	7,00 (20,4); V=54,55 ml
Traube-Himbeere (Alnatura)	6,99 (19,0); V=56,90 ml	6,99 (22,8); V=55,00 ml
Blackberries-Strawberries-black Currants (Innocent)	7,01 (17,2); V=57,20 ml	7,01 (22,6); V=58,50 ml
Mango-Maracuja (Kaufland)	6,98 (17,6); V=57,50ml	6,99 (19,9); V=65,50ml
Pink (Innocent)	7,01 (20,1); V=65,90 ml	7,05 (19,6); V=64,30 ml
Purple (Innocent)	7,01 (19,8); V=71,40 ml	6,99 (17,2); V=69,00 ml
Yellow (Innocent)	6,99 (18,6); V=72,50 ml	6,99 (19,2); V=70,40 ml

Tab. 4.1: Aufsteigende Sortierung von Smoothies nach ihrem Titrationsvolumen bis zum Erreichen des neutralen pH-Wertes.

Im Durchschnitt wurden 44,31 ml NaOH bis zum Erreichen des neutralen pH-Wertes benötigt. Nach Zugabe von 10 % Joghurt wurden durchschnittlich 45,12 ml NaOH benötigt.

4.3 Substanzverlustmessung mit dem Profilometer

Die Ausdrücke des Substanzverlustes durch Smoothies auf Molaren und Prämolaren sind im Anhang 7.2 abgebildet. Als Vergleichsprobe diente 1%ige Zitronensäure, die statt 60 Minuten wie bei den Smoothies, nur 30 Minuten auf die Oberfläche einwirkte und einen deutlichen Substanzverlust von R_{\max} 27,71 μm bewirkte. Die Profilometrie ergab bei den Smoothies der Marke rio d`oro von Aldi keine gravierenden Unterschiede hinsichtlich des erosiv bedingten Substanzverlustes. Die Werte betragen bei den Sorten Mango-Orange (Mittelwert R_{\max} 2,33, R_z 1,54, R_a 0,16), Apfel-Himbeere (Mittelwert R_{\max} 2,33, R_z 1,81 und R_a 0,22) und Kirsch-Banane (Mittelwert R_{\max} 2,50, R_z 1,66, R_a 0,21). Lediglich der Smoothie Ananas-Banane-Kokos wies mit einem Mittelwert von R_{\max} mit 1,65, R_z mit 1,25 und R_a mit 0,15 etwas geringere Substanzverlustwerte auf, als sie bei den anderen Sorten gemessen werden konnten. Auch bei den Smoothies „pur-pur“ der Firma Schwartau konnte zwischen den beiden Sorten Himbeere-Cassis und Mango-Maracuja nur ein geringer Unterschied festgestellt werden. Bei der Sorte Himbeere-Cassis betragen der Mittelwert für R_{\max} 2,04, R_z 1,71 und der R_a -Wert 0,16. Bei der Sorte Mango-Maracuja betrug der Mittelwert für R_{\max} 1,80, R_z 1,28 und R_a 0,11. Bei einer weiteren Smoothiesorte des Herstellers

Schwartau, den Sorten der Reihe Fruit-2-day konnte zwischen der Sorte Erdbeer-Orange mit Mittelwerten für R_{\max} mit 1,83, R_z mit 1,19 und R_a mit 0,09 und der Sorte Himbeere-Boysenbeere mit Mittelwerten für R_{\max} mit 1,76, für R_z mit 1,36 und für R_a mit 0,11 nur ein sehr geringer Unterschied bei den Substanzverlustwerten festgestellt werden. Die Sorten Himbeere-Granatapfel, Kirsche-rote Traube und Mango-Pfirsich wiesen jedoch mit Mittelwerten bei Mango-Pfirsich mit R_{\max} 2,52, R_z 1,75 und R_a 0,20, Kirsche-rote Traube mit R_{\max} 2,38, R_z 1,84 und R_a 0,17 und bei Himbeere-Granatapfel mit R_{\max} 2,11, R_z 1,62 und R_a 0,16 höhere Werte auf, als die beiden anderen Sorten. Die Sorte Mango-Orange war zu dem Zeitpunkt der Bestimmung des Substanzverlustes bereits nicht mehr im Handel erhältlich. Etwas heterogener stellten sich die Werte bei den Smoothies der Firma Innocent dar. Bei der Sorte Granatapfel-Heidelbeere-Açai konnte der geringste, erosiv bedingte Hartschmelzsubstanzenverlust (für R_{\max} mit 1,67, R_z mit 1,21 und R_a mit 0,11) gemessen werden. Danach folgte die Sorte Brombeere-Erdbeere-Johannisbeere mit Mittelwerten für R_{\max} 1,91, für R_z 1,45 und für R_a mit 0,14. Bei den Smoothies Ananas-Banane-Kokos, Orange-Karotte-Mango und Erdbeer-Banane befanden sich die gemessenen Werte (Mittelwerte) im Mittelfeld. Bei der Sorte Ananas Banane-Kokos war R_{\max} bei 2,09, R_z bei 1,37 und R_a bei 0,12, bei Orange-Karotte-Mango bei R_{\max} bei 2,03, R_z bei 1,11 und R_a 0,15 und bei der Sorte Erdbeere-Banane konnte ein R_{\max} -Wert von 2,08, R_z -Wert von 1,42 und R_a -Wert von 0,10 festgestellt werden. Die Smoothies, die den stärksten Substanzverlust bewirkten, waren bei der Marke Innocent die Sorten Strawberry-Blackberry-Raspberry mit R_{\max} bei 2,58, R_z bei 1,76 und R_a bei 0,19, die Sorte Blackberries-Strawberries-black Currants mit R_{\max} bei 3,17, R_z bei 2,12 und R_a bei 0,22 und Kiwi-Apfel-Limette mit R_{\max} bei 3,38, R_z bei 2,07 und R_a bei 0,15. Die Sorten Himbeere-Erdbeere-Boysenbeere und Apfel-Kirsche-Cranberry waren ebenfalls zum Zeitpunkt der Messungen nicht mehr im Handel erhältlich. Bei den Smoothies der Firma true fruits bewirkten die Sorten „yellow“ mit Werten für R_{\max} 1,76, für R_z mit 1,27 und für R_a mit 0,14 und die Sorte „pink“ mit R_{\max} bei 1,92, R_z mit 1,49 und R_a mit 0,14 den geringsten Substanzverlust. Die Sorten „orange+goji“, „white“, „purple“ und „red“ lagen mit den Werten im Mittelfeld: für „red“ konnte ein R_{\max} -Wert von 2,17, für R_z 1,43 und für R_a ein Wert von 0,11 gemessen werden. Für die Sorte „purple“ R_{\max} 2,30, R_z 1,47 und R_a 0,15, bei der Sorte „orange+goji“ R_{\max} mit 2,44, für R_z 1,66 und für R_a 0,14 und für „white“ R_{\max} von 2,52, R_z von 1,57 und R_a von 0,18. Am stärksten erosiv zeigte sich die Sorte „green+caju“ bei einem R_{\max} -Wert von 3,26, R_z von 2,16 und R_a

von 0,24. Bei den Smoothies der Firma true fruits war zum Zeitpunkt dieser Messung der Smoothie „energy“ nicht mehr erhältlich. Bei den Smoothies der Firma Alnatura konnten Smoothies mit einem mäßigen erosiven Substanzverlust und einem höheren erosiven Potenzial gefunden werden. Zu den Smoothies mit den geringeren Rauigkeitswerten gehören die Sorten Mango-Banane mit R_{\max} bei 2,08, R_z bei 1,42 und R_a bei 0,18, die Sorte Pfirsich-Mango mit R_{\max} bei 2,14, R_z bei 1,30 und R_a bei 0,16 und die Sorte Beerenfrucht mit einem R_{\max} -Wert von 2,14, R_z bei 1,28 und R_a bei 0,17. Zu den Sorten mit einem im Vergleich höheren erosiven Potenzial zählen die Sorten Traube-Himbeere und Mango-Maracuja. Traube-Himbeere wies einen R_{\max} -Wert von 5,21, R_z von 2,22 und R_a von 0,28 auf. Bei der Sorte Mango-Maracuja konnte ein R_{\max} -Wert von 4,15, R_z von 2,27 und R_a von 0,32 gemessen werden. Die Sorte Heidelbeere-Banane zeigte ebenfalls relativ hohe Oberflächenveränderung von R_{\max} 4,60, R_z 2,40 und R_a 0,31. Bei den Smoothies der Firma Chiquita zeigten die Sorten Erdbeer-Banane mit R_{\max} 1,97, R_z 1,41 und R_a mit 0,15 und Himbeere-Granatapfel mit R_{\max} bei 2,01, R_z mit 1,58 und R_a mit 0,16 die geringste Oberflächenveränderung. Die Sorten Ananas-Banane mit R_{\max} bei 2,23, R_z bei 1,50 und R_a bei 0,13, Mango-Passionsfrucht mit R_{\max} bei 2,27, R_z bei 1,57 und R_a bei 0,16 und Kokos-Mango mit R_{\max} bei 2,34, R_z bei 1,74 und R_a bei 0,20 führen zu einem mittelmäßigen Oberflächenverlust. Der Smoothie Heidelbeere-Cranberry verursacht unter den Smoothies der Firma Chiquita mit R_{\max} 3,22, R_z 2,15 und R_a 0,25 den größten Oberflächenverlust.

Zusätzlich wurde mit Hilfe der Oberflächenprofilometrie noch der erosive Substanzverlust von Smoothies, die mit 10 % fettarmen Joghurt versetzt wurden, gemessen. Dies wurde beispielhaft an den Smoothies der Firma Chiquita und der Marke rio d'oro von Aldi getestet. Bei den Sorten Heidelbeere-Cranberry, Erdbeer-Banane, Ananas-Banane, Mango-Passionsfrucht und Kokos-Mango konnte hierbei eine geringerer Oberflächenabtrag festgestellt werden, im Vergleich zum Smoothie ohne Joghurt. Bei der Sorte Himbeere-Granatapfel kam es jedoch zu einer verstärkten Oberflächenveränderung durch die Zugabe von Joghurt. Die Sorte Erdbeer-Banane wies hierbei einen R_{\max} -Wert von 1,87, R_z von 1,37 und R_a -Wert von 0,13 auf. Dies bewirkt eine Verringerung des R_{\max} -Wertes um 0,10, des R_z -Wertes von 0,04 und des R_a -Wertes von 0,02. Bei der Sorte Kokos-Mango konnte ein R_{\max} -Wert von 1,92, ein R_z -Wert von 1,43 und ein R_a -Wert von 0,11 gemessen werden. Die Differenz betrug bei dieser Sorte bei R_{\max} 0,42, bei R_z 0,31 und bei R_a 0,09. Bei der Sorte Hei-

delbeere-Cranberry konnte durch den Zusatz von Joghurt ein R_{\max} -Wert von 2,40, R_z von 1,95 und R_a -Wert von 0,21 gemessen werden. Dies bewirkte eine Verringerung des R_{\max} -Wertes um 0,82, des R_z -Wertes um 0,20 und des R_a -Wertes um 0,04. Bei der Sorte Mango-Passionsfrucht konnte bei einem R_{\max} -Wert von 1,96, ein R_z -Wert von 1,60 und ein R_a -Wert von 0,15 gemessen werden. Auch hier kam es zu einer Verringerung des erosiven Substanzverlustes. Die Differenz der Werte betrug hierbei bei R_{\max} 0,31. Bei der gemittelten Rautiefe R_z kam es zu einer Zunahme um 0,03 und bei R_a zu einer Abnahme des Messwertes um 0,01. Bei der Sorte Ananas-Banane kam es nach Joghurtzugabe zu einer gesamten Abnahme der Werte. R_{\max} betrug 2,17, R_z 1,58 und R_a 0,13. Dies bedeutet eine Verringerung des Wertes bei R_{\max} um 0,06, bei R_z kam es zu einer geringfügigen Zunahme des Wertes um 0,08 und beim Wert R_a kam es zu keiner Veränderung. Bei der Sorte Himbeere-Cranberry betragen der R_{\max} -Wert 2,17, der R_z -Wert 1,77 und der R_a -Wert 0,15. Dies bedeutet eine Zunahme der Werte bei R_{\max} um 0,16, bei R_z um 0,19 und bei R_a eine Abnahme um 0,01.

Bei den Smoothies rio d'oro von Aldi konnte, nach der Zugabe von 10 % Joghurt, bei den Sorten Apfel-Himbeere, Kirsch-Banane und Mango-Orange ebenfalls eine Abnahme des erosiven Substanzverlustes beobachtet werden, lediglich beim Smoothie Ananas-Banane-Kokos kam es zu einer leichten Zunahme der gemessenen Werte. Beim Smoothie Apfel-Himbeere bewirkte die Zugabe von 10 % Joghurt eine Abnahme des Substanzverlustes auf R_{\max} auf 1,58, R_z 1,25 und R_a 0,11. Die Differenz betrug im Vergleich bei R_{\max} 0,75, bei R_z 0,29 und bei R_a 0,05. Bei der Sorte Kirsch-Banane konnte ein R_{\max} -Wert von 1,74, ein R_z -Wert von 1,30 und ein R_a -Wert von 0,12 gemessen werden. Dies bedeutet eine Verringerung des R_{\max} -Wertes um 0,76, des R_z -Wertes um 0,41 und des R_a -Wertes um 0,09. Beim Smoothie Mango-Orange ergab die Messung einen R_{\max} -Wert von 1,75, einen R_z -Wert von 1,36 und einen R_a -Wert von 0,11. Dies bedeutet ebenfalls eine Verringerung der Werte von R_{\max} um 0,58, des R_z -Wertes um 0,18 und des R_a -Wertes um 0,05. Bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos kam es durch die Zugabe des fettarmen Joghurts zu einer Zunahme der Messwerte. Beim Wert R_{\max} konnte 1,69, R_z 1,30 und R_a 0,09 gemessen werden. Hierbei kam es zu einer Zunahme des Wertes R_{\max} um 0,04, beim Wert R_z kam es zu einer Verringerung um 0,05 und bei R_a zu einer Verringerung um 0,06.

Zusammenfassend kann beobachtet werden, dass durch die Zugabe von 10 % eines fettarmen Joghurts der erosive Substanzverlust eines Smoothies nur sehr leicht ge-

senkt werden kann. Die nachfolgenden Diagramme (Abbildung 4.18, Abbildung 4.19, Abbildung 4.20, Abbildung 4.21) geben eine Übersicht über die von uns erhobenen R-Werte, R_{max} , R_z und R_a .

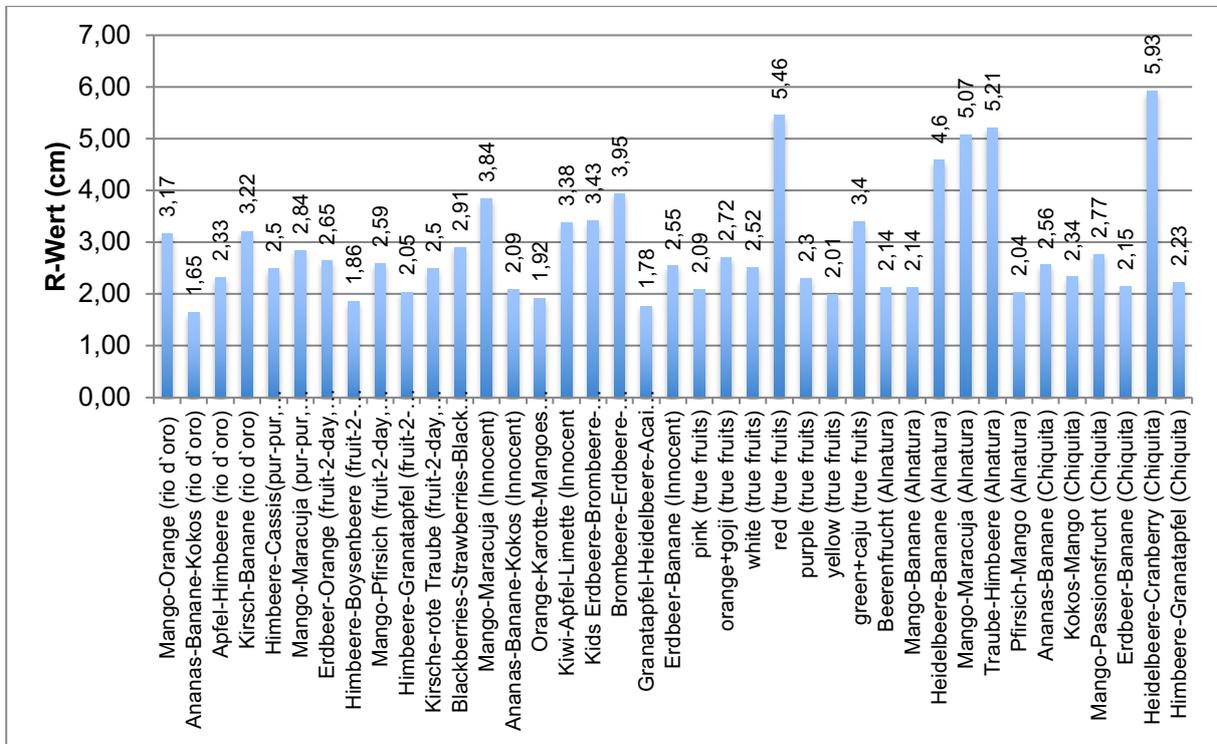


Abb. 4.18: maximale Rautiefe (R_{max}) aller Smoothies in μm . Zum Vergleich: die 30 minütige Inkubation von 1 % Zitronensäure bewirkt einen Wert von R_{max} 27,71 μm

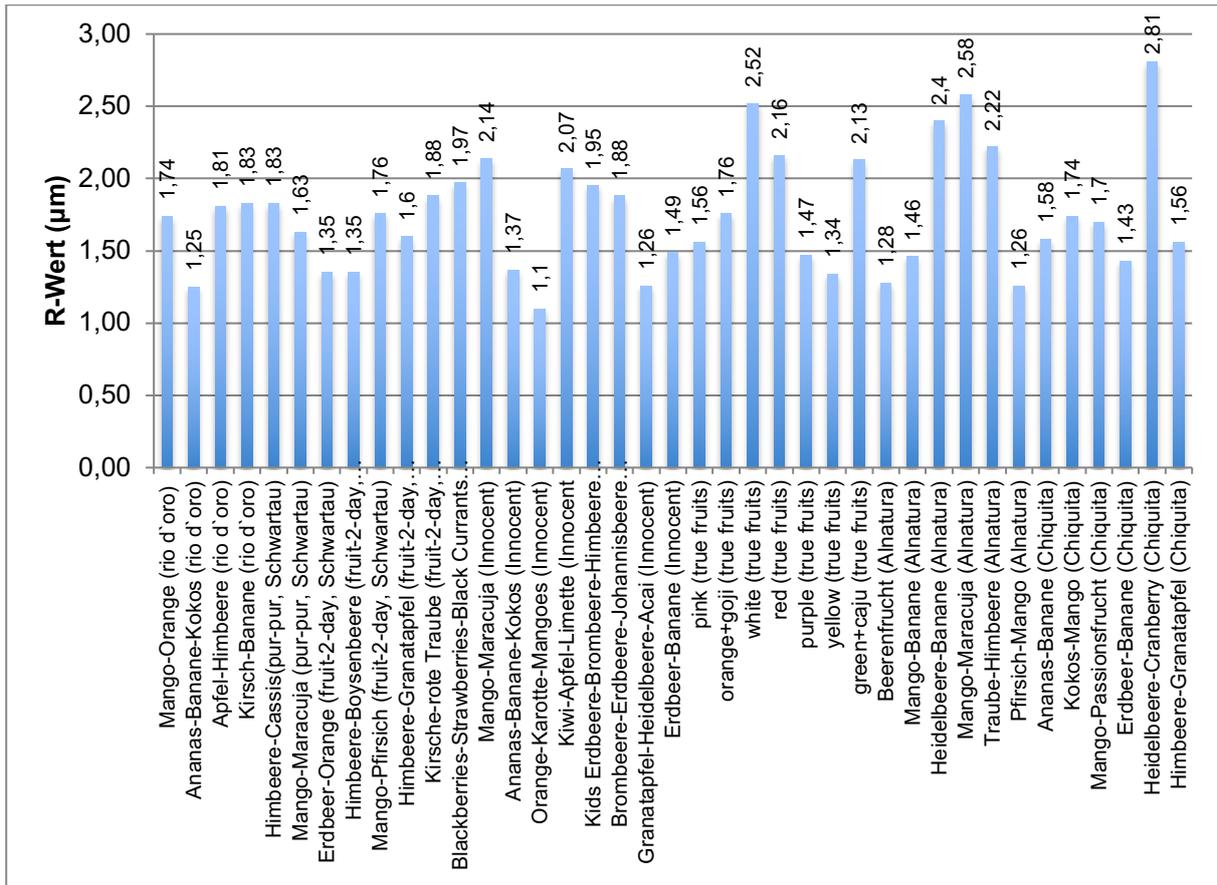


Abb. 4.19 gemittelter Rauwert (R_z) aller Smoothies. Zum Vergleich: die 30 minütige Inkubation von 1 % Zitronensäure bewirkt einen Wert von R_z 13,14 µm

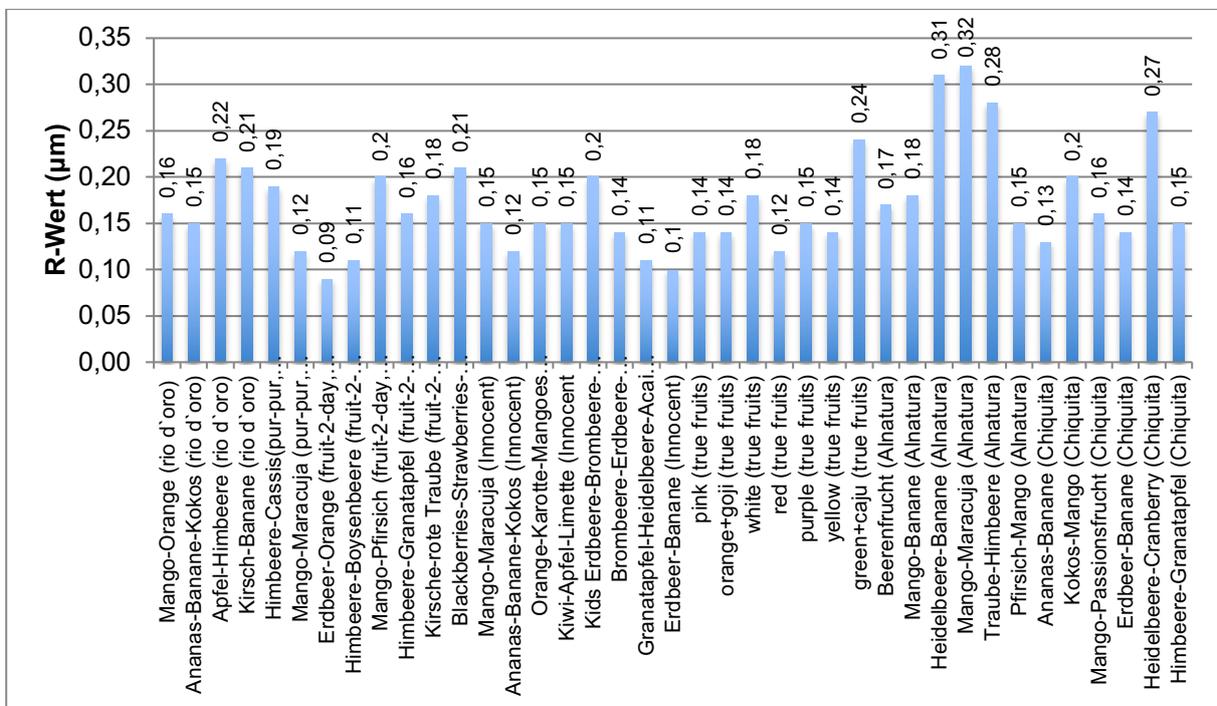


Abb. 4.20: arithmetischer Mittenrauwert (R_a) aller Smoothies. Zum Vergleich: die 30 minütige Inkubation von 1 % Zitronensäure bewirkt einen Wert von R_a 2,11 µm

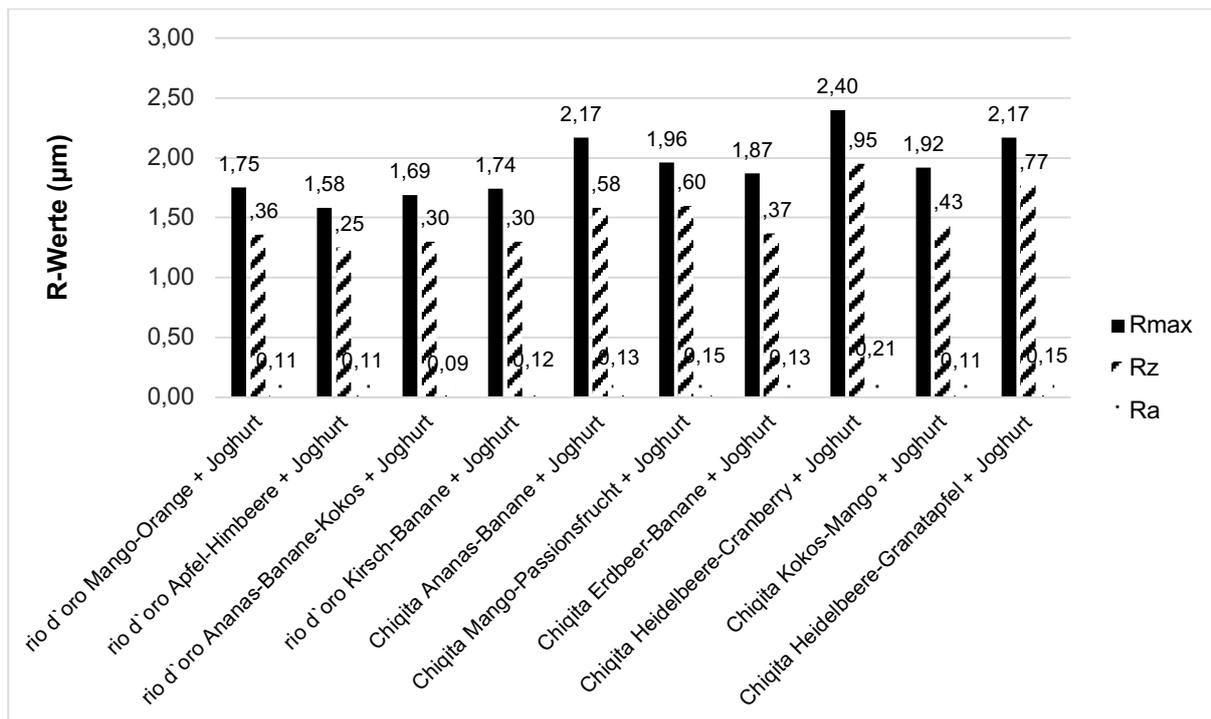


Abb. 4.21: R-Werte (R_{\max} , R_z und R_a) nach Zugabe von 10 % Joghurt (0,1 % Fett)

4.4 Einfluss von fetthaltigen Kokosprodukten auf die Erosivität

4.4.1 Ergebnisse bei der Messung des pH-Wert und der titrierbaren Säure

In einem weiteren Schritt wurde die Erosivität von Smoothies beurteilt, die mit einem Kokosnussprodukt versetzt waren. In unseren Messungen konnte kein relevanter Einfluss auf die Erosivität bei Smoothies mit einem geringen Fettgehalt, wie er in Smoothies mit dem Zusatz von Kokosnuss vorkommt, festgestellt werden. Die von uns bei der Rauigkeitsmessung getesteten Smoothies mit Kokosnusszusatz enthielten meist Kokosnussmilch oder Kokosnussmark. Bei der Bestimmung des pH-Wertes lagen Smoothies, die ein Kokosnussprodukt enthielten, tendenziell im höheren Bereich. Smoothies, die einen Kokosnusszusatz enthalten, werden meist mit den Früchten Ananas und Banane kombiniert, bei zwei Smoothies wurde das Kokosnussprodukt mit anderen Früchten kombiniert. Die pH-Werte der Smoothies Ananas-Banane-Kokos der Firma Kaufland betragen $\text{pH} = 4,08$, beim Smoothie der Firma Rio d'oro von Aldi $\text{pH} = 4,06$. Der Smoothie von Innocent hatte einen pH-Wert von 3,92, bei der Fruchtzubereitung „white“ von true fruits einen Wert von 3,70 und beim Smoothie Kokos-Mango von Chiquita von 3,58. Bei der Titration konnte kein signifikanter Unterschied zu anderen Smoothies gefunden werden. So wurde bei Smoothies, die nur zu einem kleinen Anteil saure Früchte enthalten, ein ähnlich niedriges Titrationsvo-

lumen mit 0,1 molarer NaOH benötigt wie bei Smoothies ohne Kokosnussanteile. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die von getesteten Fruchtzubereitungen, die einen Kokoszusatz enthielten.

Smoothie	pH-Wert (Temperatur in °C)	Titration auf pH (Temperatur in °C); Volumen NaOH (V in ml)
Ananas-Banane-Kokos (Kaufland)	4,08 (21,6)	7,00 (19,0); V= 34,10 ml
Ananas-Banane-Kokos (rio d`oro)	4,06 (23,0)	7,01 (22,9); V= 31,20 ml
Ananas-Banane-Kokos (Innocent)	3,92 (21,7)	7,00 (23,0); V= 39,00 ml
white (true fruits)	3,70 (19,4)	7,03 (20,0); V= 38,00 ml
Kokos-Mango (Chiquita)	3,58 (23,9)	7,02 (23,7); V= 27,05 ml

Tab. 4.2: Übersicht der Smoothies mit Kokosnusszusatz

Bezogen auf die Durchschnittliche Menge an NaOH von 33,87 ml wurde weniger NaOH zum Erreichen des neutralen pH-Wertes benötigt.

Zum Vergleich hatte der Smoothie Ananas-Banane der Firma Chiquita einen pH-Wert von 3,83 (bei einer Temperatur von 22,7 °C) und ein Titrationsvolumen von 33,20 ml mit 0,1 molarer Natronlauge. Auch bei den Sorten Mango-Passionsfrucht, Erdbeer-Banane und Himbeere-Granatapfel - alle von der Firma Chiquita - wurden ähnliche pH-Werte gemessen und hatten auch ein ähnlich niedriges Titrationsvolumen, obwohl diese stellenweise eher saure Früchte wie Passionsfrucht oder Himbeere enthielten. Der Smoothie Mango-Passionsfrucht hatte einen pH-Wert von 3,71 (bei 22,2 °C) und ein Titrationsvolumen von 34,40 ml 0,1 molare Natronlauge. Die Sorte Erdbeer-Banane wies einen pH-Wert von 3,73 (bei 22,9 °C) und ein Titrationsvolumen von 32,40 ml Natronlauge auf. Bei der Sorte Himbeere-Granatapfel wurde ein pH-Wert von 3,61 (bei 20,8 °C) gemessen und ein Titrationsvolumen von 36,50 ml Natronlauge ermittelt. Bei den Smoothies Fruit-2-day der Firma Schwartzau konnte dies ebenfalls bei den Sorten Mango-Pfirsich, Kirsche-rote Traube, Erdbeere-Orange und Himbeere-Granatapfel beobachtet werden. Der pH-Wert bei Mango-Pfirsich betrug 3,68 (bei 21,8 °C) und es wurden 31,20 ml Natronlauge bis zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes benötigt, bei der Sorte Kirsche-rote Traube lag der pH-Wert bei 3,72 (bei 22,2 °C) und das benötigte Natronlauge-Volumen betrug 31,05 ml. Bei der Sorte Erdbeere-Orange wurde der pH-Wert mit 3,76 (bei 22,9 °C) ermittelt und das Titrationsvolumen betrug 35,90 ml Natronlauge. Beim Smoothie Himbeere-Granatapfel betrug der pH-Wert 3,68 (bei 21,4°C) und das Titrationsvolumen betrug 32,45 ml NaOH. Ein weiteres Beispiel zeigen die Smoothies Heidelbeer-Banane, Mango-Banane und Pfirsich-Mango der Firma Alnatura: Bei der Sorte Heidelbeer-

Banane wurde ein pH-Wert von 3,68 (bei 19,7°C) und ein Titrationsvolumen von 30,60 ml Natronlauge gemessen, bei der Sorte Mango-Banane ein pH-Wert von 3,82 (bei 22,6°C) mit einem Titrationsvolumen von 36,10 ml Natronlauge und bei der Sorte Mango-Pfirsich ein pH-Wert von 3,55 (bei 21,5 °C) und es wurden 36,30 ml Natronlauge bis zum Neutralpunkt benötigt. Somit kann basierend auf diesen Messungen kein generell niedrigeres erosives Potenzial, verglichen mit anderen Smoothies festgestellt werden.

4.4.2 Substanzverlustmessung mittels Oberflächenprofilometrie

Vergleicht man die R-Werte der Smoothies mit Kokosnussanteil mit den Smoothies ohne Kokosnussanteil, so kann nicht von einer geringeren Erosivität der Smoothies mit Kokosnussanteil ausgegangen werden. Lediglich bei den Smoothies Granatapfel-Heidelbeere-Açaí und Orange-Karotte-Mango der Marke Innocent, Schwartz Fruit-2-day Himbeere-Boysenbeere, der Smoothie „yellow“ von true fruits, Pfirsich-Mango von Alnatura und Mango-Orange und Apfel-Himbeere der Aldimarke rio d`oro konnten noch niedrigere R-Werte, als bei den Smoothies mit Kokosnussanteil gemessen werden. Nur zehn der 43 gemessenen Smoothies wiesen höhere R-Werte als $R_{\max} = 3,22$ auf. Dazu zählen die Smoothies Kiwi-Apples-Limes, Kids Strawberry-Blackberry-Raspberry, Mango-Maracuja und Brombeere-Erdbeere-Johannisbeere von Innocent, sowie der Smoothie „green+caju“ und „red“ von true fruits, die Sorten Heidelbeere-Banane, Mango-Maracuja und Traube-Himbeere von Alnatura und der Smoothie Heidelbeere-Cranberry von Chiquita. Die Abbildung 4.22 zeigt eine Übersicht der von uns gemessenen Substanzverluste.

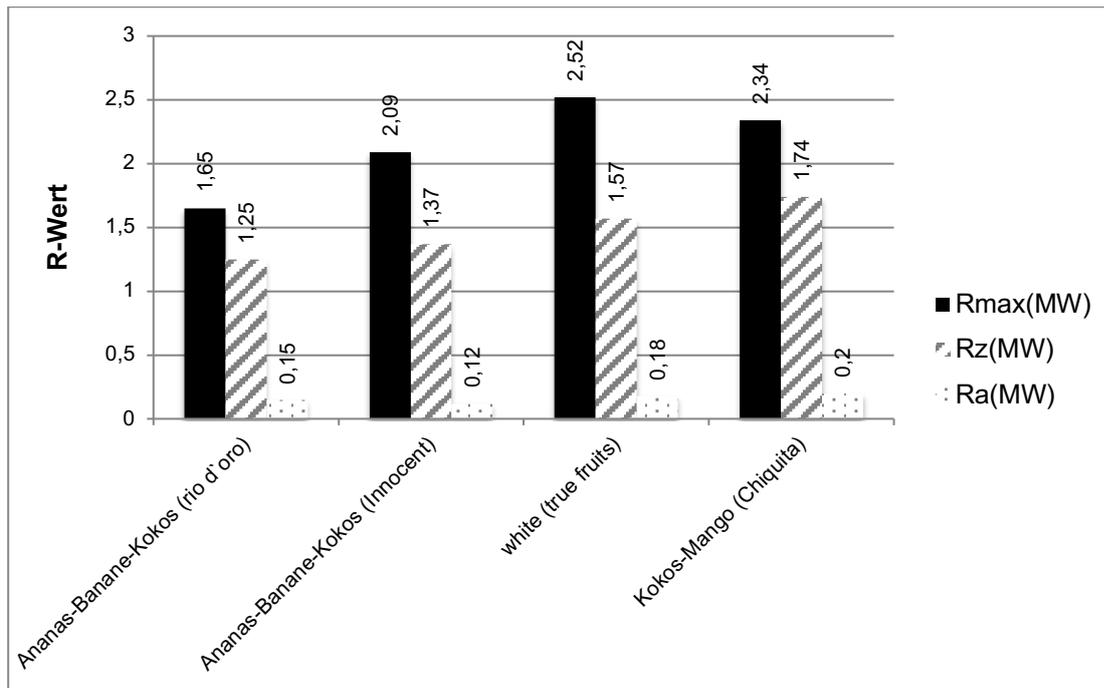


Abb. 4.22: R-Werte der Smoothies mit Kokosnussanteil im Überblick

Der Durchschnitt aller untersuchten Smoothies lag bei R_{\max} mit $2,15 \mu\text{m}$, für R_z bei $1,48 \mu\text{m}$ und für R_a bei $0,16 \mu\text{m}$.

4.5 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden von mit Smoothie inkubierten und unbehandelten Zahnschmelzproben angefertigt. Bei den nachfolgenden Aufnahmen ist in der Übersichtsaufnahme ein deutlicher Unterschied zwischen der mit Klebestreifen abgedeckten Seite (rechts im Bild) und der mit Smoothie inkubierten Seite (links im Bild) zu erkennen.

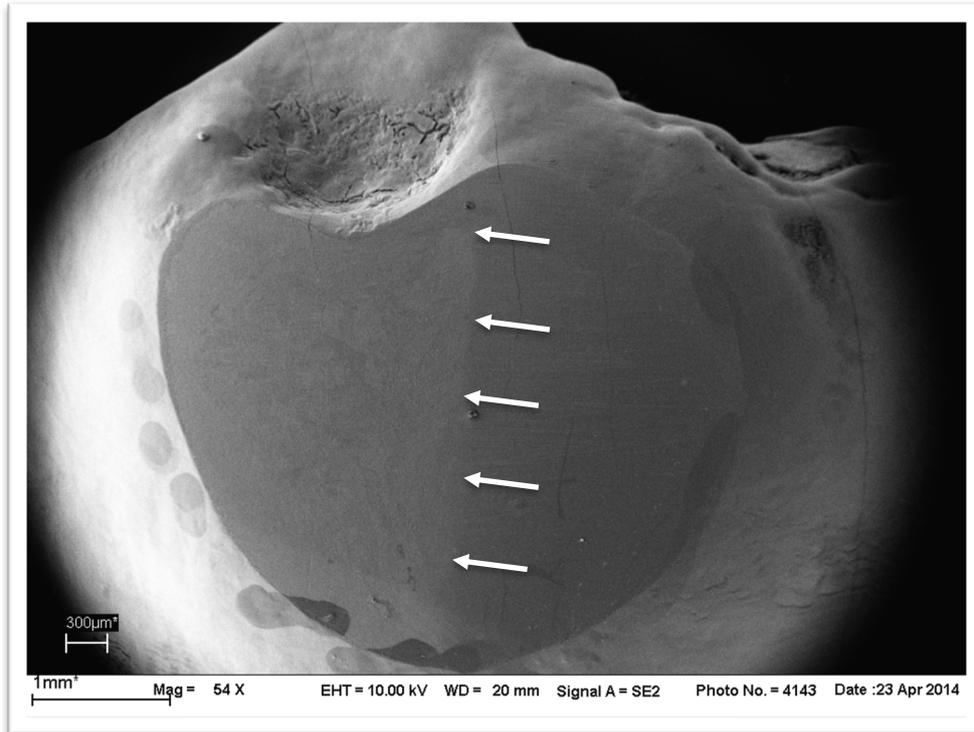


Abb. 4.23: Übersichtsaufnahme einer vorbereiteten Schmelzprobe; rechts unbehandelte Probe, links die inkubierte Oberfläche, Mag = 54x

Bei stärkeren Vergrößerungen ist dieser Unterschied jedoch in einem einzigen Bild nicht mehr darstellbar. Eine klare Grenze kann nicht mehr als solche erkannt werden, da das Abdecken mit Klebestreifen keine komplette, randscharfe Abdichtung zur unbehandelten Seite ermöglicht. In zwei von uns getrennt angefertigten Aufnahmen konnte jedoch der Unterschied zwischen der abgedeckten polierten Schmelzoberfläche (Abbildung 4.25) und des mit Smoothie behandelten Zahnschmelzanteils (Abbildung 4.26) dargestellt werden. Es zeigt sich eine deutliche Demineralisierung durch die 60-minütige Inkubation mit dem Smoothie. Abbildung 4.24 zeigt eine Demineralisierung der Zahnhartsubstanz mit einer deutlichen Freilegung der Schmelzprismen. Im Vergleich zu der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme, die durch den Klebestreifen abgedeckt war, konnten keine durch Bearbeitung und Politur entstandenen Defekte wie Schleifspuren erkannt werden.

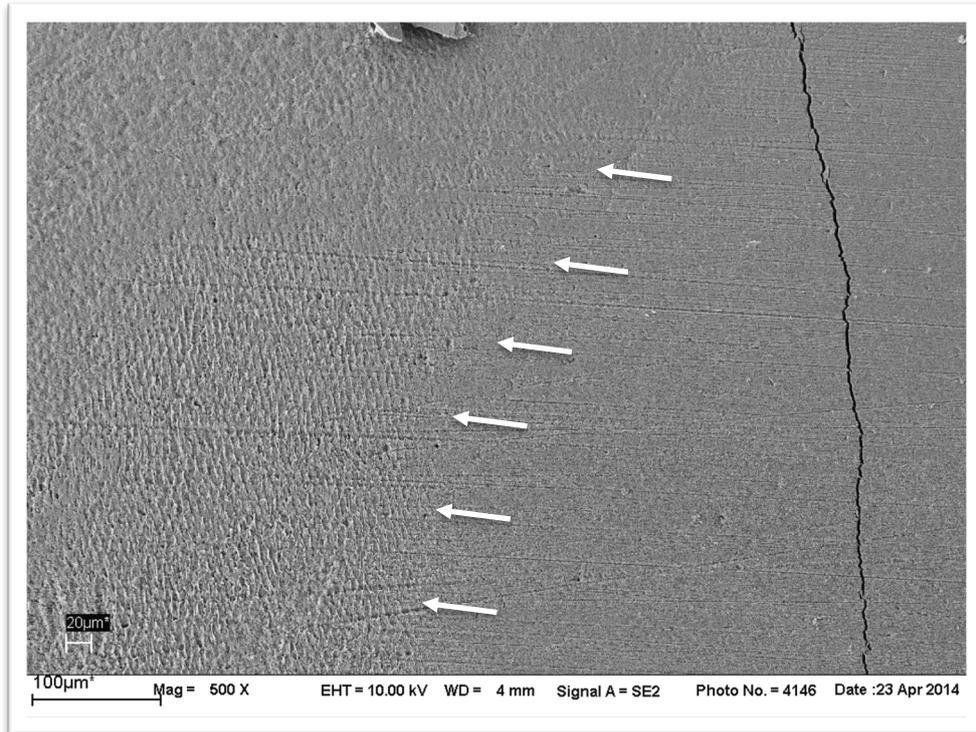


Abb. 4.24: Vertikale Grenzfläche zwischen unbehandelter Oberfläche rechts und inkubierter Oberfläche links

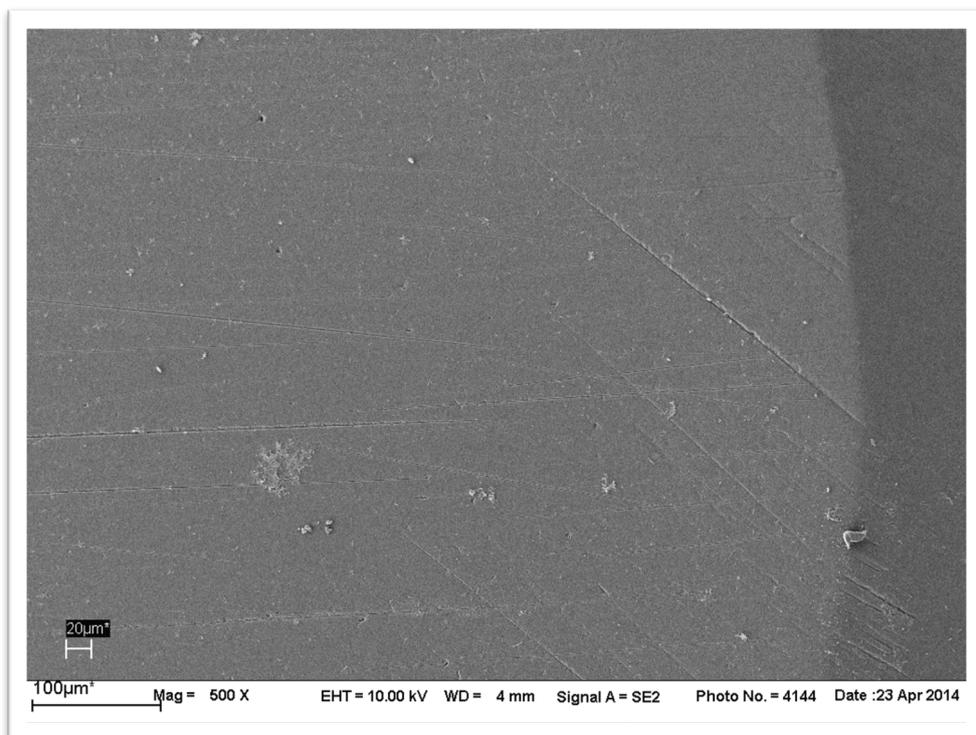


Abb. 4.25: Unbehandelte Schmelzprobe, Mag=500x; keine Anzeichen für Demineralisierung erkennbar, politurbedingte Oberflächenveränderungen sichtbar

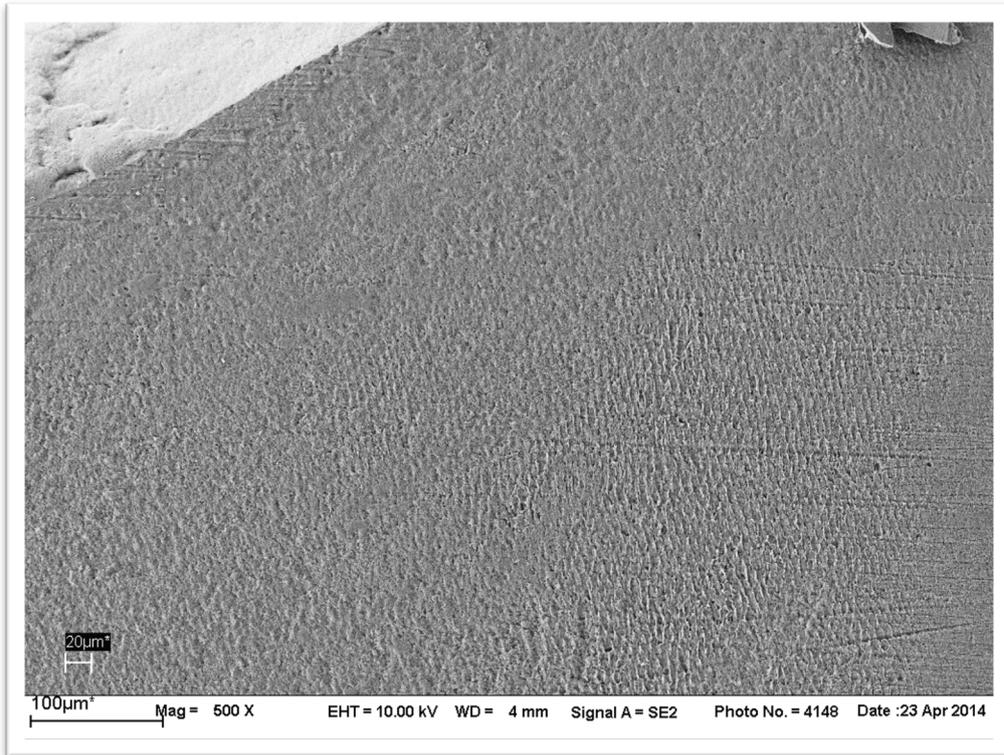


Abb. 4.26: Eine mit Smoothie inkubierte Schmelzprobe (60 Minuten), Mag=500x; säurebedingte Strukturveränderungen am Zahnschmelz erkennbar

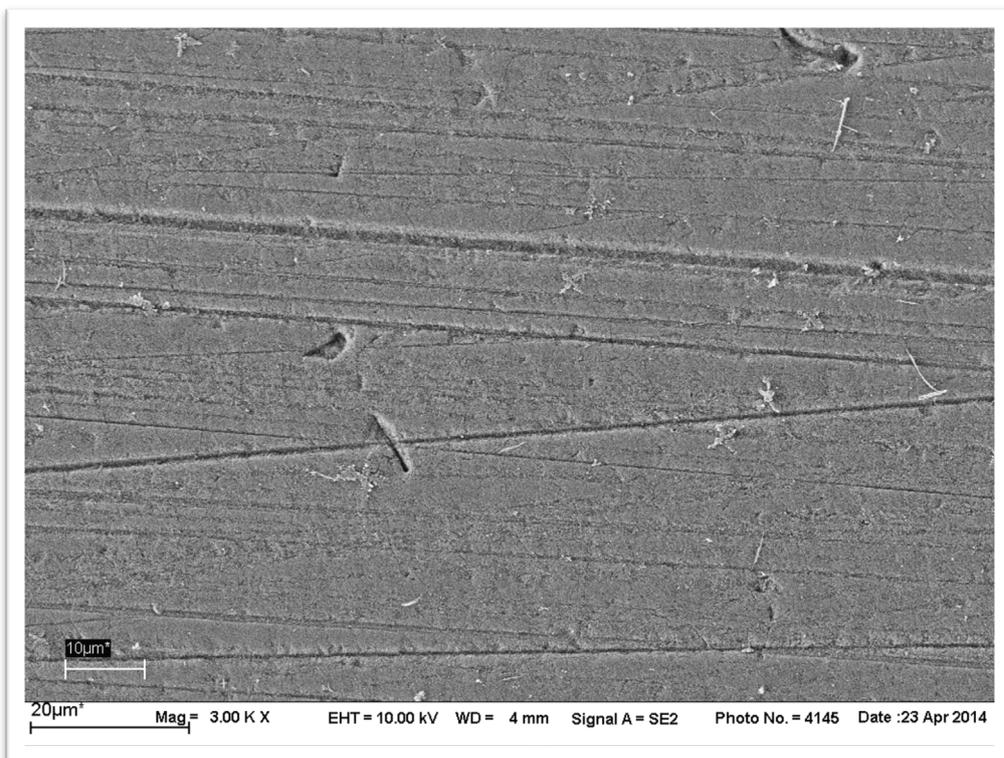


Abb. 4.27: Unbehandelten Schmelzprobe, Mag=3.00 KX; 20 μm; politurbedingte Schleifspuren im Zahnschmelz erkennbar, keine Demineralisationszeichen

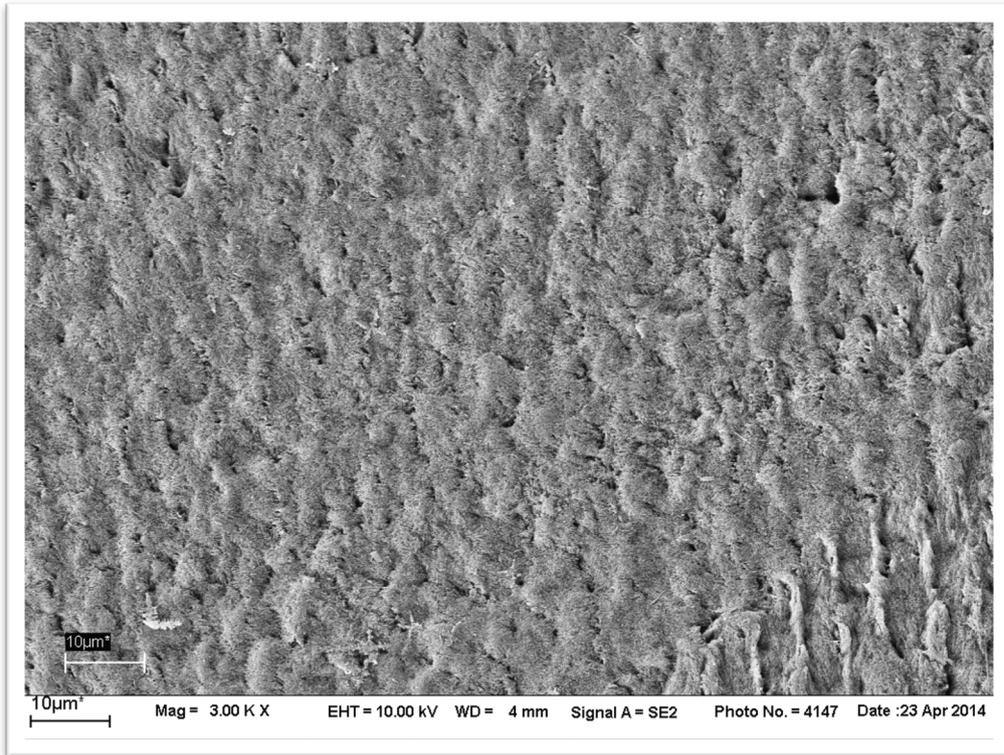


Abb. 4.28: Eine mit Smoothie inkubierte Schmelzprobe (60 Minuten), Mag= 3.00 KX; 10 μm ; freigelegte Schmelzprismen deutlich erkennbar

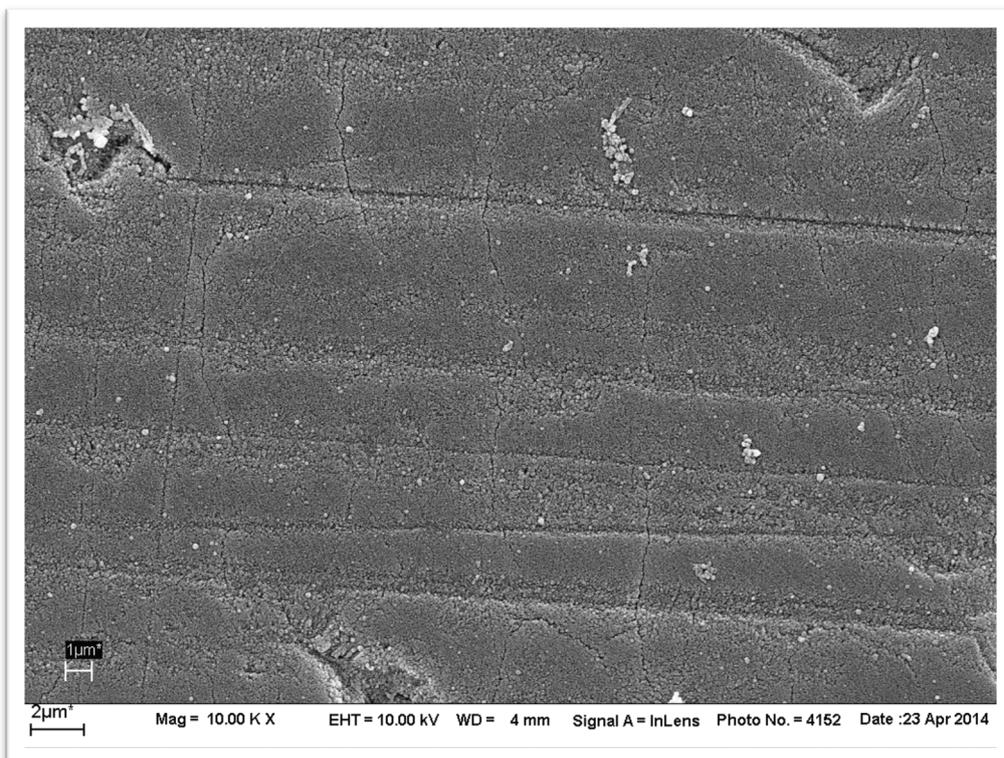


Abbildung 4.29: Unbehandelten Schmelzprobe, Mag= 10.00 KX; 2 μm ; Strukturveränderungen und politurbedingte Schleifspuren im Schmelz erkennbar.

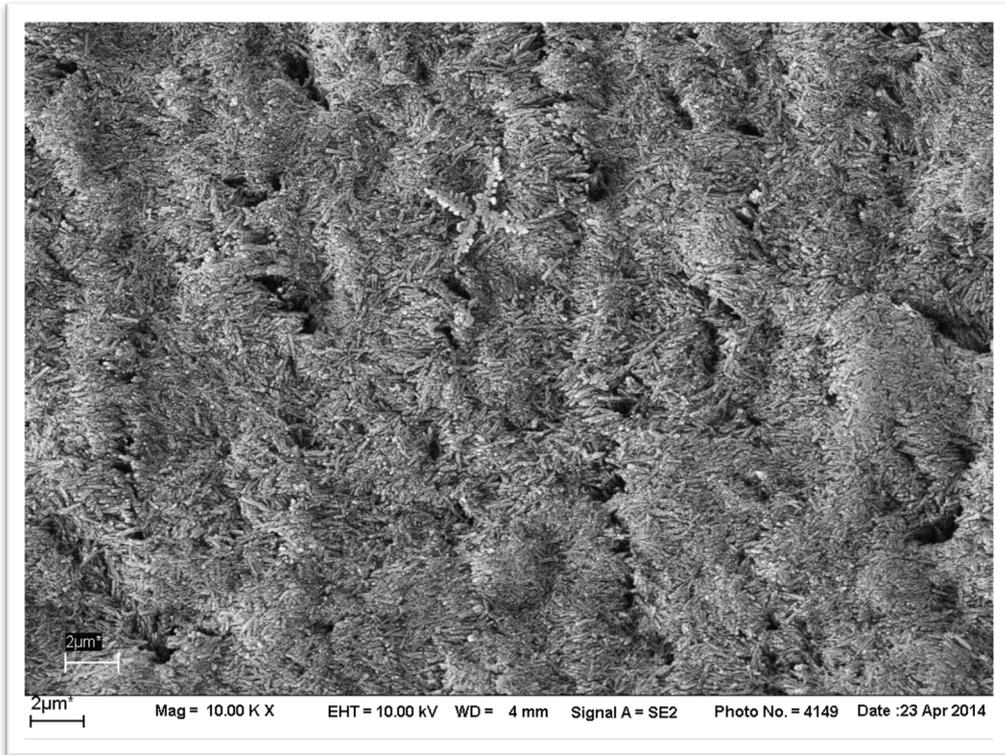


Abb. 4.30: Eine mit Smoothie inkubierte Schmelzprobe (60 Minuten), Mag= 10.00 KX; 2 μm; Signal= SE2; Darstellung der freigelegten Schmelzprismen.

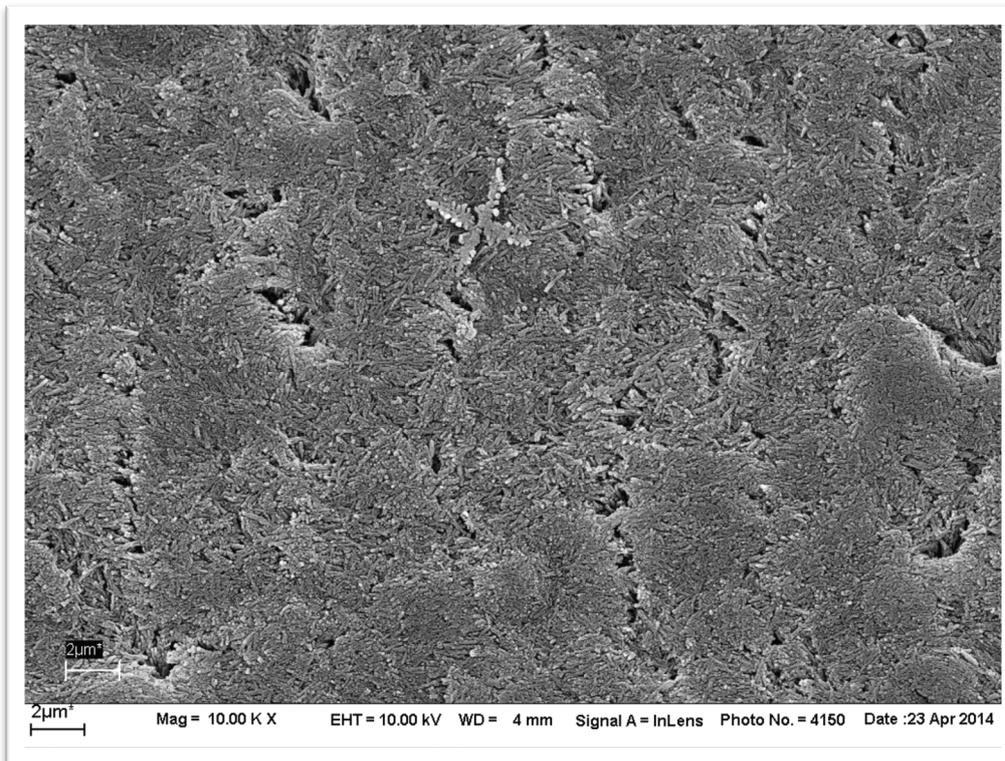


Abb. 4.31: Eine mit Smoothie inkubierte Schmelzprobe (60 Minuten), Mag= 10.00 KX; 2 μm; Signal=InLens; Darstellung der freigelegten Schmelzprismen.

4.6 Ergebnis der konfokalen Laserscanmikroskopie

Bei der Oberflächenbetrachtung unter dem CLSM konnte kein verwertbares Bild erzielt werden, weshalb mit dieser Technik eine quantitative Messung des Substanzverlustes nicht vorgenommen werden konnte.

5 Diskussion

5.1 Probenvorbereitung für die pH-Wert-Messung und die Titration

Für die Bestimmung des pH-Wertes wurden die Proben bei Zimmertemperatur gemessen. Dennoch sind Temperaturschwankungen im Laufe des Tages insbesondere im Sommer möglich. Diese Temperaturschwankungen haben einen möglichen Einfluss auf die Höhe des pH-Wertes. Die Temperatur wurde deshalb bei den Ergebnissen unserer pH-Wertmessungen angegeben. Alle Proben wurden während der pH-Wert-Bestimmung und Titration auf einem Magnetrührgerät permanent durchmischt, um in der Probe die Temperatur und die Ionenverteilung konstant homogen zu halten.

pH-Wert-Messung

Bei der Messung der pH-Werte wurde eine pH-Elektrode verwendet, die zur pH-Wert-Bestimmung von Obst- und Gemüsesäften geeignet ist. Bei jedem Smoothie wurde zudem der pH-Wert mit einem zugesetzten Joghurt-Anteil von 10 % gemessen. Bei der Auswahl des Joghurts wurde ein Joghurt mit geringem Fettanteil von 0,1 % gewählt, um die Messungen so gering wie möglich durch Fettablagerungen auf dem Diaphragma zu stören. Die in unseren Messungen verwendete Elektrode der Firma Metrohm besitzt ein für diese Bestimmungen speziell entwickeltes Festschliffdiaphragma (Unitrode 6.0258.600). Für pH-Messungen bei Milchprodukten bietet die Firma Metrohm eine mit einem wartungsarmen Kapillardiaphragma ausgestattete Elektrode (Porotrode 6.0235.200) an, welche insbesondere für visköse, stark verschmutzte oder stark eiweißhaltige Proben entwickelt wurde (Metrohm 2009). Aufgrund des geringen Anteils von sehr fettarmen Milchprodukten haben wir uns für die Verwendung dieser Elektrode zur pH-Wertbestimmung in Obst- und Gemüsesäften entschieden. Trotz des sehr niedrigen Fettanteils im zugesetzten Joghurt ist eine Verfälschung der gemessenen pH-Werte denkbar. Der hohe Anteil von Eiweiß in Joghurt kann zu Ablagerungen im Bereich des Diaphragmas der pH-Elektrode führen und die gemessenen Ergebnisse beeinflussen. Um diese Verfälschung weitestgehend zu vermeiden, wurde nach Rücksprache mit dem Hersteller die Elektrode nach jeder einzelnen Messung mit Ethanol abgespült und danach mit destilliertem Wasser gründlich gespült. Zudem wurde zu Beginn jeden Messtages die Elektrode kalibriert. Es wurden keine Veränderungen festgestellt. Bei unseren pH-Wert-Bestimmungen konnten pH-Werte im Bereich von 3,30 bis 4,08 gemessen werden. In einer ver-

gleichbaren Studie von Tahmassebi et al. (2013) konnten bei Smoothies der Firma Innocent für die Sorten Erdbeer-Banane ein pH-Wert von 3,73 und bei der Sorte Mango-Maracuja ein pH-Wert von 3,59 bestimmt werden. Bei einer Untersuchung von Blacker und Chadwick (2013) lagen die pH-Werte für die Sorte Erdbeer-Banane (Innocent) bei pH = 5,33 und für die Sorte Kiwi-Apfel-Limette (Innocent) bei pH = 5,04. Bei einer Messung von Hanein und Jinous (2014) wurden bei vier Smoothies der Firma Innocent folgende Werte ermittelt: bei der Sorte Erdbeer-Banane ein pH-Wert von 3,67, bei der Sorte Mango-Passionsfrucht ein pH-Wert von 3,90, bei der Sorte Kiwi-Apfel-Limette ein pH-Wert von 3,75 und bei der Sorte Brombeere-Himbeere-schwarze Johannisbeere ein pH-Wert von 3,81. Zur Bestimmung des pH-Wertes benutzten Ali und Tahmassebi und Tahmassebi et al. (2013) ein pH-Meter der Firma VWR (VWR international Orion, Orion Research, London, UK). Blacker und Chadwick verwendeten das pH-Meter Jenway 3,510, Barloworld Scientific Ltd, Essex, UK. Diese Werte entsprechen mit geringfügigen Unterschieden unseren gemessenen Werten.

5.2 Bestimmung der titrierbaren Säure

Bei der Bestimmung der titrierbaren Säure spielen unter anderem die Rezepturen der einzelnen Hersteller eine Rolle. Die auf den Etiketten angegebenen Früchte sind je nach Marke in zu unterschiedlichen Anteilen enthalten. Meistens enthalten die Smoothies Apfelpüree, wobei die angegebenen bzw. umworbenen Früchte zu einem geringeren Anteil zugesetzt sind. Dies ist zum Beispiel bei Smoothies der Firma Al-natura der Fall. So enthalten diese Smoothies laut Zutatenangabe auf der Verpackung einen Anteil an Apfelmark und -saft zwischen 52,5 % und 74 %. Auch Smoothies der Firma Schwartau „Fruit-2-Day“ enthalten einen Anteil an Apfelsaft zwischen 30 % und 45 % und einen Anteil an Apfelpüree zwischen 13 % und 17 %. Zudem enthalten „Fruit-2-day“-Smoothies natürliche Aromen. Bei Smoothies der Firma Chiquita wurden auf der Verpackung zwar die verwendeten Früchte angegeben, jedoch nicht in welchen Mengen die einzelnen Früchte zugesetzt sind. Smoothies der Firma „true fruits“ enthalten bei den Sorten „white“, „purple“, „pink“, „green + caju“ und „orange + goji“ einen Apfelanteil zwischen 25 % und 45 %. Der Smoothie „red“ hingegen basiert zu etwa 40 % auf Traubensaft. Smoothies der Marke rio d`oro von Aldi enthalten die auf der Verpackung angegebenen Früchte zu etwa 50 %. Auch

hier werden jedoch andere Bestandteile wie Apfelsaft oder -mark, Traubensaft, Johannisbeermark, Maracujasaft, Orangenzellen, Birnenmark, Heidelbeermark, Mangomark oder Zitronensaft zugesetzt.

Auch bei der Haltbarkeit sind Unterschiede zu beobachten. Einige Smoothies wie von der Firma Innocent, True Fruits, Chiquita, Kaufland und Schwartau sind nur im Kühlregal erhältlich und verderben nach Anbruch innerhalb kurzer Zeit. Smoothies der Firma Alnatura werden dagegen ungekühlt angeboten und sind wesentlich länger haltbar. Auf der Verpackung werden keine Angaben zur Haltbarkeitsmachung gemacht. Bei den weiteren untersuchten Smoothies, die überwiegend gekühlt angeboten wurden, gab es keine Information über die Haltbarkeitsmachung. Auf den Flaschen der Smoothies der Firma Chiquita ist der Vermerk „leicht pasteurisiert“ aufgedruckt. Die von uns getesteten Smoothies wurden gekühlt bei Kühlschranktemperatur aufbewahrt und nach Anbruch binnen zwei bis drei Tagen verbraucht, danach wurden die Proben verworfen und durch neue ersetzt. Zudem wurden die Smoothies nur bis zu ihrem Mindesthaltbarkeitsdatum verwendet. Somit können Verfäschungen der Messwerte durch bakterielle Verunreinigungen oder Gärprozesse ausgeschlossen werden.

Vergleicht man die von uns erhobenen Werte mit anderen Studien, kann festgestellt werden, dass bei den durchgeführten Titrationsen sehr unterschiedliche Mengen an Natronlauge zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes nötig waren. Unsere Werte lagen bei der Sorte Mango-Maracuja (Innocent) bei 52,2 ml NaOH (0,1 M), bei der Sorte Kiwi-Apfel-Limette (Innocent) bei 44,1 ml NaOH (0,1 M), bei der Sorte Erdbeer-Banane (Innocent) bei 44,3 ml NaOH (0,1 M) und bei der Sorte Brombeere-Erdbeere-schwarze Johannisbeere (Innocent) bei 57,2 ml NaOH (0,1 M). Im Vergleich wurde bei einer Untersuchung von Ali und Tahmassebi (2014) bei der Sorte Erdbeer-Banane (Innocent) 9,8 ml 1 M NaOH, bei der Sorte Mango-Maracuja (Innocent) 9,9 ml 1 M NaOH, bei der Sorte Kiwi-Apfel-Limette (Innocent) 7,7 ml 1 M NaOH und bei der Sorte Brombeere-Erdbeere-schwarze Johannisbeere (Innocent) 10,8 ml 1 M NaOH benötigt. Ein Milliliter einer 1 M Natronlauge entspricht hierbei zehn Milliliter einer 0,1 M Natronlauge. In der Studie von Blacker und Chadwick (2013) wurde für die Sorten Erdbeere-Banane (Innocent) 72,66 ml 0,1 M NaOH und für die Sorte Kiwi-Apfel-Limette (Innocent) 79,60 ml 0,1 M NaOH benötigt. In der Studie von Tahmassebi et al. (2013) wurde für die Sorte Erdbeer-Banane (Innocent) 10,83 μmol und für die Sorte Mango-Maracuja (Innocent) ein Wert von 11,60 μmol bis zum Erreichen

des neutralen pH-Wertes benötigt. Titriert wurde hierbei mit 0,1 μ mmolarer NaOH. Hierbei gilt: in einem Liter 0,1 M NaOH befinden sich 100.000 μ mol. Somit entsprechen einem Milliliter 0,1 M NaOH 100 μ mol.

Smoothie (Hersteller)	Eigene Titration (0,1 M NaOH) ml	Blacker und Chadwick (2013) (0,1 M NaOH) ml	Ali und Tahmassebi (2014) (1 M NaOH) ml	Tahmassebi et al. (2014) (0,1 M NaOH) μ mol
Mango-Maracuja (Innocent)	52,20	-	9,8 (entspricht 99 ml 0,1 M NaOH)	11,60 (entspricht 0,12 ml 0,1 M NaOH)
Erdbeer-Banane (Innocent)	44,30 (pH 3,72)	72,68 \pm 0,41 (pH 5,33)	9,8 (entspricht 98 ml 0,1 M NaOH)	10,83 (entspricht 0,11 ml 0,1 M NaOH)
Apfel-Kiwi-Limette (Innocent)	44,10 (pH 3,42)	79,60 \pm 0,42 (pH 5,04)	7,7 (entspricht 77 ml 0,1 M NaOH)	-
Brombeere-Erdbeere-schwarze Johannisbeere	57,20	-	10,8 (entspricht 108 ml 0,1 M NaOH)	-

Tab. 5.1: Vergleich der Titrationsvolumina bis zum Erreichen eines neutralen pH-Werts bei vier Smoothies der Firma Innocent aus unterschiedlichen Studien

Die Tabelle 5.1 zeigt, dass je nach Studie sich die Titrationsvolumina erheblich unterscheiden. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass die Firma Innocent ihre Rezepturen verändert hat, oder die Proben höhere oder niedrigere Temperaturen bei der Titration hatten. So wurden in der Studie von Blacker und Chadwick (2013) die Proben bei 4° Celsius gemessen wohingegen unsere Proben bei Zimmertemperatur gemessen wurden.

5.3 Einfluss des Fettanteils auf die Erosivität

Einige Smoothies enthalten neben pürierten Früchten auch Kokosnussprodukte. Bei der pH-Wert-Messung und der Bestimmung der titrierbaren Säure zeigten die Smoothies, die mit einem Kokosnussprodukt versetzt waren, einen im Vergleich zu den anderen Smoothies einen etwas höheren pH-Wert und benötigten eine geringere Menge an Natronlauge bis zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes. Hierbei waren Titrationsvolumina von 27,05 ml NaOH bei der Sorte Kokos-Mango (Chiquita) und 39,00 ml NaOH bei der Sorte Ananas-Banane-Kokos (Innocent) notwendig. Somit lagen Smoothies mit einem Kokosnussanteil im pH-Bereich von 4,08 (Ananas-

Banane-Kokos, Kaufland) und 3,70 (Kokos-Mango, Chiquita). Smoothies ohne Kokosnussanteil wiesen einen pH-Bereich von 3,91 (Heidelbeere-Cranberry, Chiquita) und 3,30 (Apfel-Kirsche-Cranberry, Innocent) auf. Smoothies mit Kokosnuss werden mit weniger sauren Früchten wie Ananas und Banane kombiniert. Der pH-Wert von Ananas liegt in einem Bereich von 3,5 bis 5,2 (Fredenburg 2019), der pH-Wert von Bananen liegt im Bereich von 4,5 – 5,2 (Engineeringtoolbox 2019). Bei dem Smoothie Kokos-Mango von Chiquita und dem Smoothie „white“ von true fruits wurde das enthaltene Kokosnussprodukt mit anderen Früchten kombiniert. Diese beiden Smoothies wiesen die niedrigsten pH-Werte bei den Fruchtzubereitungen mit Kokosnussanteil auf. Beim Smoothie Kokos-Mango von Chiquita waren laut Angabe des Herstellers neben den bereits genannten Früchten auch Apfel- und Traubensaft, sowie Fruchtzubereitungen aus pürierter Banane und püriertem Pfirsich enthalten. Beim Smoothie „white“ von true fruits war der Hauptbestandteil des Smoothies ein Fruchtprodukt aus Apfel. Die weit mehr vorhandenen Bestandteile waren Ananas, Banane und Kokos. Ferner wurden noch kleinere Anteile an Orangensaft und Zitronengras hinzugefügt. Dies erklärt den verhältnismäßig niederen pH-Wert im Vergleich zu den Sorten Ananas-Banane-Kokos, die kaum Zusätze anderer Früchte enthielten. Smoothies mit Kokosnussanteil wird meist Kokosnussmilch zugesetzt. Der Anteil liegt hier zwischen 9 % und 14 %. Der Fettgehalt von normaler Kokosnussmilch liegt zwischen 14 % und 16 % (Stiftung Warentest 2009). Eine Ausnahme ist der Smoothie der Firma true fruits „white“, dem 1/8 - dies entspricht etwa 25 bis 30 Gramm in 250 ml Fruchtzubereitung - gemahlene Kokosnuss zugefügt ist. Hierbei ist allerdings nicht angegeben ob es sich um frisches oder getrocknetes Kokosnussfleisch handelt. In frischer Kokosnuss liegt der Fettanteil bei 36,5 Gramm pro 100 Gramm essbarem Anteil (Souci et al. 2009), wohingegen getrocknetes Kokosnussfleisch auf einen Fettanteil von etwa 64,5 g pro 100 g essbarem Anteil kommt (Yazio 2018). Smoothies ohne Kokosnussanteil haben einen Fettgehalt zwischen 0,01 bis 0,3 Gramm pro 100 Milliliter. Smoothies mit Kokosnussanteilen enthalten einen Fettanteil zwischen 0,8 bis 2,5 Gramm je 100 Milliliter. Durch das in diesen Kokosnusszubereitungen enthaltene Fett kann es zu einer Verfälschung der pH-Wertmessung und der Bestimmung der titrierbaren Säure kommen. Durch das in der Kokosnuss enthaltene Fett kann es zu Ablagerungen auf dem Diaphragma der Messselektrode kommen. Dadurch besteht die Gefahr, dass es bei der Bestimmung des pH-Wertes und der titrierbaren Säure zu falsch hohen oder falsch niedrigen Werten

kommen kann. Aus diesem Grund wurde die pH-Elektrode nach jeder Messung mit Ethanol und danach mit destilliertem Wasser gründlich gespült.

5.3.1 Einfluss von Fett bei der Oberflächenprofilometrie

Bei der durchgeführten Oberflächenprofilometrie konnte keine Verringerung der Erosivität aufgrund des enthaltenen Fettanteils bei Smoothies mit Kokosnuss festgestellt werden. Es existieren sehr wenige Beobachtungen darüber, dass ein gewisser Fettanteil in Nahrungsmitteln und Getränken den erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlust verringert. Wiegend et al. (2007) untersuchten den Einfluss von olivenöhlhaltigen Emulsionen auf Erosionen der Zahnhartsubstanz. Sie fanden bei einer zweiprozentigen Konzentration einen geringeren Substanzverlust, der jedoch niedriger war als bei einer 250 ppm fluoridhaltigen Lösung. In den von uns untersuchten Smoothies mit Kokosnussanteil war der Fettanteil jedoch zu gering, um eine schützende Wirkung auf die Zahnhartsubstanz feststellen zu können. Ein störender Einfluss bei der Durchführung der Oberflächenprofilometrie ist nicht anzunehmen, da es sich um eine mechanische Messung mit Hilfe einer diamantenen Messspitze handelt.

5.4 Einfluss durch die Zugabe von Joghurt

Um Herauszufinden, ob durch die Zugabe von Milchprodukten, wie Joghurt, Milch oder Sahne, die erosive Wirkung eines sauren Nahrungsmittels wie Obst, Getränke oder auch Salatdressings gemildert werden kann, wurde in unserer Studie den Smoothies 10 % fettarmer Joghurt zugegeben und die pH-Wertveränderung gemessen.

Bei den meisten Smoothies ergab sich ein sehr geringfügiger Anstieg des mittleren pH-Wertes von $3,62 \pm 0,18$ auf $3,69 \pm 0,15$. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der pH-Wert des Joghurts von 4,26 zum einen höher ist und damit den pH-Wert der sauren Smoothies anhebt.

Paradoxerweise wird durch die Zugabe von 10 % Joghurt zu den Smoothies etwas mehr Natronlauge benötigt um einen neutralen pH-Wert zu erreichen. So wurde im Durchschnitt 44,88 ml Natronlauge zum Erreichen eines neutralen pH-Wertes benötigt. Nach Zugabe von 10 % Joghurt wurden 45,65 ml NaOH benötigt.

Dies kann damit erklärt werden, dass bei der Milchsäure die Protolyse (pK_s -Wert 3,9) leichter und schneller ablaufen kann als bei den meist enthaltenen Fruchtsäuren, wie

beispielsweise Apfelsäure mit $pK_{s1} = 3,46$ und $pK_{s2} = 5,10$ oder Limettenzusatz mit pK_s -Werten $pK_{s1} = 3,31$, $pK_{s2} = 4,76$ und $pK_{s3} = 6,40$.

In einer früheren Studie untersuchten Lussi und Stich 2005 bei verschiedenen Getränken und Milchprodukten den pH-Wert und die titrierbare Säure. Unter anderem wurden Orangensaft und Orangenjoghurt, sowie frisch gepresster Kiwisaft und Kiwijoghurt untersucht. Hierbei zeigten die untersuchten Säfte einen deutlich niedrigeren pH-Wert und eine deutlich höhere Menge an NaOH die zum Erreichen des Neutralpunktes von $pH = 7$ zugegeben werden musste, als bei den entsprechenden Joghurtsorten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Fruchtanteil in Joghurts oftmals sehr gering ist. So besitzt ein Fruchtjoghurt einen Fruchtanteil von ca. 6 %, ein Joghurt mit Fruchtzubereitung ca. 3,5 % Frucht und ein Joghurt mit Fruchtgeschmack sogar unter 3,5 % Fruchtanteil (Bächle 2011), weshalb sich der pH-Wert und der Anteil an titrierbarer Säure nicht sehr stark von Naturjoghurt oder anderen Sauermilchprodukten unterscheidet. Bei unseren Untersuchungen wurde jedoch nur ein sehr geringer Joghurtanteil von 10 % einer Fruchtzubereitung zugesetzt.

In einer Untersuchung von Magalhães et al. (2014) wurde an Rinderzähnen der protektive Effekt von Milch (3 % Fettanteil) vor und nach einem erosiven Angriff mit Coca-Cola auf Zahnschmelz und Dentin untersucht. Ein Abspülen der Rinderzähne mit Milch vor dem erosiven Angriff bewirkte 67 % weniger Erosionen im Dentin und 24 % weniger Erosionen im Zahnschmelz. Ein protektiver Effekt von Milch nach Behandlung der Rinderzähne mit Coca-Cola konnte nur im Dentin nachgewiesen werden.

Ein Lebensmittelchemiker der Technischen Universität München in Weihenstephan, teilte mit, dass er annimmt, dass sich in den Smoothie-Joghurt-Mischungen Komplexe bilden, die zu einem scheinbaren Ansteigen der titrierbaren Säure führen.

5.5 Einflüsse auf die Oberflächenprofilometrie bei der Bestimmung des Zahnhartsubstanzverlustes

In zahlreichen Studien wurde die Oberflächenprofilometrie zur Bestimmung des Zahnhartsubstanzverlustes eingesetzt. Attin (2006) beschrieb die Profilometrie als Methode zur Darstellung dentaler Erosionen und dass die äußerste, durch Demineralisation geschädigte Oberfläche sehr empfindlich gegenüber mechanischen Kräften ist, die durch den aufliegenden Messfühler zerstört werden kann. Außerdem wird von

Attin angegeben, dass die Messproben präzise plan geschliffen und poliert werden müssen, um eine möglichst genaue Messung zu erhalten. Chuenarrom und Benjakul (2008) führten eine Untersuchung durch, bei der die Profilometrie und die mikroskopische Messung zur Bestimmung von Erosionen im Zahnschmelz verglichen wurde. Es wurden Zahnschmelzproben von menschlichen Weisheitszähnen unterschiedlich lang Orangensaft und Coke® ausgesetzt. Die Erosionszeiten betragen 15, 30, 60, 120 und 180 Minuten je Getränk. Hierbei wurde das Kontaktprofilometer Surfcoorder SE2300 der Firma Kosaka Laboratory (Tokyo, Japan) eingesetzt. Bei der Kontaktprofilometrie konnte für Orangensaft ein erosiver Substanzverlust ab einer Einwirkzeit von 30 Minuten und ein Substanzverlust von 0,8 und 1,1 µm gemessen werden und für Coke® ein Substanzverlust von 0,71 und 8,29 µm. Bei der mikroskopischen Messung (Messmikroskop MM400, Nikon Corporation, Kanagawa, Japan) konnten Werte zwischen 0,25 und 0,68 µm bei Orangensaft und 0,18 und 8,11 µm bestimmt werden. Somit lag eine weitgehend gute Übereinstimmung der beiden Messmethoden vor. Chuenarrom und Benjakul beschrieben jedoch auch Einschränkungen der Messmethoden, wenn der Zahnhartsubstanzverlust unter einem µm lag. Im weiteren Verlauf fanden sie heraus, dass die Kontaktprofilometrie vor allem ein Bild der Oberflächenkontur bei der Erosion liefert, aber dass es durch den Messfühler zu Schäden an der Schmelzoberfläche kommt. Im Rahmen der Untersuchung wurden Dentinproben ausgewertet, die für 30, 60, 90 und 120 Minuten in 0,05 molarer Zitronensäurelösung eingelegt wurden. Bei der kontaktprofilometrischen Untersuchung konnten hierbei Werte zwischen $27,8 \pm 14,2$ µm und $36,5 \pm 12,2$ µm Substanzverlust gemessen werden. Da im Rahmen dieser Studie Dentinproben mit Zitronensäure behandelt wurden, kann angenommen werden, dass die Oberflächenprofilometrie zwar zur Bestimmung eines erosiven Zahnhartsubstanzverlustes geeignet ist, die Ergebnisse dieser Untersuchung jedoch nicht unmittelbar mit unseren Ergebnissen vergleichbar sind, da Dentin deutlich anfälliger für erosive Schäden ist als Zahnschmelz. Zudem besitzt Zitronensäure ein deutlich erosiveres Potenzial als Smoothies. Ganss et al. (2009) verglichen in einer Studie die Kalziumanalyse, die longitudinale Mikroradiographie und die Profilometrie um eine quantitative Einschätzung von erosivem Zahnhartsubstanzverlust im Dentin zu bekommen. Für diese Untersuchung kam ein Perthometer S8P der Firma Perthen-Mahr (Göttingen) zum Einsatz. Beim Vergleich der verschiedenen Messmethoden konnte nach 120 Minuten Einwirkzeit von 0,05 M Zitronensäure bei der Oberflächenprofilometrie ein Substanzverlust von $27,8 \pm 4,6$

µm festgestellt werden, bei der optischen Profilometrie wurde ein Substanzverlust von $5,4 \pm 1,9$ µm bestimmt und die Kalziumanalyse ließ Rückschlüsse auf einen Substanzverlust von $55,4 \pm 11,5$ µm zu. Zusätzlich erfolgte eine profilometrische Messung nach enzymatischer Entfernung der organischen Matrix des Dentins. Danach zeigte sich bei der Kontaktprofilometrie ein Substanzverlust von $46,9 \pm 6,2$ µm und bei der optischen Profilometrie ein Substanzverlust von $43,0 \pm 5,5$ µm. Ren et al. führten 2009 eine Studie durch, in der Fluoridbehandlungen am Zahn und die Resistenz des Zahnschmelzes gegenüber Softdrinks beurteilt wurde. Nachfolgend verglichen sie die Profilometrie und die 3D-Scanning-Mikroskopie. Ren et al. beschrieben, dass vor allem die Dicke der Messnadel für die Genauigkeit der Messung entscheidend ist. Als mögliches Problem beschrieben sie die Vorbehandlungen der Schmelzproben, wodurch bereits im Vorfeld Risse auf der Messoberfläche entstehen können. Diese können mit der Profilometrie nicht dargestellt werden und die Messergebnisse verfälschen. Schlüter et al. verglichen 2011 ebenfalls verschiedene Methoden um Erosion in Zahnschmelz und Dentin zu charakterisieren. Die Oberflächenprofilometrie wird auch hier als gängige Methode zur Quantifizierung von Erosionen beschrieben, jedoch erfordert sie eine sehr glatte Oberfläche der Proben vor der Inkubation und Messung. Schlüter et al. fanden mit Hilfe der Profilometrie einen erosionsbedingten Zahnhartsubstanzverlust von 15 bis 50 µm. Die Tiefe des erweichten Schmelzes kann nicht bestimmt werden. Durch die Kontaktprofilometrie kommt es zu einer Penetration an der Oberfläche durch die Messspitze, wodurch teilweise demineralisierte Zahnhartsubstanz in der Messung mit erfasst wird. Dies führt zu einer Überbewertung der ursprünglichen Erosionstiefe. In einer anderen Untersuchung von Blacker und Chadwick (2012) wurden verschiedene Getränkeproben, unter anderem auch Smoothieproben für 60 Minuten mit dem Zahnschmelz extrahierter Molaren inkubiert. Hierbei zeigte sich bei dem Erdbeer-Banane-Smoothie (Innocent) ein maximaler Substanzverlust von etwa 3,72 µm und für die Sorte Kiwi-Apfel-Limette (Innocent) ein maximaler Substanzverlust von 5,45 µm. In unseren Messungen konnten für die gleichen Proben ein R_{\max} von 2,08 µm für die Sorte Erdbeer-Banane und ein Wert von 3,38 µm für die Sorte Kiwi-Apfel-Limette bestimmt werden. Somit liegen unsere Werte etwas unter den Werten der von Blacker und Chadwick gemessenen Werten. In einer Studie von Ali und Tahmassebi (2014) wurde die Oberflächenprofilometrie zur Messung von Erosionen in Schmelzproben genutzt, die verschiedenen Smoothies ausgesetzt waren. Die Schmelzproben wurden hierfür in einer speziellen Apparatur

eingearbeitet, die von Probanden für 21 Tage getragen wurden. Fünfmal täglich tranken die Probanden die Smoothies, und behielten diese jeweils zwei Minuten im Mund. Anschließend wurden die Proben profilometrisch (Proscan) ausgewertet. Hierbei zeigte sich zwar, dass ein Substanzverlust stattgefunden hat, jedoch werden keine genauen Werte über das quantitative Ausmaß der Erosion beschrieben. In einer weiteren Untersuchung von Tahmassebi et al. (2014) wurde in-vitro die Erosivität von Smoothies auf die Zahnhartsubstanz überprüft. Hierbei wurden Schmelzproben von kieferorthopädisch extrahierten Prämolaren in Kunststoff eingebettet, anschließend poliert und mit den Smoothieproben inkubiert. Hierbei erfolgte ein Messzeitraum von 21 Tagen. Die Proben wurden jeweils fünfmal am Tag für zwei Minuten den Smoothies bzw. Getränken ausgesetzt. Bei der nachfolgenden profilometrischen Messung (Scantron ProScan 2000) konnte eine gemittelte Rautiefe R_z von etwa einem Mikrometer bestimmt werden. Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass die Oberflächenprofilometrie als Methode zur Detektion von Erosionen zwar geeignet ist, jedoch das quantitative Ausmaß der Erosion bei Smoothies nur unzureichend dargestellt werden kann.

5.5.1 Vorbereitung der Proben

Zur Bestimmung des Zahnhartsubstanzverlustes wurden in unserer Untersuchung extrahierte Molaren herangezogen. Um möglichst reale Bedingungen nachzuvollziehen wurden Zähne verwendet, die bereits in die Mundhöhle durchgebrochen waren. Somit ist eine Störung der Messung durch bereits im Mund erfolgte Demineralisationen möglich. Auch im Schmelz vorhandene Mikrorisse und -sprünge können zu Verfälschungen der Messergebnisse führen. Die Zähne wurden bis zu ihrer Weiterverarbeitung in Wasser oder in Natriumazid gelagert. Durch die enzymhemmende Wirkung des Natriumazids in der Aufbewahrungslösung wird das Wachstum von Mikroorganismen in den Aufbewahrungsbehältern gehemmt. Die Verwendung von Natriumazid zur Aufbewahrung von Zähnen wurde bereits in anderen Studien angewendet, da es nicht demineralisierend wirkt. So wurden in einer Untersuchung von Biermann (2009) ebenfalls Zähne zur aseptischen Lagerung in einer Lösung aus Kochsalz und Natriumazid gelagert. Auch in einer Studie von Tsotsoria (2012) wurden die Zähne vor ihrer Weiterverarbeitung in einer mit Natriumazid versetzten Ringerlösung gelagert. Eine mögliche demineralisierende Wirkung wurde in den uns zur Verfügung stehenden Quellen (unter den Stichwörtern „Natriumacid“ und „Demineralization“ PubMed, Chemie-online) nicht beschrieben. Vor der Einbettung wurden in Natrium-

azidlösung gelagerte Zähne mindestens 30 Minuten lang fließend gewässert um möglichst wenig Rückstände des Natriumazids auf der Zahnoberfläche zurückzulassen. Im nächsten Schritt erfolgte eine Vorbereitung der gewässerten Zähne wie im Abschnitt 3.6.2 beschrieben. Vor der Messung wurden die Proben vorsichtig mit Druckluft getrocknet. Bei einigen Proben zeigten sich nach dem Trocknen opake Veränderungen. Möglicherweise ist dies auf Störungen in der Schmelzstruktur zurückzuführen. Es wurde bei der Vorbereitung des Messbereichs darauf geachtet, dass diese veränderten Bereiche nicht innerhalb des Messfeldes liegen. Dennoch ist möglich, dass sehr kleine Schmelzdefekte innerhalb des Messfeldes liegen und eine Störung der Messung verursachen. Bei einigen Messungen können diese Störungen als extreme Werte wahrgenommen werden. Um eine Verfälschung des gesamten Messergebnisses zu vermeiden, wurden diese extremen Werte verworfen.

5.5.2 Messung der Proben

Zur Messung der Proben im Perthometer wurden diese mit Hilfe von Boxing Wax (Kerr, USA) und Tesafilm augenscheinlich planparallel auf dem Probenträger befestigt. Es wurde darauf geachtet, dass die Messung im rechten Winkel zum abgeklebten Probenfeld durchgeführt wurde. In den Vorversuchen zeigte sich, dass nicht planparallele Proben und Proben, die nicht im rechten Winkel zur Messnadel ausgerichtet waren, zu einer Abweichung der Messergebnisse führten. Bei einigen gemessenen Smoothies hatte dies teilweise stark abweichende Messwerte zur Folge. Beim Smoothie Traube-Himbeere von Alnatura konnte ein R_{\max} -Wert von 5,21, ein R_z -Wert von 2,22 und ein R_a -Wert von 0,28 gemessen werden. Bei diesem Smoothie kam es bei der Messung zu einem Ausreißer, der möglicherweise durch einen sehr geringen Schmelzdefekt bedingt war. Dies kann damit erklärt werden, dass wir in unserer Studie bereits in die Mundhöhle durchgebrochene Zähne verwendet haben, die bereits demineralisierenden Einflüssen ausgesetzt waren. Außerdem ist auf der Grafik des Perthometerausdrucks lediglich eine einzige, sehr kurze Strecke von dem Defekt betroffen, was für einen Schmelzdefekt spricht. In der ersten Messspur wurde an der betreffenden Stelle ein R_{\max} -Wert mit 10,77, ein R_z -Wert von 4,10 und ein R_a -Wert von 0,34 gemessen. Bei den weiteren Messspuren konnten Werte zwischen 4,47 und 3,25 erhoben werden, sodass ein etwas geringeres erosives Potenzial angenommen werden muss. Bei der Sorte Mango-Maracuja (Alnatura) konnte ein R_{\max} -Wert von 4,15, R_z von 2,27 und R_a von 0,32 gemessen werden. Auch hier kam es bei der ersten Messung zu einem deutlich höheren Wert im Vergleich zu den darauf fol-

genden Werten. Hier führten wir dies ebenfalls auf einen sehr kleinen Schmelzdefekt zurück, sodass auch hier eigentlich ein etwas niedrigeres erosives Potenzial angenommen werden muss. Auch beim Smoothie Mango-Passionsfrucht der Firma Chiquita kam es in der ersten Messspur zu einem Wert der deutlich über den anderen gemessenen Werten lag. Die Messwerte waren hier bei R_{\max} bei 2,27, R_z bei 1,57 und R_a bei 0,16. Bei diesem Smoothie führen wir diesen extremen Wert auch auf eine Störung infolge eines Schmelzdefekts zurück und schätzen das erosive Potenzial als etwas geringer ein.

5.6 Beurteilung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme

Die Rasterelektronenmikroskopie wurde in Studien zur bildlichen Darstellung von dentalen Erosionen eingesetzt. So stellten Tulek et al. 2018 dentale Erosionen an Mausmolaren mittels der Rasterelektronenmikroskopie dar. Im Rahmen der Untersuchung wurden Mäusen verschiedene Softdrinks (Cola und Red Bull®) und Wasser als Getränk über einen Zeitraum von sechs Wochen angeboten. Die nachfolgend gewonnenen Schmelzproben wurden mit Platin besputtert und die Zahnhartsubstanzdefekte mittels Rasterelektronenmikroskopie dargestellt. Nachfolgend wurde der bukkale, linguale und okklusale Substanzverlust der Mausmolaren ausgemessen. Bei den Mäusen, die Red Bull® gefüttert wurden zeigt sich okklusal eine Reduktion der bukkalen Höhe des Zahnes um 23 %, und lingual ein Verlust der Zahnhöhe um 18 % gegenüber der Kontrollgruppe festgestellt werden. Bei der Gruppe von Mäusen, die mit Cola behandelt wurden, konnte ein lingualer Verlust der Zahnhöhe von 34 % und bukkal ein Substanzverlust von 12 % gegenüber der Kontrollgruppe gemessen werden. Die bukkale und linguale Schmelzdicke war am Ende der Untersuchung in beiden Testgruppen nur geringfügig reduziert. Auch Ganss et al. (2009) nutzten die Rasterelektronenmikroskopie zur bildlichen Darstellung von Erosionen im Dentin nach Inkubation der Dentinproben in 0,05 M Zitronensäure. Da in dieser Untersuchung nur Dentinproben und keine ganzen Zähne untersucht wurden, konnte kein Ausmessen des Substanzverlustes erfolgen. Hanning und Balz (1999) nutzten die Rasterelektronenmikroskopie um den Einfluss eines 24 Stunden und 7 Tage alten Pellikels bei der Entstehung von Erosionen durch Behandlung des Zahnschmelzes mit 0,1 %iger und 1,0 %iger Zitronensäure zu veranschaulichen. Die Inkubationszeiten lagen in dieser Untersuchung jeweils bei 30 Sekunden, 60 Sekunden und

300 Sekunden. Erste erosive Veränderungen konnten bei Schmelzproben mit einem 24 Stunden alten Pellikel, die 30 Sekunden mit 1,0 %iger Zitronensäure behandelt wurden festgestellt werden. Bei einer Inkubation mit 0,1 %iger Zitronensäure konnten zu keinem Zeitpunkt, bei beiden Pellikeldicken eine Erosionen dargestellt werden. Auch hier erfolgte kein numerisches Ausmessen der Defekte.

5.7 Beurteilung der konfokalen Laserscanmikroskopie

Die Durchführung der konfokalen Lasermikroskopie findet in zahlreichen Bereichen in der Medizin und Zahnmedizin Anwendung. Durch die Möglichkeit optische Schnitte von Präparaten bis in der Regel 100 µm anzufertigen ist es möglich ein Präparat in mehreren Ebenen zu betrachten (Wilhelm et al. 2019). In der von uns durchgeführten Messung konnte jedoch kein Bild des erosiven Substanzverlustes dargestellt werden. Vergleicht man unsere durchgeführte Messung mit einer Studie von Malyk et al. aus dem Jahr 2009 so erfolgte dort eine lasermikroskopische Messung an ein Millimeter dicken Wurzelspitzenpräparaten um die Eindringtiefe verschiedener Sealer zu beurteilen. Die Messung erfolgte mit dem CLSM LSM-510 Meta Microscope (Carl Zeiss, Jena, BRD). Die Messung erfolgte mit Hilfe von „Multitracking“ und mit einem 488 nm-Laser. Die von Malyk et al. (2009) ausgemessenen Sealer-Tags wiesen einen minimalen Wert von 11,3 µm auf. In einer weiteren Untersuchung von Paschos et al. (2016) wurde die Demineralisationsprävention in der Bracketperipherie an Zahnschmelz mit Hilfe des CLSM ermittelt. Hierbei wurden verschiedene Schmelzproben mit Hilfe eines Argonlasers bei 543 nm und 20 % Intensität untersucht. Auch in dieser Messung lagen die gemessenen Werte deutlich im zweistelligen Mikrometerbereich und lagen bei der Bestimmung der Tiefe des Substanzverlustes minimal bei 17,8 µm. Dies liegt möglicherweise daran, weil zur Konditionierung des Schmelzes bei den meisten Proben 35%ige Phosphorsäure verwendet wurde. Die von uns aufbereiteten Schmelzproben wurden jedoch lediglich mit Smoothies inkubiert. Daher ist der erosive Substanzverlust wahrscheinlich zu gering um eine quantitative Messung mit dem CLSM vorzunehmen. In einer weiteren Untersuchung von Austin et al. (2016) wurde ebenfalls die konfokale Laserscanmikroskopie eingesetzt. Es wurden Veränderungen der Schmelztextur nach Demineralisation mit Zitronensäure und Remineralisation mit Speichel untersucht. Hierbei wurde das CLSM LEXT OLS4100, Olympus, Tokyo mit einer Lichtwellenlänge von 405 nm eingesetzt. Im Rahmen der

Messung wurden jedoch lediglich die Texturänderungen dargestellt. Angaben über einen quantitativen Substanzverlust gab es in dieser Untersuchung nicht.

5.8 Testverfahren zur Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts

Testansatz Total Calcium LiquiColor® (Stanbio)

Zu Beginn dieser Studie wurde zunächst geplant den Kalzium- und Phosphatgehalt der Smoothies zu bestimmen, um daraus Rückschlüsse auf das mögliche erosive Potenzial des jeweiligen Smoothies zu treffen. In Vorversuchen wurde ein Kalziumtest der Firma Stanbio (USA) Total Calcium LiquiColor® Procedure No. 0150 verwendet. Der Hersteller gibt an, dass das Testverfahren für Serum, Plasma, Urin oder ähnliche klare Flüssigkeiten geeignet sei.

In den Vorversuchen mit Smoothies wurden allerdings keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt. Dies lag daran, dass die Smoothies sich wegen der enthaltenen Fruchtfaserstoffe nicht in die Pipette aufsaugen ließen, weil die extrem kleine Öffnung der Pipettenspitze schnell verstopfte. Zum Einsatz kamen Kolbenhubpipetten der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland). Daraufhin wurden die Pipettenspitzen gekürzt. Daraufhin konnten die Smoothies angesaugt werden, das Kürzen geht jedoch mit einer Verfälschung des pipettierten Volumens einher.

Die photometrische Messung erfolgte mit VarioSkan (Thermo Scientific, Dreieich/Deutschland). Jedoch konnten keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt werden, da vermutlich die Fruchtfasern in den Smoothies die photometrische Messung störten.

In einem weiteren Vorversuch, wurde der Kalziumgehalt von Joghurt, von Buttermilch und einem Mineralwasser bestimmt, da deren Kalziumkonzentrationen auf der Verpackung vermerkt war. Es sollte geprüft werden, ob der Test überhaupt für Lebensmittel geeignet sein könnte, oder nur wie auf dem Beipackzettel vermerkt, für Serum, Plasma, Urin oder ähnlich klare Flüssigkeiten geeignet sei. Auch bei diesem Testansatz konnten bei Buttermilch und Joghurt keine mit der Verpackungsangabe übereinstimmenden Kalziumwerte erzielt werden. Lediglich das getestete Mineralwasser zeigte einen vergleichbaren Wert. In einem weiteren Schritt wurde versucht Kalzium in Joghurt und in Buttermilch durch Zugabe von Salzsäure auszufällen und den ab-

zentrifugierten Überstand zu messen. Allerdings erbrachte auch dieses Verfahren keine Übereinstimmung mit den auf der Verpackung angegebenen Werten.

Testansatz Spectroquant® (Merck)

Ein weiterer Testansatz erfolgte mit einem Test der Firma Merck. Hierzu wurde der Spectroquant® Calcium-Test (Art. 1.14815.0001, Firma Merck, Darmstadt, BRD) verwendet. Bei diesem Test müssen Störfaktoren wie Faserstoffe und Eigenfarbe ausgeschaltet werden. Der Testansatz erfolgte wie im Abschnitt 3.5 beschrieben. Bei dieser Methode wurde festgestellt, dass der Kalziumgehalt der Smoothieproben so gering war, dass dieser außerhalb des Messbereichs lag. Trotz unterschiedlicher Verdünnungen, die eine Erhöhung des Kalziumgehalts in der Messlösung bewirken sollten, konnten wir keine Messergebnisse erzielen. Um eine Erklärung für hierfür zu finden haben wir folgende Berechnung aufgestellt: Die Lebensmitteltabelle von Souci et al. (2009) gibt zum Beispiel für Apfel einen Kalziumgehalt von 6 mg Kalzium pro 100 Gramm essbarer Anteil an. Bei einer Verdünnung von 1:250 sinkt damit der Kalziumgehalt auf 0,024 Milligramm. Die Nachweisgrenze des Spectroquant-Tests liegt bei 1 mg Kalzium/Liter. Aus diesem Grund ist bei einer Verdünnung auf 250 ml ein Nachweis erst ab dem 40fachen möglich. Unter diesen Bedingungen ist kein Kalzium messbar.

In der von der Firma Merck herausgegebenen Anleitung wird die Untersuchung von Fruchtsaftkonzentraten beschrieben (Merck - Gebrauchsanweisung 2009). So wurden für schwarze Johannisbeerkonzentrate Werte von 1713 Milligramm pro Kilogramm, für Orangensaftkonzentrate 656 Milligramm Kalzium pro Kilogramm und für Zitronensaftkonzentrate 561 Milligramm Kalzium pro Kilogramm gemessen. In der Lebensmitteltabelle (Souci et al. 2009) wird für schwarze Johannisbeeren ein Kalziumgehalt von 45 Milligramm je 100 Gramm, für Orangen 40 Milligramm je 100 Gramm und für Zitronen 11 Milligramm je 100 Gramm angegeben.

Dies ist damit zu erklären, dass die Methode, die von der Firma Merck angegeben wurde, an Fruchtsaftkonzentraten mit erheblich höheren Kalziumkonzentrationen getestet wurde. In einem Gramm fertigen Fruchtsaftes hingegen sind sehr geringe Mengen an Kalzium enthalten, die durch die notwendige Probenvorbereitung noch zusätzlich verdünnt werden.

Obwohl laut Lebensmitteltabelle (Souci et al. 2009) der Kalziumgehalt eines Smoothies ausreichend hoch sein müsste und möglicherweise sogar über dem an-

gegebenen Messbereich von 1 – 15 mg/l liegt, konnte bei der Messung mit diesem Test kein Kalzium nachgewiesen werden. Eine Farbentwicklung wie sie für eine photometrische Messung typisch ist, erfolgte ebenfalls nicht. In der nachfolgenden Tabelle 5.2 sind die Kalziumgehalte der einzelnen Früchte aufgelistet, welche häufig in Smoothies verwendet werden.

Frucht	Ca-Gehalt mg/100g essbarem Anteil
Apfel	6
Pfirsich	6
Apfelsaft	7
Banane	7
Sauerkirsche	8
Heidelbeere	10
Mango	12
Ananas	16
Süßkirsche	17
Johannisbeere rot	30
Orange	40
Kiwi	40
Himbeere	40
Brombeere	45
Johannisbeere schwarz	45

Tab. 5.2: Kalziumgehalt von Früchten und Beeren, in aufsteigender Reihenfolge (Souci et al. 2009)

5.9 Weitere Testansätze zur Bestimmung der Erosivität von Smoothies

Neben der Bestimmung des pH-Wertes werden die Werte der titrierbaren Säure, sowie der Kalzium- und Phosphatgehalt bestimmt, um Rückschlüsse auf das erosive Potenzial zu erhalten. Aber auch andere Methoden wurden eingesetzt um Rückschlüsse auf die Erosivität verschiedener Nahrungsmittel zu erhalten. So untersuchten Larsen und Nyvad 1999 die Erosivität verschiedener Softdrinks und Orangensäfte mittels pH-Wert, die Pufferkapazität sowie die Kalzium- und Phosphatkonzentration mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie. Larsen und Nyvad zeigten, dass mit steigendem Kalzium- und Phosphatgehalt, das erosive Potenzial eines Nahrungsmittels sinkt. Lussi et al. wendeten 2000 die Atomabsorptionsspektrometrie an, um den Kalzium- und Phosphatgehalt in Getränken zu ermitteln. Lussi et al. (2005) untersuchten das erosive Potenzial verschiedener Fruchtsäfte, Joghurtprodukte und Softdrinks. Das Resultat der Untersuchung war, dass neben der Konsumhäufigkeit und dem pH-Wert des Getränks weitere Faktoren wie die Pufferkapazität, die Chelatorei-

genschaften, sowie der Kalzium- und Phosphatgehalt das erosive Potenzial eines Nahrungsmittels beeinflussen. Die Bestimmung des Sättigungsgrades der einzelnen Substanzen in Bezug auf Hydroxyl- und Fluorapatit erfolgte mit Hilfe eines Computerprogramms, ohne dies weiter zu spezifizieren. Ganss et al. verglichen 2009 verschiedene Methoden um Erosionen im Dentin quantitativ darzustellen. Neben der gemessenen Kalziumkonzentration wurden zur Messung des Substanzverlustes die Profilometrie und die longitudinale Mikroradiographie angewandt. Zudem wurde die Kalziumkonzentration in der Zitronensäurelösung nach dem erosiven Angriff mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie gemessen.

5.10 Weitere Möglichkeiten zur Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehalts

Einen weiteren Ansatz zur Bestimmung des Kalzium- und Phosphatgehaltes stellt eine Arbeitsanleitung von Matissek (1989) dar. Aufgrund der meist sehr dickflüssigen Konsistenz der Smoothies kann eine direkte Messung im Photometer nicht vorgenommen werden, da hierbei aufgrund der auftretenden Pipettierfehler zu gravierende Unterschiede in den Ergebnissen festzustellen sind. Matissek (1989) hat folgende Methode zur Bestimmung des Phosphatgehaltes in Fruchtsäften beschrieben: Um Phosphatverluste zu vermeiden, wird die Probe mit Magnesiumacetat verascht und anschließend der Phosphatgehalt in der Asche nach Lösen mit Salzsäure bestimmt. In dieser sauren Lösung werden die Phosphate mit Molybdaten (MoO_4^{2-}) zu Molybdatophosphaten umgesetzt. Im nächsten Schritt werden diese Molybdatophosphate mit Ascorbinsäure reduziert und das Molybdän in „Molybdänblau“ umgesetzt, welches bei 720 nm Wellenlänge photometriert wird und der Phosphatkonzentration direkt proportional ist. Bei „Molybdänblau“ handelt es sich um eine tiefblaue, kolloidale Lösung, bestehend aus Mischoxiden des vier- bzw. sechswertigen Molybdäns deren Farbintensität photometrisch gemessen werden kann.

In unserer Klinik waren die technischen Möglichkeiten für die Durchführung einer solchen Messung nicht gegeben.

6 Zusammenfassung

Die bessere zahnmedizinische Versorgung und gründlichere Mundhygiene hat in den letzten Jahrzehnten zu einem Rückgang kariöser Läsionen geführt. Eine gründlichere und intensivere Mundhygiene sowie der vermehrte Konsum von Säften, Obst und Gemüse kann eine Zunahme an nicht-kariösen Defekten bewirken. Im Bemühen sich gesund zu ernähren werden Smoothies als praktische Alternative zu frischem Obst gesehen, was noch gewaschen, geschält oder klein geschnitten werden muss.

Die pH-Werte aller Smoothies lagen zwischen 3,3 bis 4,1, im Durchschnitt bei $3,62 \pm 0,18$. Durch die Zugabe von 10 % Joghurt erhöhte sich der mittlere pH-Wert nur minimal auf $3,69 \pm 0,15$.

Als zweites wurde die Menge an Natronlauge bestimmt, die zugegeben werden muss um einen neutralen pH-Wert zu erreichen. Je nach Fruchtzusammensetzung des Smoothies waren 27,05 ml bis 72,50 ml, im Durchschnitt $44,31 \text{ ml} \pm 10,04 \text{ ml}$ 0,1 molarer Natronlauge erforderlich und nach Zugabe von 10 % Joghurt wurden im Durchschnitt $45,12 \text{ ml} \pm 9,48 \text{ ml}$ 0,1 molarer Natronlauge benötigt. Smoothies, die Kokosprodukte und säurearme Früchte wie Mango und Banane beinhalteten wiesen einen höheren pH-Wert auf und benötigten weniger Natronlauge um den neutralen pH-Wert zu erreichen.

Im weiteren wurde die erosive Wirkung der Smoothies auf Schmelzoberflächen extrahierter Prämolaren und Molaren mittels Oberflächenprofilometrie untersucht. Die Einwirkdauer wurde in unserer Untersuchung bei den Smoothies auf 60 Minuten und bei der Zitronensäure auf 30 Minuten festgelegt. Der durchschnittliche R_{\max} -Wert aller Smoothies betrug im Durchschnitt $2,89 \text{ } \mu\text{m} \pm 1,08 \text{ } \mu\text{m}$, der R_z -Wert $1,72 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,39 \text{ } \mu\text{m}$ und der R_a -Wert $0,17 \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$.

Smoothies, die Kokosnuss und Bananen enthielten, hatten eine geringere maximale Rautiefe als Smoothies mit hohem Anteil an Beerenfrüchten. Der niedrigste Wert lag hier bei $R_{\max} = 1,65 \text{ } \mu\text{m}$ und der höchste Wert bei $R_{\max} = 5,93 \text{ } \mu\text{m}$. Im Vergleich hierzu lag die gemittelte Rautiefe bei einer dreißigminütigen Inkubation mit 1%iger Zitronensäure bei $R_{\max} = 27,71 \text{ } \mu\text{m}$.

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigten Schmelzdefekte. Der Vergleich der verschiedenen Smoothies ergab keine statistisch sichtbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten und Herstellern.

Im Vergleich mit Softdrinks, Säften und Wein (Lussi et al. 2005) wiesen die untersuchten Fruchtpürees ein geringeres erosives Potenzial auf. Sie können daher aus zahnmedizinischer Sicht verzehrt werden, allerdings sollte eine wiederholte Aufnahme wegen der kumulativen, erosiven Wirkung wie bei allen erosiven Getränken vermieden werden. Die ganze und frische Frucht, bevorzugt regional, ist aus ernährungsphysiologischen Gründen zu bevorzugen.

7 Anhang

7.1 Zusammensetzung und Daten der untersuchten Smoothies

Hersteller	Name	Inhaltsstoffe	PH-Wert (Temp °C)	PH-Wert mit Jo- ghurt (Temp °C)	Rz		Rmax		Ra	
					MW	St- Abw	MW	St- Abw	MW	StAbw
Rio d'oro	Kirsch-Banane	Bananenmark 32%, Sauerkirschmark 19%, Apfelsaft, Traubensaft, Apfelmark, Johannisbeersaft	3,59 (23,2)	3,59 (26,5)	1,66	0,21	2,50	0,29	0,21	0,02
Rio d'oro	Ananas-Banane-Kokos	Ananassaft 53%, Bananenmark 31%, Kokosmilch 14%, Mangomark, Zitronensaft	4,06 (23,0)	4,02 (22,6)	1,25	0,09	1,65	0,15	0,15	0,01
Rio d'oro	Mango-Orange	Mangomark 36%, Orangensaft 16%, Ananassaft, Traubensaft, Bananenmark, Orangenzellen, Maracujasaft	3,72 (23,5)	3,75 (26,1)	1,54	0,24	2,33	0,57	0,16	0,03
Rio d'oro	Apfel-Himbeere	Apfelsaft 43%, Himbeermark 21%, Bananenmark, Birnenmark, Heidelbeermark	3,58 (22,9)	3,65 (23,3)	1,81	0,32	2,33	0,55	0,22	0,02
Schwartau Pur-pur	Mango-Maracuja	Früchte 55% (Mango 26%, Apfel 15%, Bananen 14%) Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten 47%, (Apfel 21%, Orangen mit Zellen 16%, Maracuja %, Limette (keine Angabe))	3,62 (21,4)	3,71 (19,7)	1,28	0,18	1,80	0,41	0,11	0,01
Schwartau Pur-pur	Himbeere-Cassis	Früchte 53%(Bananen 19%, Äpfel 15%, Himbeere 10%, Schwarze Johannisbeere 9%) Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten 47%, (Apfel 25%, roter Traubensaft 17%, Araoniasaft (keine Angabe))	3,44 (20,0)	3,57 (19,6)	1,71	0,24	2,04	0,30	0,16	0,02
Schwartau Fruit-2-day	Himbeere-Granatapfel	Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten (Apfel 42%, Granatapfelsaft 7%, Aronia 1%), Apfelpüree 17%, Bananenpüree 14%, Birnenstückchen 12%, Himbeeren 7%, natürliches Aroma	3,68 (21,4)	3,79 (18,3)	1,62	0,17	2,11	0,19	0,16	0,01
Schwartau Fruit-2-day	Erdbeere-Orange	Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten (Apfel 30%, Orange 15%, Aronia 3%, Acerola 2%), Bananenpüree 15%, Apfelpüree 14%, Erdbeerstückchen 11%, Ananaspüree 4%, Ananasstückchen 4%, Birnenstückchen 1%, natürliches Aroma	3,76 (22,9)	3,80 (24,8)	1,19	0,27	1,83	0,56	0,09	0,01
Schwartau Fruit-2-day	Mango-Pfirsich	Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten (Apfel 36%, weiße Traube 10%, Acerola 2%, Zitrone 2%), Mangopüree 20%, Pfirsichstückchen 14%, Apfelpüree 13%, Pfirsichpüree 3%, Karotensaftkonzentrat, natürliches Aroma	3,68 (21,8)	3,74 (25,4)	1,75	0,16	2,52	0,36	0,20	0,02
Schwartau Fruit-2-day	Himbeere-Boysenbeere	Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten (Apfel 45%, Acerola 2%, schwarze Johannisbeere 1%, Aronia 1%, Zitrone 1%), Bananenpüree 19%, Apfelpüree 13%, Birnenstückchen 7%, Boysenbeeren 5%, Himbeerpüree 4%, Himbeeren 1%, Weizenkleie, Inulin 0,6%, natürliches Aroma	3,70 (20,5)	3,74 (25,0)	1,36	0,16	1,76	0,18	0,11	0,01
Schwartau Fruit-2-day	Kirsche-rote Traube	Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentraten (Apfel 33%, rote Traube 12%, Aronia 2%, Acerola 2%, Zitrone 1%), Bananenpüree 19%, Birnenstückchen 12%, Sauerkirschpüree 11%, Apfelpüree 8%, natürliches Aroma	3,72 (22,2)	3,80 (23,8)	1,84	0,10	2,38	0,16	0,17	0,02
Alnatura	Heidelbeere-Banane	Apfelmark und -saft 74%, Bananenmark 15%, Heidelbeermark 10%, Rote-Beete-Saft 1%	3,68 (19,7)	3,78 (21,0)	2,40	0,59	4,60	0,37	0,31	0,03
Alnatura	Traube-Himbeere	Apfelmark und -saft 52,5%, Traubensaft 20%, Bananenmark 10%, schwarzer Johannisbeersaft 10%, Himbeermark 7,5%	3,30 (20,5)	3,40 (23,3)	2,22	0,93	5,21	2,76	0,28	0,03
Alnatura	Mango-Banane	Apfelmark und -saft 60%, Mangomark 20%, Bananenmark 20%	3,75 (21,4)	3,82 (22,6)	1,42	0,13	2,08	0,25	0,18	0,01
Alnatura	Pfirsich-Mango	Apfelmark und -saft 70%, Orangensaft 15%, Pfirsichmark 10%, Mangomark 5%	3,55 (21,5)	3,66 (22,8)	1,30	0,11	2,14	0,28	0,16	0,01
Alnatura	Beerenfrucht	Apfelmark und -saft 55%, Traubensaft 12%, Himbeermark 10%, Bananenmark 10%, Schwarzer Johannisbeersaft 8%, Schlehenmark 5 %	3,48 (20,1)	3,50 (23,2)	1,28	0,14	2,14	0,48	0,17	0,01

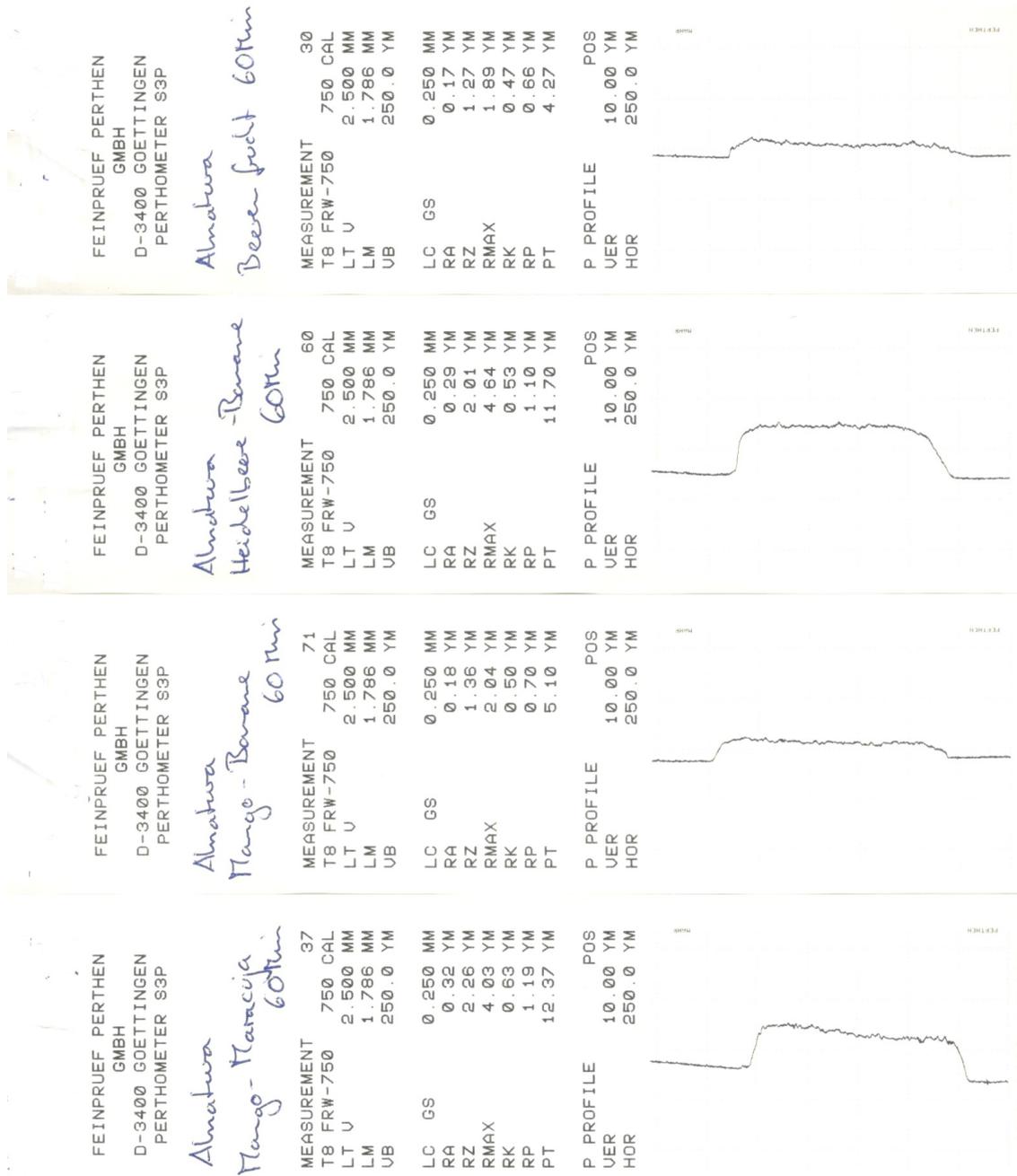
Alnatura	Mango-Maracuja	Apfelmark und -saft 74%, Mangomark 10%, Maracujasaft 10%, Bananenmark 6%	3,41 (20,7)	3,48 (23,5)	2,31	0,19	4,15	0,68	0,31	0,02
Chiquita	Himbeere-Granatapfel	Traubensaft, pürierte Äpfel, pürierte Bananen, Apfelsaft, pürierte Himbeeren 7,5%, pürierte Birnen, pürierter Granatapfel 2%, Zitronensaft	3,61 (20,8)	3,69 (20,9)	1,58	0,06	2,01	0,22	0,16	0,01
Chiquita	Heidelbeere-Cranberry	Traubensaft, pürierte Äpfel, pürierte Bananen, pürierte Heidelbeeren 5%, pürierte Cranberries 5%, pürierte schwarze Johannisbeeren	3,91 (22,8)	3,49 (25,3)	2,15	0,12	3,22	0,56	0,25	0,02
Chiquita	Mango-Passionsfrucht	Apfelsaft, pürierte Äpfel, pürierte Bananen, pürierte Mango 11 %, pürierte Pfirsiche, Orangensaft, Maracujasaft 3,5%	3,71 (22,2)	3,79 (26,0)	1,57	0,30	2,27	1,05	0,16	0,01
Chiquita	Erdbeer-Banane	Pürierte Äpfel, Apfelsaft, pürierte Erdbeeren 17,5%, pürierte Bananen 15,5%, Traubensaft, Orangensaft, pürierte schwarze Johannisbeeren	3,73 (22,9)	3,77 (26,3)	1,41	0,26	1,97	0,27	0,15	0,02
Chiquita	Ananas-Banane	Anasssaft 23%, pürierte Bananen 19%, pürierte Äpfel, Apfelsaft, Orangensaft, pürierte Birnen, pürierte Pfirsiche, Zitronensaft	3,83 (22,7)	3,91 (24,7)	1,50	0,20	2,23	0,19	0,13	0,01
Chiquita	Kokos-Mango	Traubensaft, Apfelsaft, pürierte Äpfel, pürierte Bananen, Kokosmilch 9%, pürierte Pfirsiche, pürierte Mango 3%, Zitronensaft	3,58 (23,9)	3,84 (24,5)	1,74	0,10	2,34	0,08	0,20	0,02
True fruits	red	Traubensaft 44%, Birnenmark 24,5%, Kakaofruchtmark 19,5%, Sauerkirschmark 12%	3,41 (20,2)	3,65 (20,3)	1,43	0,39	2,17	0,83	0,11	0,01
True fruits	Orange+goji	Apfelsaft 49%, Acerolamark 20%, Bananenmark 13%, Mangomark 11%, Gojisaft 7%	3,58 (19,6)	3,66 (22,8)	1,66	0,23	2,44	0,79	0,14	0,00
True fruits	yellow	Orangensaft 25%, Apfelsaft 24%, Bananenmark 20%, Mangomark 16%, Maracujamark 15%	3,49 (21,0)	3,60 (21,9)	1,27	0,15	1,76	0,24	0,14	0,01
True fruits	pink	Apfelsaft 34%, Bananenmark 27%, Himbeermark 24%, Orangensaft 15%	3,47 (21,4)	3,57 (23,6)	1,49	0,09	1,92	0,24	0,14	0,01
True fruits	purple	Apfelsaft 34%, Bananenmark 17%, Orangensaft 15%, Himbeermark 10%, Johannisbeermark 10%, Heidelbeermark 8%, Brombeermark 6%	3,35 (18,7)	3,45 (22,5)	1,47	0,28	2,30	0,50	0,15	0,02
True fruits	white	Apfelsaft 37%, Kokosnussmark 22%, Ananasmark 15%, Bananenmark 14%, Orangensaft 11%, Lemongras 1%	3,70 (19,4)	3,75 (20,7)	1,57	0,20	2,52	0,56	0,18	0,04
True fruits	green	Ananasmark 25%, Apfelsaft 24%, Orangensaft 23%, Bananenmark 12%, Cajumark 12%, Limettensaft 3%, Minze 1%	3,61 (21,6)	3,70 (23,5)	2,16	0,31	3,26	0,44	0,24	0,01
innocent	Orange, Karotte, Mango	23 gepresste weiße Weintrauben, ¼ gepresste Orange 23%, ½ pürierte Banane, ¼ zerdrückte Mango 11%, ¼ gepresste Babykarotte 11%, ein Schuss Zitrone (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,78 (22,5)	3,87 (22,4)	1,11	0,09	2,03	0,45	0,15	0,02
innocent	Ananas, Banane, Kokosnuss	Ananassaft 39%, Bananenpüree 37%, Apfelsaft, Orangensaft, Kokosnussmilch 3%, Zitronensaft	3,92 (21,7)	3,95 (24,7)	1,37	0,37	2,09	0,78	0,12	0,01
innocent	Granatapfel, Heidelbeere, Açai	23 gepresste Weintrauben, ½ pürierte Banane, 1/3 gepresster Granatapfel 13%, 1/3 gepresste Orange, 26 zerdrückte Heidelbeeren 3%, 12 geschälte Acai-beeren 1,4%, ein Spritzer gepresste Zitrone (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,58 (19,7)	3,70 (18,0)	1,21	0,29	1,67	0,38	0,11	0,01
innocent	Apfel, Kiwi, Limette	1 gepresster Apfel 45%, 1 Scheibe gepresste Ananas 26%, ½ zerdrückte Kiwi 17%, 5 zerdrückte Weintrauben 10,3%, 1 Spritzer Limette 1,5 %, Spinat- und Nesselextrakt 0,2% (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,42 (20,1)	3,54 (25,6)	2,07	0,81	3,38	1,38	0,15	0,01
innocent	Apfel, Kirsche, Cranberry	1 gepresster Apfel 55%, 13 gepresste Weintrauben 24,9%, 8 zerdrückte Kirschen 11%, 15 zerdrückte Cranberries 7%, 18 zerdrückte Heidelbeeren 2%, 1 Spritzer Limettensaft 0,1% (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,30 (20,2)	3,45 (25,0)	*	*	*	*	*	*
innocent	Brombeere, Erdbeere, Boysenbeere	2 gepresste Äpfel, ½ pürierte Banane, 12 zerdrückte Himbeeren 15%, 6 zerdrückte Boysenbeeren 10%, 5 zerdrückte Brombeeren 8%, 4 gepresste weiße Weintrauben, ¼ Orange, Zitronensaft (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,48 (23,3)	3,53 (25,4)	*	*	*	*	*	*
innocent	Mango, Maracuja	1 gepresster Apfel 47%, 1/2 zerdrückte Mango 23%, 1/3 pürierte Banane 13%, 1/3 gepresste Orange 11%, 1/2 gepresste Maracuja 5%, 1 Spritzer gepresste Limette 1% (Angabe aus www.das-ist-drin.de)	3,60 (19,5)	3,70 (24,6)	1,87	0,13	2,89	0,60	0,14	0,01
innocent	Kids; Erdbeere, Brombeere, Himbeere	Apfelsaft, Orangensaft, Bananenmark, Traubensaft, Erdbeermark 6%, Brombeermark 4%, Himbeermark 1,6% (Angabe laut www.foodrepo.org)	3,60 (22,3)	3,70 (24,6)	1,76	0,30	2,58	0,40	0,19	0,02

innocent	Erdbeere, Banane	13 zerdrückte Erdbeeren, 2 pürierte Bananen, 1,5 gepresste Äpfel, 28 gepresste Weintrauben, 1 ausgepresste Orange, 1 Spritzer Limettensaft	3,72 (21,1)	3,78 (20,8)	1,42	0,31	2,08	0,64	0,10	0,01
innocent	Blackberries, Strawberries, black Currants	2,5 gepresste Äpfel, 2 pürierte Bananen, 16 gepresste Weintrauben, 93 zerdrückte schwarze Johannisbeeren, 4 zerdrückte Erdbeeren, 11 zerdrückte Brombeeren, ½ gepresste Orange, 1 Schuss Limettensaft	3,41 (18,5)	3,50 (23,0)	2,12	0,24	3,17	0,25	0,22	0,01

Tab. 7.1: Inhaltsstoffe, pH-Werte und Werte der Profilometrie der untersuchten Smoothies

* Smoothies waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht mehr im Handel erhältlich

7.2 Perthometerausdrucke

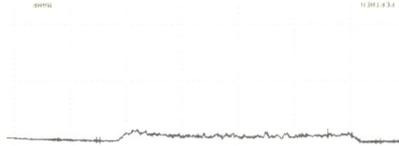


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent 60thin
 Brombeere, Erdbeere
 Johannisbeere

MEASUREMENT 162
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.14 YM
 RZ 1.33 YM
 RMAX 2.00 YM
 RK 0.34 YM
 RP 0.58 YM
 PT 2.78 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM

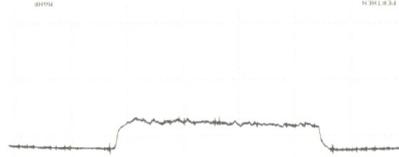


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent 60thin
 blackberries, straw-
 berries, black currants

MEASUREMENT 56
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.24 YM
 RZ 2.17 YM
 RMAX 3.23 YM
 RK 0.41 YM
 RP 1.16 YM
 PT 6.81 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Alnatura
 Trossbe-Himbeere
 60thin

MEASUREMENT 53
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.27 YM
 RZ 2.00 YM
 RMAX 4.47 YM
 RK 0.53 YM
 RP 1.11 YM
 PT 13.84 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM

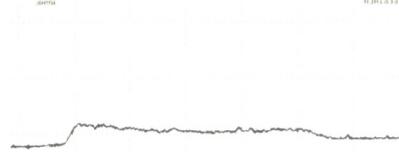


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Alnatura
 Pfirsich-Mango
 60thin

MEASUREMENT 48
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.17 YM
 RZ 1.28 YM
 RMAX 2.21 YM
 RK 0.41 YM
 RP 0.58 YM
 PT 4.52 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



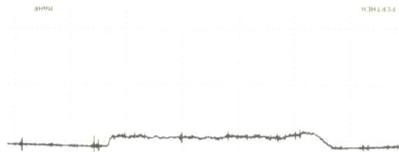
FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent
 Kiwi, apples, limes
 60 Min

MEASUREMENT 24
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
 RA 0.15 YM
 RZ 2.12 YM
 RMAX 3.25 YM
 RK 0.37 YM
 RP 1.05 YM
 PT 4.35 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



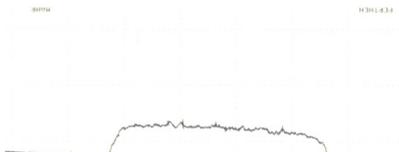
FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent 60 Min
 Kids
 Strawberry, Black-
 berry, Raspberry

MEASUREMENT 170
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
 RA 0.21 YM
 RZ 1.89 YM
 RMAX 2.73 YM
 RK 0.40 YM
 RP 0.93 YM
 PT 7.17 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent
 Granatapfel, Heidelbeere
 Agai
 60 Min

MEASUREMENT 11
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
 RA 0.11 YM
 RZ 1.31 YM
 RMAX 1.66 YM
 RK *****YM
 RP 0.56 YM
 PT 2.04 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

Innocent 60 Min
 Erdbeere - Banane

MEASUREMENT 223
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
 RA 0.09 YM
 RZ 1.43 YM
 RMAX 1.94 YM
 RK 0.24 YM
 RP 0.70 YM
 PT 2.96 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzwald
fruit - 2-day 60Min
Erdbeer-Orange

MEASUREMENT 207
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.09 YM
RZ 1.25 YM
RMAX 1.97 YM
RK 0.26 YM
RP 0.60 YM
PT 2.26 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



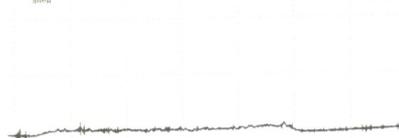
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Innocent
Pineapples, bananas
Coconuts
60 Min

MEASUREMENT 32
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.12 YM
RZ 1.60 YM
RMAX 2.79 YM
RK 0.35 YM
RP 0.73 YM
PT 3.63 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Innocent 60Min
Orange - Kavothe
Mangoes

MEASUREMENT 149
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.04 YM
RMAX 2.00 YM
RK 0.38 YM
RP 0.55 YM
PT 3.31 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Innocent
Mango - Maracaja
60Min

MEASUREMENT 14
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.94 YM
RMAX 2.88 YM
RK 0.35 YM
RP 1.02 YM
PT 4.07 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzwald 60th
Fruit - 2-day
Kango - Pfirsich

MEASUREMENT 124
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.21 YM
RZ 1.79 YM
RMAX 2.78 YM
RK 0.52 YM
RP 0.87 YM
PT 6.48 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



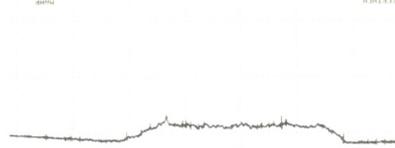
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzwald 60th
Fruit - 2-day
Kirsche - rote Traube

MEASUREMENT 141
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.17 YM
RZ 1.86 YM
RMAX 2.44 YM
RK 0.43 YM
RP 0.75 YM
PT 5.51 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



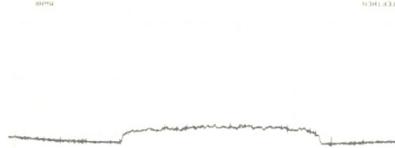
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzwald 60th
Fruit - 2-day
Himbeere - Himbeere

MEASUREMENT 137
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.17 YM
RZ 1.65 YM
RMAX 2.08 YM
RK 0.44 YM
RP 0.79 YM
PT 4.43 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



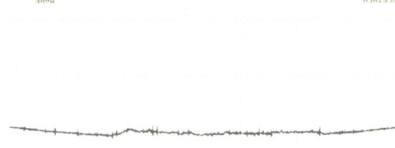
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzwald 60th
Fruit - 2-day
Himbeere - Boysenbeere

MEASUREMENT 214
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.09 YM
RZ 1.39 YM
RMAX 1.86 YM
RK *****YM
RP 0.61 YM
PT 2.33 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



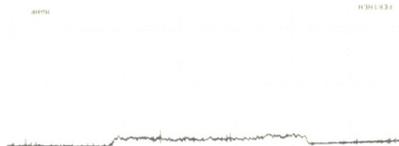
Kentballprobe

FEINPRUEF PERTHEN
GBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits 60th
orange + goji

MEASUREMENT	3
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.14 YM
RZ	1.72 YM
RMAX	2.40 YM
RK	0.37 YM
RP	0.69 YM
PT	3.49 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM

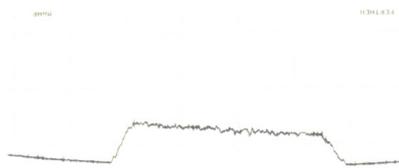


FEINPRUEF PERTHEN
GBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits
green + cajú 60th

MEASUREMENT	192
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.24 YM
RZ	2.06 YM
RMAX	3.20 YM
RK	0.49 YM
RP	0.98 YM
PT	8.48 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzw 60th
pur-pur
Mango - Maracuja

MEASUREMENT	116
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.11 YM
RZ	1.34 YM
RMAX	1.80 YM
RK	***-YM
RP	0.58 YM
PT	1.94 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Schwarzw 60th
pur-pur
Himbeere - Cassis

MEASUREMENT	105
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.15 YM
RZ	1.68 YM
RMAX	2.14 YM
RK	0.43 YM
RP	0.76 YM
PT	3.60 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM



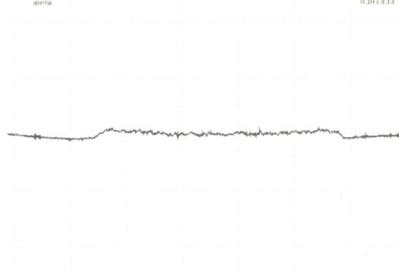
Kontrollprobe

FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits 60th
pink

MEASUREMENT	23
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.14 YM
RZ	1.51 YM
RMAX	1.92 YM
RK	0.41 YM
RP	0.70 YM
PT	2.46 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM



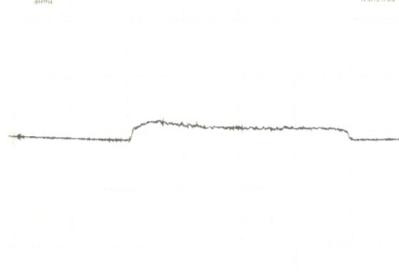
Kontrollprobe

FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits 60th
purple

MEASUREMENT	201
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.15 YM
RZ	1.54 YM
RMAX	2.38 YM
RK	0.35 YM
RP	0.85 YM
PT	4.58 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM

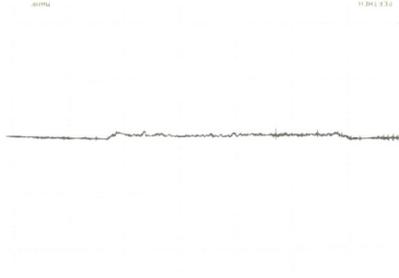


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits 60th
red.

MEASUREMENT	16
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.11 YM
RZ	1.22 YM
RMAX	1.97 YM
RK	0.31 YM
RP	0.53 YM
PT	2.30 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM

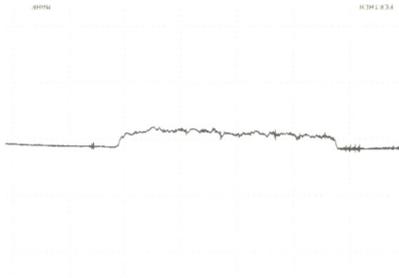


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

tree fruits 60th
white

MEASUREMENT	184
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
UB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.18 YM
RZ	1.59 YM
RMAX	2.12 YM
RK	0.38 YM
RP	0.84 YM
PT	4.67 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM

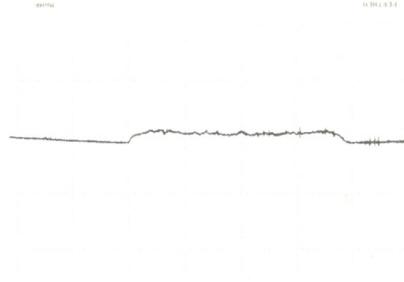


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*trace fruits 60thm
yellow*

MEASUREMENT	178
T8 FRW-750	750 CAL
LT U	2.500 MM
LM	1.786 MM
VB	250.0 YM
LC GS	0.250 MM
RA	0.14 YM
RZ	1.24 YM
RMAX	1.83 YM
RK	*****-YM
RP	0.56 YM
PT	3.27 YM

P PROFILE	POS
UER	10.00 YM
HOR	250.0 YM

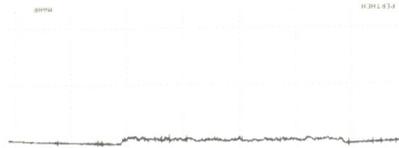


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro 60thin
 Apfel-Himbeere
 + 10% Johnt*

MEASUREMENT 23
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.12 YM
 RZ 1.25 YM
 RMAX 1.56 YM
 RK *****YM
 RP 0.63 YM
 PT 2.29 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM

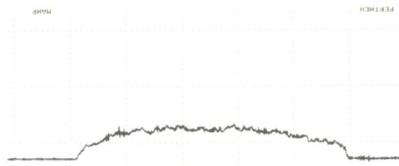


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro
 Apfel-Himbeere
 60thin*

MEASUREMENT 43
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.21 YM
 RZ 1.80 YM
 RMAX 2.23 YM
 RK 0.60 YM
 RP 0.85 YM
 PT 6.93 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM

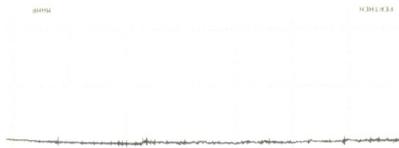


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro 60thin
 Ananas-Banane
 Kokos + 10% Johnt*

MEASUREMENT 16
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.09 YM
 RZ 1.37 YM
 RMAX 1.65 YM
 RK *****YM
 RP 0.55 YM
 PT 1.86 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM

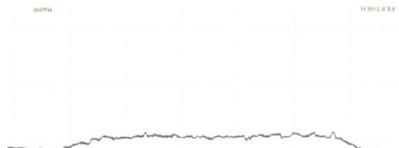


FEINPRUEF PERTHEN
 GMBH
 D-3400 GOETTINGEN
 PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro
 Ananas-Banane-
 Kokos 60thin*

MEASUREMENT 27
 T8 FRW-750 750 CAL
 LT U 2.500 MM
 LM 1.786 MM
 UB 250.0 YM
 LC GS 0.250 MM
 RA 0.15 YM
 RZ 1.22 YM
 RMAX 1.65 YM
 RK 0.46 YM
 RP 0.58 YM
 PT 3.91 YM

P PROFILE POS
 UER 10.00 YM
 HOR 250.0 YM



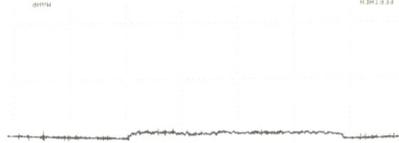
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro Gothen
Mango-Orange
+10% Joghurt*

MEASUREMENT 5
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.11 YM
RZ 1.34 YM
RMAX 1.79 YM
RK *****YM
RP 0.58 YM
PT 2.26 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro Gothen
Mango-Orange*

MEASUREMENT 27
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.60 YM
RMAX 2.49 YM
RK 0.34 YM
RP 0.84 YM
PT 5.10 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



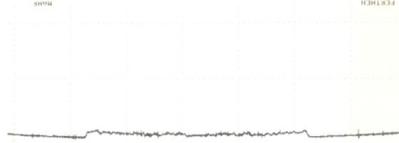
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro Gothen
Kirsch-Banane
+10% Joghurt*

MEASUREMENT 29
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.12 YM
RZ 1.25 YM
RMAX 1.63 YM
RK *****YM
RP 0.55 YM
PT 1.88 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Rio d'oro
Kirsch-Banane
Gothen*

MEASUREMENT 8
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.21 YM
RZ 1.63 YM
RMAX 2.61 YM
RK 0.53 YM
RP 0.73 YM
PT 6.64 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



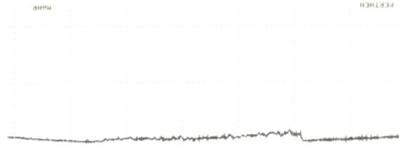
Chiquita

FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Chiquita 60 Min
Erdbeer - Banane
±10% Joghurt

MEASUREMENT 24
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.12 YM
RZ 1.24 YM
RMAX 1.80 YM
RK *****YM
RP 0.56 YM
PT 2.33 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM

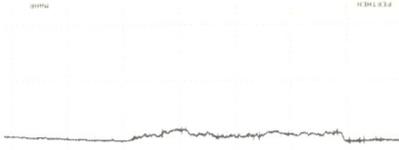


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Chiquita 60 Min
Erdbeer - Banane

MEASUREMENT 74
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.45 YM
RMAX 2.01 YM
RK 0.38 YM
RP 0.72 YM
PT 3.17 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM

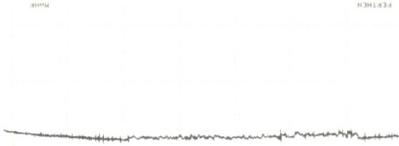


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Chiquita 60 Min
Ananas - Banane
±10% Joghurt

MEASUREMENT 8
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.14 YM
RZ 1.62 YM
RMAX 2.15 YM
RK 0.38 YM
RP 0.76 YM
PT 2.50 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

Chiquita 60 Min
Ananas - Banane

MEASUREMENT 90
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.12 YM
RZ 1.34 YM
RMAX 2.20 YM
RK 0.38 YM
RP 0.61 YM
PT 2.20 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



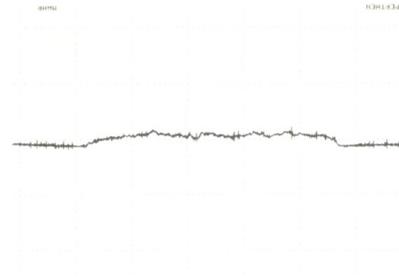
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60 Mini
Himbeere - Granatapfel
+ 10% Joghurt*

MEASUREMENT 40
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.69 YM
RMAX 2.20 YM
RK 0.46 YM
RP 0.79 YM
PT 3.94 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



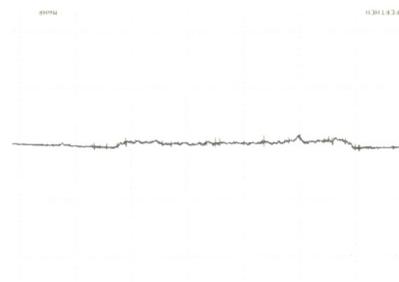
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60 Mini
Himbeere - Granatapfel*

MEASUREMENT 68
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.14 YM
RZ 1.51 YM
RMAX 1.95 YM
RK 0.34 YM
RP 0.61 YM
PT 3.04 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60 Mini
Heidelbeere - Cranberry
+ 10% Joghurt*

MEASUREMENT 30
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.23 YM
RZ 1.86 YM
RMAX 2.44 YM
RK 0.58 YM
RP 0.85 YM
PT 4.10 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



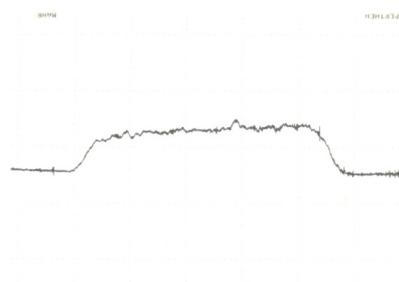
FEINPRUEF PERTHEN
GMBH

D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60 Mini
Heidelbeere - Cranberry*

MEASUREMENT 82
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.250 MM
RA 0.27 YM
RZ 2.21 YM
RMAX 3.27 YM
RK 0.66 YM
RP 0.99 YM
PT 10.44 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH

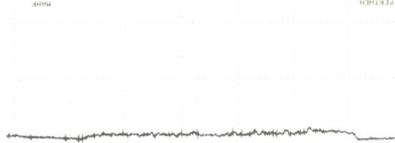
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60th
Mango-Passionsfrucht
+ 10% Joghurt*

MEASUREMENT 46
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.60 YM
RMAX 1.98 YM
RK 0.43 YM
RP 0.81 YM
PT 2.59 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH

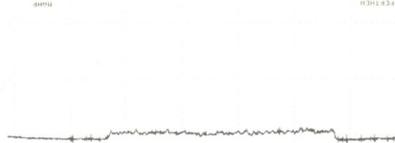
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60th
Mango-Passionsfrucht*

MEASUREMENT 56
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.15 YM
RZ 1.65 YM
RMAX 2.09 YM
RK 0.38 YM
RP 0.78 YM
PT 2.98 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH

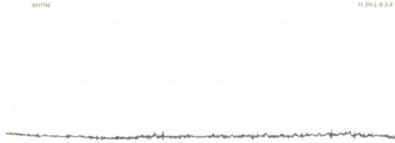
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60th
Kokos-Mango
+ 10% Joghurt*

MEASUREMENT 13
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.11 YM
RZ 1.40 YM
RMAX 1.92 YM
RK *****YM
RP 0.66 YM
PT 2.12 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM



FEINPRUEF PERTHEN
GBH

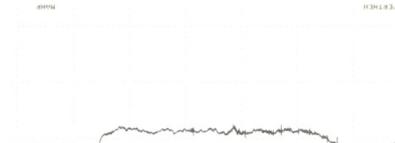
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Chiquita 60th
Kokos-Mango*

MEASUREMENT 99
T8 FRW-750 750 CAL
LT U 2.500 MM
LM 1.786 MM
VB 250.0 YM

LC GS 0.250 MM
RA 0.20 YM
RZ 1.86 YM
RMAX 2.32 YM
RK 0.55 YM
RP 0.90 YM
PT 5.13 YM

P PROFILE POS
UER 10.00 YM
HOR 250.0 YM

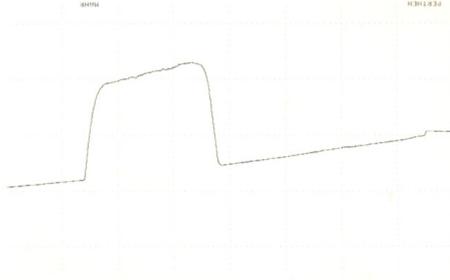


FEINPRUEF PERTHEN
GMBH
D-3400 GOETTINGEN
PERTHOMETER S3P

*Zifone-säure A7.
30 Min.*

MEASUREMENT 1
T8 FRW-750 750 CAL
LT 5.600 MM
LM 4.000 MM
UB 250.0 YM
LC GS 0.800 MM
RA 2.11 YM
RZ 13.14 YM
RMAX 27.71 YM
RK 0.60 YM
RP 6.33 YM
PT 55.91 YM
RT 27.71 YM
R-F *****-YM

P PROFILE POS
UER 25.00 YM
HOR 500.0 YM



7.3 Fettgehalt der getesteten Smoothies

Hersteller	Smoothie	pH	Fettgehalt (g)
true fruits	purple	3,35	0,12
true fruits	Orange + goji	3,58	0,13
true fruits	green	3,61	0,25
true fruits	pink	3,47	<0,1
true fruits	yellow	3,49	<0,1
true fruits	white	3,7	0,8
true fruits	red	3,41	<0,1
rio d`oro	Ananas-Banane-Kokos	4,06	2,5
rio d`oro	Apfel-Himbeere	3,58	0,2
rio d`oro	Kirsche-Banane	3,59	0,1
rio d`oro	Mango-Orange	3,72	0,3
Schwartau Fruit-2-day	Mango-Orange	3,74	keine Angabe
Schwartau Fruit-2-day	Himbeere-Boysenbeere	3,7	0,2
Schwartau Fruit-2-day	Mango-Pfirsich	3,68	0,2
Schwartau Fruit-2-day	Kirsche-Rote Traube	3,72	keine Angabe
Schwartau Fruit-2-day	Erdbeere-Orange	3,76	0,1
Schwartau Fruit-2-day	Himbeere-Granatapfel	3,68	0,2
Schwartau pur-pur	Himbeere-Cassis	3,44	keine Angabe
Schwartau pur-pur	Mango-Maracuja	3,62	keine Angabe
Alnatura	Traube-Himbeere	3,3	0,01
Alnatura	Heidelbeere-Banane	3,68	0,1
Alnatura	Beerenfrucht	3,48	0,1
Alnatura	Mango-Maracuja	3,41	0,1
Alnatura	Mango-Banane	3,75	0,1
Alnatura	Pfirsich-Mango	3,55	0,08
Innocent	Kids, Erdbeere-Brombeere-Himbeere	3,6	keine Angabe
Innocent	Mango-Maracuja	3,6	0,1
Innocent	Apfel-Kirsche-Cranberry	3,3	keine Angabe
Innocent	Kokos-Banane-Ananas	3,92	1,2
Innocent	Orange Karotte Mango	3,78	0,1
Innocent	Brombeere Erdbeere Boysenbeere	3,48	keine Angabe
Innocent	Kiwi-Apfel-Limette	3,42	<0,1
Innocent	Granatapfel-Heidelbeere-Acai	3,58	0,2
Innocent	Brombeere Erdbeere Johannisbeere	3,44	keine Angabe
Innocent	Erdbeere-Banane	3,72	0,1
Innocent	Blackberries Strawberries black Currants	3,41	keine Angabe
Chiquita	Heidelbeere-Cranberry	3,91	keine Angabe
Chiquita	Ananas-Banane	3,83	keine Angabe
Chiquita	Erdbeer-Banane	3,73	keine Angabe

Chiquita	Mango-Passionsfrucht	3,71	keine Angabe
Chiquita	Himbeere-Granatapfel	3,61	keine Angabe
Chiquita	Kokos-Mango	3,58	keine Angabe

Tab. 7.2: Herstellerangaben zum Fettgehalt der untersuchten Smoothies

8 Literaturverzeichnis

1. Absy EG, Addy M, Adams D: Dentine hypersensitivity. The effects of toothbrushing and dietary compounds on dentine in vitro: a SEM study. *J Oral Rehabil* 19: 101-110 (1992)
2. Addy M, Shellis RP: Interaction between Attrition, Abrasion and Erosion in Tooth Wear. *Monogr Oral Sci* 20: 17-31 (2006)
3. Ali H, Tahmassebi JF: The effects of smoothies on enamel erosion: an in situ study. *Int Journal of Pediatric Dentistry* 24: 184-191 (2014)
4. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM, Milosevic A: Thickness of acquired salivary pellicle as a determinant of the sites of dental erosion. *J Dent Res* 78: 1821-1828 (1999)
5. Atkins PW, De Paula J: *Physikalische Chemie*, 5. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim 2013, 242-252 de.wikipedia.org/wiki/Nernst-Gleichung, Zugriff am 05.06.2019
6. Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller HG, Kielbassa AM, Hellwig E: Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 42: 243-250 (1997)
7. Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon AM: Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Arch Oral Biol* 48: 753-759 (2003)
8. Attin T, Weiss K, Becker K, Buchalla W, Wiegand A: Impact of modified acidic soft drinks on enamel erosion. *Oral Dis* 11: 7-12 (2005)
9. Austin RS, Giusca CL, Macaulay G, Moazzez R, Bartlett DW: Confocal laser scanning microscopy and area-scale analysis used to quantify enamel surface textural changes from citric acid demineralization and salivary remineralization in vitro. *Dental Materials* 32: 278-284 (2016)
10. Bächle C: Fruchtojoghurt?! Vorsicht der Schein trügt (2011); <http://www.ernaehrung.de/blog/fruchtojoghurt-vorsicht-der-schein-truegt/>; Zugriff am 26.08.2011
11. Bahadir M, Parlar H, Spiteller M: *Springer Umweltlexikon*; Springer Verlag Heidelberg, Berlin, New York, 1995, 828
12. Barbour ME, Parker DM, Allen GC, Jandt KD: Human enamel erosion in constant composition citric acid solutions as a function degree of saturation with respect to hydroxyapatite. *J Oral Rehabil* 32: 16-21 (2005)
13. Bartlett D: Intrinsic Causes of Erosion. *Monogr Oral Sci* 20: 119-139 (2006)
14. Bartlett DW, Blunt L, Smith BGN: Measurement of tooth wear in patients with palatal erosion. *Brit Dental J* 182: 179-184 (1997)
15. Bartlett DW, Bureau GP, Anggiansah A: Evaluation of the pH of a new carbonated soft drink beverage: an in vivo investigation. *J Prosthodont* 12: 21-25 (2003)

16. Beiraghi S, Atkins S, Rosen S, Wilson S, Odom J, Beck M: Effect of calcium lactate in erosion and *S. mutans* in rats when added to Coca-Cola. *Pediatr Dent* 11: 312-315 (1989)
17. Belitz HD, Grosch W, Schieberle P: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 6. Auflage, Springer Berlin/Heidelberg 2008, 468; <https://de.wikipedia.org/wiki/Komplexbildner>, Zugriff am 06.06.2019
18. Biermann BE: Die Beeinflussung der Schmelzstruktur durch laseraktive Bleichverfahren – eine In-vitro-Studie. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn 2009, 38
19. Blacker SM, Chadwick RG: An in vitro investigation of the erosive potential of smoothies. *British Dental Journal* 214: Online article number E8 (2013), Zugriff am 19.05.2019
20. Burak N, Kaidonis JA, Richards LC, Townsend GC: Experimental studies of human dentine wear. *Arch Oral Biol* 44: 885-885 (1999)
21. Cairns AM, Watson M, Creanor SL, Roye RH: The pH and titrable acidity of a range of diluting drinks and their potential effect on dental erosion. *J Dent* 30: 313-7 (2002)
22. Centerwall BS, Armstrong CW, Funkhouser LS, Elzay RP: Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool. *Am J Epidemiol* 123: 641-647 (1986)
23. Chikte UM, Naidoo S, Kolze TJ, Groble SR: Patterns of tooth surface loss among winemakers. *SA D J* 60: 370-374 (2005)
24. Christensen CM, Navazesh M: Anticipatory salivary flow to the sight of different foods. *Appetite* 5: 307-315 (1984)
25. Chuenarrom C, Benjakul P: Comparison between a profilometer and a measuring microscope for measurement of enamel erosion. *J Oral Sci* 50: 475-479 (2008)
26. Dawes C, Kubieniec K: The effects of prolonged gum chewing on salivary flow rate and composition. *Arch Oral Biol* 49: 665-669 (2004)
27. Dawes C: Physiological factors affecting salivary flow rate, oral sugar clearance, and sensation of dry mouth in man. *J Dent Res* 66: 648-653 (1987)
28. DGE e.V.: Smoothies in aller Munde. Wie gut ist das Obst und Gemüse aus der Flasche? DGE-aktuell 08/2008 vom 29.07.2008, www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=850; Zugriff am 03.10.2008
29. Deutsches Institut für Normung: DIN 4760: 1982-06
30. Dodds MW, Johnson DA, Yeh CK: Health benefits of saliva: a review. *J Dent* 33: 223-233 (2005)
31. Duxbury AJ: Ecstasy – Dental Implications. *Br Dent J* 175: 38 (1993)
32. Dyer D, Addy M, Newcombe RG: Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol* 27: 99-103 (2000)

33. Eisenburger M, Addy M, Hughes JA, Shellis RP: Effect of time on the remineralisation of enamel by synthetic saliva after citric acid erosion. *Caries Res* 35: 211-215 (2001)
34. Engelen L, de Wijk RA, Prinz JF, van der Bilt A, Bosmann F: The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts. *Physiol Behav* 78: 165-169 (2003)
35. Engineering ToolBox, (2003). Food and Foodstuff - pH Values. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/food-ph-d_403.html (2019); Zugriff am 24.06.19
36. Featherstone JDB, Duncan JF, Cutress TW: A mechanism for dental caries based on chemical process and diffusion phenomena during in vitro caries simulation on human tooth enamel. *Arch Oral Biol* 24: 101-112 (1979)
37. Featherstone JDB, Lussi A: Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci* 20: 66-67 (2006)
38. Featherstone JDB: The science and practice of caries prevention. *J Am Dent Assoc* 131: 887-899 (2000)
39. Mahr GmbH: Feinprüf Perthen, Göttingen, Deutschland: Betriebsanleitung für Perthometer S3P, 4, 15.05.1992
40. Ferguson DB: Salivary glands and saliva; in Lavelle CLB (eds): *Applied Physiology of the Mouth*. Bristol, John Wright, 1975, 145-179
41. Fredenburg M: Is pineapple juice acid or alkaline. <https://www.livestrong.com/article/482962-is-pineapple-juice-acid-or-alkaline/>, 2019; Zugriff am 24.06.2019
42. Ganss C, Lussi A: Diagnosis of erosive tooth wear. *Monogr Oral Sci* 20: 32-43 (2006)
43. Ganss C, Lussi A, Scharmann I, Weigelt T, Hardt M, Klimek J, Schlueter N: Comparison of calcium analysis, longitudinal microradiography and profilometry for the quantitative assessment of erosion in dentine. *Caries Res* 43: 422-429 (2009)
44. Geurtsen W: Rapid general dental erosion by gas-chlorinated swimming pool water: review of the literature and case report. *Am J Dent* 13: 291-293 (2000)
45. Glantz PO, Baier RE, Christersson CE: Biochemical and physiological considerations for modeling biofilms in the oral cavity: a review. *Dent Mater* 12: 208-214 (1996)
46. Wikipedia 2019: "Glaselektrode". Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand 27.07.2018, <https://de.wikipedia.org/wiki/Glaselektrode>; Zugriff am 19.12.2019
47. Grando LJ, Tames DR, Carsoso AC, Gabilan NH: In vitro study of enamel erosion caused by soft drinks and lemon juice in deciduous teeth analyzed by stereomicroscopy and scanning electron microscopy. *Caries Res* 30: 373-378 (1996)

48. Gray A, Ferguson MM, Wall JG: Wine tasting and dental erosion. Case report. *Aust Dent J* 43: 32-34 (1998)
49. Gray JA: Kinetics of the dissolution of human dental enamel in acid. *J Dent Res* 41: 633-645 (1962)
50. Grenby TH: Lessening dental erosive potential by product modification. *Eur J Oral Sci* 104: 221-228 (1996)
51. Haber K: Natur und Technik: Beschreibungen und Dokumentationen zu ausgewählten Themen (2007), www.bingo-ev.de/~kh3515/phmess.html; Zugriff am 15.12.2008
52. Hanning C, Hamkens A, Becker K, Attin R, Attin T: Erosive effects of different acids on bovine enamel: release of calcium and phosphate in vitro. *Arch Oral Biol* 50: 541-552 (2005)
53. Hanning C, Hanning M, Attin T: Enzymes in the acquired enamel pellicle. *Eur J Oral Sci* 113: 2-13 (2005)
54. Hanning M, Balz M: Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res* 33: 372-379 (1999)
55. Hanning M, Balz M: Protective properties of salivary pellicles from two different intraoral sites on enamel erosion. *Caries Res* 35: 142-148 (2001)
56. Hanning M, Fiebinger M, Guntzer M, Dobert A, Zimehl R, Nekrashevych Y: Protective effect of the in situ formed short-term salivary pellicle. *Arch Oral Biol* 49: 903-910 (2004)
57. Hanning M: Ultrastructural investigation of pellicle morphogenesis at two different intraoral sites during a 24-h period. *Clin Oral Investig* 3: 88-95 (1999)
58. Hara AT, Ando M, González-Cabezas C, Cury JA, Serra MC, Zero DT: Protective effect of the acquired enamel pellicle against different erosive challenges in situ. *Caries Res* 38: 390 (2004)
59. Hara AT, Lussi A, Zero DT: Biological factors. *Monogr Oral Sci* 20: 88-99 (2006)
60. Hellwig E, Lussi A: Oral hygiene products and acidic medicines, *Monogr Oral Sci* 20: 112-118 (2006)
61. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag, 2009, 5. Aufl.: 3-5
62. Henzold G.: Form und Lage, Beuth Berlin, 2011, 39-43
63. Holloway PJ, Mellanby M, Stewart RJC: Fruit drinks and tooth erosion. *Br Dent J* 104: 305-309 (1958)
64. Hugo B, Stassinakis A, Hofmann N, Starz C, Klaiber B: Oberflächenrauigkeit und Substanzabtrag bei sonoabrasiver Präparation. *Acta Med Dent Helv* 4: 117-124 (1999)
65. Gerold A, Läger P, Stark G: Physikalische Chemie und Biophysik, 5. Auflage Springer Berlin/Heidelberg (2009), 328-329
de.wikipedia.org/wiki/Nernst-Gleichung, Zugriff am 05.06.2019

66. Imfeld T: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 104: 151-155 (1996)
67. Ireland AJ, McGuinness N, Sherriff M: An investigation into the ability of soft drinks to adhere to enamel. *Caries Res* 29: 470-476 (1995)
68. Jaeggi T, Lussi A: Erosionen bei Kindern im frühen Schulalter. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114: 876-881 (2004)
69. Jaeggi T, Lussi A: Prevalence, incidence and distribution of Erosion. *Monogr Oral Sci* 20: 44-65 (2006)
70. Jaeggi T, Schaffner M, Bürgin W, Lussi A: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 109: 1171-1178 (1999)
71. Jander G, Jahr KF, Schulze G: Maßanalyse, de Gruyter Berlin 2003, 212-215; <https://de.wikipedia.org/wiki/Komplexbildner>; Zugriff am 06.06.2019
72. Jarvinen V, Meurman JH, Hyvarinen H, Rytomaa I, Murtomaa H: Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 65: 298-303 (1988)
73. Jarvinen VK, Rytomaa II, Heinonen OP: Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 70: 942-947 (1991)
74. Kaifu Y, Kasai K, Townsend GC, Richards LC: Tooth wear and the „design“ of the human dentition: a perspective from evolutionary medicine. *Yearb Phys Anthropol* 46: 47-61 (2003)
75. Khan F, Young WG, Law V, Priest J, Daley TJ: Cupped lesions of early onset dental erosion in young southwest Queensland adults. *Aust Dent J* 46: 100-107 (2001)
76. Kratz L: Die Glaselektrode und ihre Anwendungen: Frankfurt 1950 (Steinkopff), <http://de.wikipedia.org/wiki/Glaselektrode>; Zugriff am 19.05.2009
77. Larsen IB, Westergaard J, Stoltze K, Larsen AI, Gyntelberg F, Holmstrup P: A clinical index for evaluating and monitoring dental erosion. *Community Dent Oral Epidemiol* 28: 211-217 (2000)
78. Larsen MJ, Nyvad B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 33: 81-87 (1999)
79. Larsen MJ, Pearce EI: Saturation of human saliva with respect to calcium salts. *Arch Oral Biol* 48: 317-322 (2003)
80. Larsen MJ, Poulsen S, Hansen I: Erosion of the teeth: prevalence and distribution in a group of Danish school children. *Eur J Paediatr Dent* 6: 44-47 (2005)
81. Larsen MJ, Richards A: Fluoride is unable to reduce dental erosion from soft drinks. *Caries Res* 36: 75-80 (2002)
82. Larsen MJ: Dissolution of enamel. *Scand J Dent Res* 81: 581-522 (1973)
83. Lee VM, Linden RW: An olfactory-submandibular salivary reflex in humans. *Exp Physiol* 77: 221-224 (1992)

84. Lendenmann U, Grogan J, Oppenheim FG: Saliva and dental pellicle: a review. *Adv Dent Res* 14: 22-28 (2000)
85. Lokin PA., Huysmans MC: Is Dutch swimming pool water erosive? *Ned Tijdschr Tandheelkd* 111: 147-148 (2004)
86. Ludwig T: REM kurzes Skriptum, Kapitel 4 Rasterelektronenmikroskop (2017) <https://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~hb6/labor/rem/REM-kurzes-Skriptum.pdf>; Zugriff am 30.06.2017
87. Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: Dental erosion in a population of Swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 19: 286-290 (1991)
88. Lussi A, Jaeggi T, Schaerer S: The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 27: 387-393 (1993)
89. Lussi A, Jaeggi T, Jaeggi-Schärer S: Prediction of the erosive potential of some beverages. *Caries Res* 29: 349-354 (1995)
90. Lussi A, Schaffner M: Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period. *Caries Res* 34: 182-187 (2000)
91. Lussi A, Jaeggi T: The erosive potential of various oral care products compared to foodstuffs and beverages. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 111: 274-281 (2001)
92. Lussi A, Jaeggi T, Zero D: The role of diet in the aetiology of dental erosion. *Caries Res* 38 (suppl 1) 34-44 (2004)
93. Lussi A, Schaffner M, Jaeggi T, Grüniger A: Erosionen – Befund-Diagnose-Risikofaktoren-Prävention-Therapie. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 115, 917-935 (2005)
94. Lussi A, Jaeggi T: Chemical Factors. *Monogr Oral Sci*, 20: 77-78 (2006)
95. Lussi A, Schaffner M, Jaeggi T: Erosionen: Befund, Diagnose, Risikofaktoren, Prävention. *Zahnärztl Mitt* 97: 38-46 (2007)
96. Lussi A, Jaeggi T: Erosion – diagnosis and risk factors, *Clin Oral Invest* 12 (Suppl. 1): 5–13 (2008)
97. Lussi A, Ganß C, Jaeggi T: Diagnostik von Erosionen, in Lussi A und Jaeggi T: *Dentale Erosionen – Von der Diagnose zur Therapie*, Quintessenz Verlag, 2009: 3-18
98. Lussi A, Jaeggi T: *Dentale Erosionen – Von der Diagnose zur Therapie*, in Lussi A und Jaeggi T: *Dentale Erosionen – Von der Diagnose zur Therapie*, Quintessenz Verlag, Berlin, 2009, 47
99. Mahoney E, Beattie J, Swain M, Kilpatrick N: Preliminary in vitro assessment of erosive potential using the ultra-micro-indentation system. *Caries Res* 37: 218-224 (2003)
100. Mair LH: Wear in the mouth: the tribological dimension; in Addy M, Embery G, Edgar W.M., Orchardson R (eds): *Tooth Wear and Sensitivity*. London, Martin Dunitz, 2000, 181-188
101. Magalhães A C, Levy F M, Souza B M, Cardoso C A B, Cassiano L P, Pessan J P, Buzalaf M A R: Inhibition of tooth erosion by milk containing dif-

- ferent fluoride concentrations: An in vitro study, *Journal of Dentistry* 24: 498-502 (2014)
102. Malcolm D, Paul E: Erosion of the teeth due to sulphuric acid in the battery industry, *Br J Ind Med*, 18: 63-69 (1961)
 103. Malyk Y, Kaaden C, Hickel R, Ilie N: Analysis of resin tags formation in root canal dentine: a cross sectional study. *International Endodontic Journal* 43: 47-56 (2010)
 104. Martin P: Review of Ion-based methods for optical thin film deposition. *J Mat Sci* 21: 1-25 (1986)
 105. Mathew T, Casamassimo PS, Hayes JR: Relationship between sports drinks and dental erosion in 304 university athletes in Columbus, Ohio, USA, *Caries Res* 36: 281-287 (2002)
 106. Matissek R, Schnepel F, Steiner G: *Lebensmittelanalytik: Grundzüge, Methoden, Anwendungen*. Springer-Verlag, 1. Auflage, 1989, 256-258, 318, 319
 107. Maupomé G, Diez-de-Bonilla J, Torres-Villasenor G, Andrade-Delgado L, Castano VM: In vitro quantitative assessment of enamel microhardness after exposure to eroding immersion in cola drink. *Caries Res*, 32: 148-153 (1998)
 108. Maurer J: *Lebensqualität und Xerostomie bei Plattenepithelkarzinomen der Kopf-Hals-Region: Dissertation Medizin Uni Regensburg*, 2010, 29
 109. Metrohm AG, Zofingen, Schweiz: <http://katalog.metrohm.ch/prod-60258600-1.aspx>; Zugriff am 24.04.2009
 110. Meurman JH, Frank RM: Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res*, 25: 1-6 (1991)
 111. Meurman JH, Härkönen M, Näveri H, Koskinen J, Torkko H, Rytömaa I, Järvinen V, Turunen R: Experimental sports drinks with minimal dental erosion effect. *Scand J Dent Res*, 98: 120-128 (1990)
 112. Meurman JH, Toskala J, Nuutinen P, Klemetti E: Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 78: 583-589 (1994)
 113. Meurman JH, ten Cate JM: Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. *Eur J Oral Sci* 104: 199-206 (1996)
 114. Meurman JH, Sorvari R, Peltari A, Rytömaa I, Franssila S, Kroon L: Hospital mouth-cleaning aids may cause dental erosion. *Spec Care Dentist* 16: 247-50 (1996)
 115. Miller CD: Enamel erosive properties of fruits and various beverages. *J Am Diet Assoc* 28: 319-324 (1952)
 116. Miller CD: Enamel erosive properties of fruits and various beverages. *J. Am Diet Assoc*, 28: 319-324 (1952)
 117. Miller WD: Experiments and observations on the wasting of tooth tissue erroneously designated as erosion, abrasion, denudation, etc., *Dent Cosmos*, 49: 109-124 (1907)

118. Millward A, Shaw L, Smith A: Dental erosion in four-year-old children from differing socioeconomic backgrounds. *J Dent Child* 61: 263-266 (1994)
119. Mistry M, Grenby TH: Erosion by soft drinks of rat molar teeth assessed by digital image analysis. *Caries Res* 27: 21-25 (1993)
120. Neville BW, Damm D, Allen C, Bouquot J: Tooth wear. *Oral & Maxillofacial Pathology*. Second edition: 54-56 (2002)
[http://en.wikipedia.org/wiki/Attrition_\(dental\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Attrition_(dental)); Zugriff am 22.02.2011
121. Nieuw Amerongen AV, Oderkerk CH, Driessen AA: Role of mucins from human whole saliva in the protection of tooth enamel against demineralization in vitro. *Caries Res*, 21: 297-309 (1987)
122. Nunn JH, Gordon PH, Morris AJ, Pine CM, Walker A: Dental erosion – changing prevalence? A review of British national childrens`surveys. *Int J Peadiatr Dent*. 13: 98-105 (2003)
123. Paschos E, Geiger F-J, Malyk Y, Rudzki I, Wichelhaus A, Ilie N: Efficacy of four preventive measures against enamel demineralization at the bracket periphery – comparison of microhardness and confocal laser scan microscopy analysis. *Clin Oral Invest* 20: 1355- 1366 (2016)
124. Phaneuf EA, Harrington JH, Dale PP, Shaklar G: Automatic toothbrush: a new reciprocating action. *J Am Dent Assoc* 65: 12-25 (1962)
125. Pohl-Boskamp: Patienteninformation - Was, wenn die Spucke wegbleibt? Pohl-Boskamp (2005), Zugriff am 30.03.2009
126. Radiometer Analytical SAS: Titration Theorie und Praxis. France, 2002 (5)
www.igz.ch/puebersicht.asp?action=download&fileid=8271; Zugriff am 03.03.2012
127. Rees J, Huges J, Innes C: An in vitro assessment of erosive potential of some white wines. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 10: 37-42 (2002)
128. Remijn B, Koster P, Houthuus C, Boleij J, Willems H, Brunekreef B, Biersteker K, van Loveren C: Zinc chloride, zinc oxide, hydrochloric acid exposure and dental erosion in a zine galvanizing plant in the Netherlands. *Ann Occup Hyg* 25: 299-307 (1982)
129. Ren F, Qingzhi Z, Malmstrom H, Barnes V, Xu T: Assessing fluoride treatment and resistance of dental enamel to soft drink erosion in vitro: Applications of focus variation 3D scanning microscopy and stylus profilometrie. *J Dent* 37: 167-176 (2009)
130. Restarski JS, Gortner RA, McCay CM: Effect of acid beverages containing fluorides upon the teeth of rats and puppies. *J Am Dent Assoc* 32: 668-675 (1945)
131. Rytömaa I, Jarvinen V, Kanerva R, Heinonen OP: Bulimia and tooth erosion. *Acta Odontol Scand*, 56: 36-40 (1998)
132. Rytömaa I, Meurman JH, Franssila S, Torkko H: Oral hygiene products may cause dental erosion. *Proc Finn Dent Soc* 85: 161-166 (1989)
133. Rytömaa I, Meurman JH, Koskinen J, Laakso T, Gharazi L, Turunen R: In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other food-stuffs. *Scand J Dent Res* 96: 324-333 (1988)

134. Saksena R, Bartlett DW, Smith BG: The role of saliva in regurgitation erosion. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 7: 121-124 (1999)
135. Sander C, Sander FM, Wiethoff HC, Sander FG: Abrasionswerte im Vergleich. *Zahnärztl Mitt* 7: 44-50 (2005)
136. Sarkar RBC, Chauhan UPS: A new method for determining microquantities of calcium in biological materials. *Anal Biochem* 20: 155-166 (1967)
137. Schiffner U, Micheelis W, Reich E: Erosionen und keilförmige Zahnhalsdefekte bei deutschen Erwachsenen und Senioren. *Deutsche Zahnärztl Z* 57: 102-106 (2002)
138. Schlueter N, Hara A, Shellis RP, Ganss C: Methods for the measurement and characterization of erosion in enamel and dentine. *Caries Res* 45 (Suppl 1) 13-23 (2011)
139. Schupbach P, Oppenheim FG, Lendenmann U, Lamkin MS, Yao Y, Guggenheim B: Electronmicroscopic demonstration of proline-rich proteins, statherin, and histatins in acquired enamel pellicles in vitro. *Eur J Oral Sci* 109: 60-68 (2001)
140. Skjorland KK, Rykke M, Sonju T: Rate of pellicle formation in vivo. *Acta Odontol Scand* 53: 358-362 (1995)
141. Smith BG, Knight JK: An index for measuring the wear of teeth. *Br Dent J* 156: 435-438 (1984)
142. Sognaes RF, Wolcott RB, Xhonga FA: Dental erosion. I. Erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions. *J Am Dent Assoc* 84: 571-576 (1972)
143. Sorvari R, Meurman JH, Alakuijala P, Frank RM: Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 28: 227-232 (1994)
144. Sorvari R, Pelttari A, Meurman JH: Surface ultrastructure of rat molar teeth after experimentally induced erosion and attrition. *Caries Res* 30: 163-168 (1996)
145. Souci SW, Fachmann W, Kraut H: *Lebensmitteltabelle für die Praxis*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart: bearbeitet von Senser F, Scherz H, Kirchhoff E, (2009) 4. Aufl.; S. 342, 348, 349, 351, 360 – 365, 369, 371, 372, 274, 380, 382, 400, 417
146. Stephan RM: Effects of different types of human foods on dental health in experimental animals. *J Dent Res* 45: 1551-1561 (1966)
147. Stiftung Warentest: Bestenfalls zweite Wahl. Flüssige Früchte. Berlin, November 2008, 26-32
148. Stiftung Warentest: Kokosmilch: Exotischer Sahneersatz. Berlin, Februar 2009, www.test.de/Kokosmilch-Exotischer-Sahneersatz-1758234-0/, Zugriff am 25.04.2013
149. Sullivan RE, Kramer WS: Iatrogenic erosion of teeth. *J Dent Child* 50: 192-196 (1983)
150. Tahmassebi JF, Kandiah P, Sukeri S: The effects of fruit smoothies on enamel erosion. *Eur Arch Pediatr Dent* 15: 175-181 (2013)

151. ten Bruggen Cate HJ: Dental erosion in industry. *Br J Ind Med* 25: 249-266 (1968)
152. Tschernin M: Oberflächeneigenschaften von Zahnrestaurationsmaterialien. Dissertation, LMU-München, 2003, 34, 40, 41; https://edoc.ub.uni-muenchen.de/1540/1/Tschernin_Maksim.Pdf; Zugriff am 25.10.2010
153. Tsotsoria M: De- und Remineralisation unter Anwesenheit von antibakteriellen Füllungswerkstoffen. Dissertation, LMU-München, 2012, 50; https://edoc.ub.uni-muenchen.de/14346/1/Tsotsoria_Mzekala.pdf; Zugriff am 14.05.2014
154. Tulek A, Saeed M, Mulic A, Stenhagen KR, Utheim TP, Galtung HK, Khuu C, Nirvani M, Kristiansen MS, Sehic A: New animal model of extrinsic dental erosion – Erosive effect on the mouse molar teeth. *Archives of Oral Biology* 96: 137-145 (2018)
155. Tuominen ML, Tuominen RJ, Fubasa F, Mgalula N: Tooth surface loss and exposure to organic and inorganic acid fumes in workplace air. *Community Dent Oral Epidemiol* 19: 217-220 (1991)
156. Verband der Keramischen Industrie e. V.: Brevier Technische Keramik (2003) www.keramverband.de/brevier_dt/10/5/4/10_5_4.htm, Zugriff am 10.06.2019
157. Vitkov L, Hanning M, Nekrashevych Y, Krautgartner WD: Supramolecular pellicle precursors. *Eur J Oral Sci* 112: 320-325 (2004)
158. Volk R: Rauheitsmessung Theorie und Praxis. Beuth Verlag GmbH, 2005, 20, 21, 23, 24
159. West NX, Hughes JA, Addy M: The effect of pH on the erosion of dentine and enamel by dietary acids in vitro. *J Oral Rehabil* 28: 860-864 (2001)
160. West NX, Maxwell A, Huges JA, Parker DM, Newcombe RG, Addy M: A method to measure clinical erosion: the effect of orange juice consumption on erosion of enamel. *J Dent* 26: 329-335 (1998)
161. Wiktorsson AM, Zimmermann M, Angmar-Mansson B: Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish winetasters. *Eur J Oral Sci* 105: 544-550 (1997)
162. Wilhelm S, Gröbler B, Gulch M, Heinz H: Die konfokale Laser Scanning Mikroskopie – Grundlagen. Carl Zeiss Mikroskopiesysteme, Jena (2019); www.zeiss.de/lsm; Zugriff am 20.05.2019
163. <https://www.yazio.com/de/kalorientabelle/kokosnuss-fleisch-getrocknet-ungesuesst.html>, Yazio GmbH Erfurt, BRD, Geschäftsführer Weißenstein F, Weber S; Quellen: USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Nährwertinformationen auf Hersteller-Webseiten, Nährwertinformationen auf Lebensmittelverpackungen, Zugriff am 25.08.2014
164. Yeh CK, Johnson DA, Dodds MW, Sakai S, Rugh JD, Hatch JP: Association of salivary flow rates with maximal bite force. *J Dent Res* 79: 1560-1565 (2000)
165. Young AR, Rykke M, Rölla G: On the nature of the acquired enamel pellicle in Addy M, Embery G, Edgar W.M., Orchardson R (eds): *Tooth Wear and Sensitivity*. London, Martin Dunitz, 2000, 29-38

166. Young WG, Khan F: Sites of dental erosion are saliva-dependent. *J Oral Rehabil* 29: 35-43 (2002)
167. 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* 57: 940-946 (1978)
168. Zahradnik RT, Propas D, Moreno EC: In vitro enamel demineralization by *streptococcus mutans* in the presence of salivary pellicles. *J Dent Res* 56: 1107-1110 (1977)
169. Zeeck A, Grond S, Papastavrou I, Zeeck SC: *Chemie für Mediziner*. Herausg: Zeeck A, Elsevier-Verlag, 6. Aufl., 2005, 97-121, 139
170. Zero DT, Barillas I, Hayes AL, Fu J, Li H: Evaluation of an intraoral model for the study of dental erosion. *Caries Res* 32: 312 (1998)
171. Zero DT, Lussi A: Behavioral Factors, Monogr. In *Oral Sci: Lussi A: Dental Erosion*, Karger (eds) Basel, 2006, 100-105
172. Zero DT, Lussi A: Etiology of enamel erosion: intrinsic and extrinsic factors in Addy M, Embery G, Edgar WM, Orchardson R (eds): *Tooth wear and sensitivity*. London, Martin Dunitz, 2000, 121-139
173. Zero DT: Etiology of dental erosion – extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 104: 162-177 (1996)
174. Zimmer S, Kirchner G, Bizhang M, Benedix M: Influence of various acidic beverages on tooth erosion. Evaluation by a new method. *PLoS One* 10: e0129462 (2015)

9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. dent. Peter Wöhrl und Herrn Prof. Dr. Reinhard Hickel für die Überlassung des Themas und für die freundliche und geduldige Betreuung.

Bei Frau Prof. Dr. K. Huth und Herrn Dr. Yuri Malyk möchte ich mich für die Beratung und Hilfe bei der Anfertigung er CLSM-Aufnahmen bedanken.

Ich möchte mich auch bei den technischen Assistentinnen Frau Gisela Dachs und Frau Evi Koebele für die Unterstützung bei der Anfertigung der REM-Aufnahmen bedanken, desweiteren bei Frau Johanna Hack für die Hilfsbereitschaft bei der Literatursuche in der Bibliothek.

10 Eidstattliche Erklärung

Ehrnsperger, Marianne Gabriele

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Die Erosivität von Smoothies auf die Zahnhartsubstanz

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 24.11.2020

Ort, Datum

Marianne Gabriele Ehrnsperger

Unterschrift Doktorandin/Doktorand