

Aus der
Klinik und Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München



**Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH
während sportlicher Belastung in randomisierter klinischer Studie**

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

vorgelegt von
Johannes Denner

Jahr
2025

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität München

Erstes Gutachten: Prof. Dr. Dr. Matthias Folwaczny

Zweites Gutachten: Prof. Dr. Karsten Köhler

Drittes Gutachten: Prof. Dr. Katrin Bekes

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Zusammenfassung:	5
Abstract (English):	8
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	12
1. Einleitung	13
1.1 Kohlenhydratzufuhr während körperlicher Belastung	13
1.2 Messmethoden zur Bestimmung des Plaque-pHs	16
2. Fragestellung	17
3. Material und Methoden	18
3.1 Probanden	18
3.2 Leistungsdiagnostik	18
3.3 Messmethodik	19
3.3.1 Pilotstudie	20
3.4 Plaque-Akkumulation	20
3.5 Ablauf der Versuchstage	21
3.6 Statistische Auswertung	24
4. Ergebnisse	25
4.1 Probandengruppe	25
4.2 Ergebnisse der Pilotstudie	25
4.3 Plaque-pH Verlauf nach Basismessung und Interventionen	26
4.3.1 Vergleich Basismessung 1 und Intervention 1	26

4.3.2 Vergleich Basismessung 2 und Interventionen 2 und 3	28
4.3.3 Vergleich der Zeiten unter pH 5,7 und DMFT	30
5. Diskussion	32
5.1 Hintergrund	32
5.2 Pilotstudie	32
5.3 Diskussion der Methoden.....	33
5.4 Ergebnisse und Interpretation.....	35
5.5 Einordnung in die Literatur.....	37
5.6 Limitationen	38
5.7 Ausblick	41
6. Literaturverzeichnis	42
Anhang A:	47
Danksagung	57
Affidavit	58
Übereinstimmungserklärung	59
Lebenslauf	60

Zusammenfassung:

In dieser Arbeit wird der Einfluss von Arginin-Hydrogencarbonat als Zusatzstoff in kohlenhydrathaltigen Getränken auf den Plaque-pH-Verlauf während sportlicher Belastung untersucht. Ziel der Studie ist zu analysieren, ob und in welchem Ausmaß der Zusatzstoff den Plaque-pH stabilisieren kann, um das Risiko einer Demineralisation des Zahnschmelzes und die Entstehung von Karies bei Ausdauersportlern zu reduzieren. Hintergrund der Untersuchung ist der erhöhte Energiebedarf bei Ausdauersportarten, der häufig durch kohlenhydrathaltige Getränke gedeckt wird. Der wiederholte Kontakt der Zähne mit kurzkettigen Kohlenhydraten kann zu einer Absenkung des Plaque-pH führen und somit die Zahngesundheit gefährden. Aufgrund seiner in früheren Studien dokumentierten pH-neutralisierenden Eigenschaften wurde Arginin-Hydrogencarbonat als potenzieller Zusatzstoff ausgewählt.

Für die Untersuchung wurde eine kontrollierte, randomisierte Studie mit sechs gesunden, regelmäßig sportlich aktiven Probanden im Alter von 23 bis 31 Jahren durchgeführt. Die Probanden absolvierten ein standardisiertes Ergometertraining bei 50 % ihrer individuellen VO_{2max} , während der Plaque-pH zu definierten Zeitpunkten mithilfe der Sampling-Methode gemessen wurde. Bei dieser Methode wird Plaque von der Zahnoberfläche entfernt und extraoral in Wasser aufgelöst, anschließend wird mit Hilfe einer Messsonde der pH-Wert bestimmt. Verteilt auf fünf Testtage wurden zwei Basismessungen ohne Zusatzstoff und drei verschiedene Interventionen durchgeführt, um den Einfluss von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH zu untersuchen.

Bei der ersten Basismessung wurde eine Saccharose-Lösung einmalig aufgenommen, bei der zweiten Basismessung viermal, um den natürlichen Plaque-pH-Verlauf unter sportlicher Belastung zu erfassen. Bei der ersten Intervention wurde die Saccharose-Lösung mit Arginin-Hydrogencarbonat einmalig verabreicht, bei der zweiten viermal und bei der dritten gab es eine Vorbehandlung mit Arginin-Hydrogencarbonat, gefolgt von vier Aufnahmen der Saccharose-Lösung.

Die Ergebnisse zeigen, dass Arginin-Hydrogencarbonat den Plaque-pH signifikant beeinflusst. Bei einer einmaligen Aufnahme ergaben sich keine statistisch relevanten Unterschiede zur Basismessung (pH-Wert: 5,80 für die Basismessung 1 und 6,42 für die Intervention 1). Bei wiederholter Aufnahme der Saccharose-Lösung mit Zusatzstoff (Intervention 2) hingegen konnte ein signifikant höherer Plaque-pH-Wert erzielt werden: 6,83 im Vergleich zu 5,92 in der Basismessung 2 ($p < 0,05$). Die Vorbehandlung mit Arginin-Hydrogencarbonat in Intervention 3 hat ebenfalls zu einem signifikant höheren Plaque-pH-Wert von 6,68 geführt ($p < 0,05$). Auch die Dauer, in der der Plaque-pH unter den kritischen Wert von 5,7 gefallen ist, konnte durch die wiederholte Gabe von Arginin-Hydrogencarbonat reduziert werden; allerdings war der Unterschied zur Basismessung statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$). Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Untersuchungen überein, die die pH-neutralisierenden Eigenschaften von Arginin-Hydrogencarbonat belegen und bestätigen die Wirksamkeit des Zusatzstoffs unter sportlichen Bedingungen, die für Ausdauersportler relevant sind.

Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Plaque-pH unter dem kritischen Wert von 5,7 liegt, und dem DMFT-Wert (Decayed, Missing, Filled Teeth) untersucht. Die Spearman-Korrelationsanalyse ergab einen starken positiven Zusammenhang ($r=0,927$, $p=0,009$), was darauf hindeutet, dass längere pH-Abfälle mit einer schlechteren Zahngesundheit korrelieren. Diese Ergebnisse unterstreichen die Relevanz des Plaque-pH-Managements für die Kariesprävention, insbesondere bei Sportlern, und zeigen, dass individuelle Faktoren wie der DMFT-Wert einen Einfluss auf den Plaque pH-Verlauf haben können.

Methodische Limitationen wie die geringe Stichprobengröße und die Messmethode, welche weniger sensitiv gegenüber pH-Schwankungen ist, schränken die Generalisierbarkeit der Ergebnisse ein. Dennoch deuten die Ergebnisse dieser Studie darauf hin, dass Arginin-Hydrogencarbonat den Plaque-pH positiv beeinflussen und Sportlern eine präventive Wirkung gegen Karies bieten könnte.

Zukünftige Studien sollten mit einer größeren Stichprobe und alternativen Messmethoden wie etwa der Telemetrie durchgeführt werden, um die Wirkung von

Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH umfassender zu untersuchen und den optimalen Dosierungs- und Anwendungszeitpunkt zu bestimmen.

Abstract (English):

Arginine hydrogen carbonate used as supplement in electrolyte drinks for endurance sport activities might influence the dental plaque pH during exercise. Endurance sport activities require a considerably increased energy intake, which is mostly accomplished with carbohydrate-containing drinks. However, the intermittent exposure of teeth against highly cariogenic short-chain carbohydrates is associated with a significant reduction of plaque pH, which might induce caries lesions. Arginine bicarbonate has pH-neutralizing effects as documented in previous studies and might be able to stabilize the plaque pH when used as supplement in drinks for endurance sports. This study aimed to test the effects of arginine hydrogen carbonate on plaque pH under regular clinical conditions.

Accordingly, a controlled, randomized study was conducted enrolled six healthy, regularly active subjects aged 23 to 31 years. The subjects completed standardized ergometer training at 50% of their individual VO_{2max} , while the plaque pH was measured at defined points using the sampling method. In this method, plaque is removed from the tooth surface and dissolved extraorally in water. Afterwards the pH value is determined using a measuring probe. Two baseline measurements without additive and three different interventions were carried out over five test days to investigate the influence of arginine hydrogen carbonate on plaque pH. In the first baseline measurement, sucrose was taken once, while in the second baseline measurement required four intakes to record the natural plaque pH curve during exercise. In the first intervention, the sucrose solution with arginine bicarbonate was given once, in the second four times and in the third there was a pre-treatment with arginine bicarbonate, followed by four intakes of the sucrose solution.

The results showed that arginine hydrogen carbonate caused a significant reduction of the plaque pH. A single intake showed no statistically relevant differences to the baseline measurement (pH value: 5.80 for baseline measurement 1 and 6.42 for intervention 1). Repeated intake of the sucrose solution with additive (intervention 2), however, resulted in a significantly higher plaque pH value: 6.83 compared to 5.92 in

baseline measurement 2 ($p < 0.05$). Pretreatment with arginine hydrogen carbonate in intervention 3 also led to a significantly higher plaque pH value of 6.68 ($p < 0.05$). The duration in which the plaque pH was below the critical pH of 5.7 was also reduced by the repeated administration of arginine bicarbonate; however, the difference to the baseline measurement was not statistically significant ($p > 0.05$). These results are consistent with previous studies showing the pH-neutralizing effect of arginine bicarbonate and confirm the effectiveness of the additive under athletic conditions.

Also, the association between the time with plaque pH below the critical value of 5.7 and the DMFT (Decayed, Missing, Filled Teeth) was analyzed. The Spearman correlation analysis revealed a strong positive correlation ($r=0.927$, $p=0.009$), indicating that longer pH drops correlate with poorer dental health. These results emphasize the relevance of plaque pH management for caries prevention, especially in athletes, and show that individual factors such as DMFT might have an impact on changes in plaque pH.

Limitations such as the small sample size and the measurement method, which is less sensitive to pH variation, restrict the generalizability of the results. Nevertheless, the study suggests that arginine bicarbonate could have a positive effect on plaque pH and offer athletes a preventive effect against caries.

Future studies using a larger sample size and alternative measurement methods such as telemetry are desirable in order to investigate the effect of arginine bicarbonate on plaque pH more comprehensively and to determine the optimal dosage and time of application.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Testaufbau mit pH-Sonde und pH-Messgerät, grün/rosa Pufferlösung zur Kalibrierung vor den Testtagen mit pH 4,00 und 7,00	20
Abbildung 3 Testaufbau mit pH-Sonde, Messgerät und Proband auf Ergometer ..	22
Abbildung 4 Zeitlicher Ablauf der Testabläufe für die zwei Basismessungen und drei unterschiedliche Interventionen.	23
Abbildung 2 pH-Verlauf Pilotstudie; der pH-Verlauf der Basismessung 1 (1x Saccharose) wird mit der Intervention 1 (1x Saccharose + Zusatz) verglichen. Eine Spülung wurde bei 5 Minuten durchgeführt. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7	26
Abbildung 5 Der pH-Verlauf der Basismessung 1 (1x Saccharose) wird mit der Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) verglichen. Eine Spülung wurde bei 15 Minuten durchgeführt, Paraffin bei 0 und 70 Minuten. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7.	28
Abbildung 6 Der Verlauf des pH-Werts für Basismessung 2 (4x Saccharose) wird mit Interventionen 2 (1x Arginin-Hydrogencarbonat + 4x Saccharose) und 3 (4x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) verglichen. Spülungen wurden bei 15, 30, 45 und 60 Minuten durchgeführt, Paraffin bei 0 und 70 Minuten. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7.	29
Abbildung 7 Zusammenhang zwischen der Zeit unter pH 5,7 in der Basismessung 2 und dem DMFT-Wert ($r = 0,927$, $p = 0,009$).....	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2 Patientencharakteristika: Leistungsdiagnostik	25
Tabelle 1 pH-Werte Pilotstudie; t=Einnahme der Testlösung; Vergleich der pH-Werte zwischen Basismessung 1 (1x Saccharose) und Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat)	26
Tabelle 3 Mittelwert und Standardabweichung der pH-Werte für Basismessung 1 (1x Saccharose) und Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat); für alle Messzeitpunkte $p > 0,05$	27
Tabelle 4 Zeiten unter pH 5,7 von Basismessung 1 und Intervention 1; für alle Gruppen $p > 0,05$	28
Tabelle 5 Mittelwert und Standardabweichung der pH-Werte für Basismessung 2 (4x Saccharose), Intervention 2 (4x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) und Intervention 3 (1x Arginin-Hydrogencarbonat + 4x Saccharose), rot markiert $p < 0,05$ im Vergleich zu Basismessung 2	29
Tabelle 6 Zeiten unter pH 5,7 von Basismessung 2, Intervention 2 und 3; für alle Gruppen $p > 0,05$	30

Abkürzungsverzeichnis

LMU Ludwig-Maximilians-Universität München

pH Potentia Hydrogenii (Wasserstoffionenkonzentration)

SD Standardabweichung

SPSS Statistical Package for the Social Sciences

VO₂max Maximale Sauerstoffsufnahme

DMFT Decayed, Missing, Filled Teeth

1. Einleitung

1.1 Kohlenhydratzufuhr während körperlicher Belastung

Sportliche Aktivität führt zu einem erhöhten Energie- und insbesondere Kohlenhydratverbrauch, der ausgeglichen werden muss, um die Energieverfügbarkeit zu gewährleisten. Vor allem im Ausdauerleistungssport, mit Trainingsumfängen von bis zu 35 Stunden pro Woche, spielt die Energieverfügbarkeit eine große Rolle. Die Sportler müssen daher zwangsläufig große Mengen an Kohlenhydraten vor, während und nach dem Sport zu sich nehmen. Vor allem während der Trainingseinheiten wird auf Getränke mit kurzkettigen Kohlenhydraten zurückgegriffen. Der häufige Kontakt der Zähne mit Kohlenhydraten führt zu einem Abfall des pH-Wertes in der Plaque und in der Folge zu einer Demineralisation der Zahnhartsubstanz. In der Literatur wurde nachgewiesen, dass Sportler trotz überdurchschnittlicher Mundhygiene eine unterdurchschnittliche Mundgesundheit aufweisen.¹⁻³

Aktuelle Empfehlungen zur Kohlenhydratzufuhr während sportlicher Belastung betonen, dass ab einer Belastungsdauer von 30 Minuten 30–60 g Kohlenhydrate pro Stunde konsumiert werden sollten. Bei längeren und intensiveren Trainingseinheiten kann die Aufnahme auf bis zu 90 g Kohlenhydrate pro Stunde gesteigert werden, wobei die Kohlenhydratzusammensetzung (z. B. Glukose-Fruktose-Mischung) entscheidend ist, um die maximale Absorptionsrate im Darm zu gewährleisten. Zusätzlich wird in einigen Kontexten der Einsatz von kohlenhydrathaltigen Mundspülungen untersucht, die bei kürzeren Belastungen eine Leistungssteigerung bewirken können, ohne die Substanzen direkt zu konsumieren.⁴⁻⁶

Zudem ist sportliche Belastung nicht nur mit einem erhöhten Energiebedarf, sondern auch mit spezifischen Herausforderungen für die Mundgesundheit verbunden. Die kontinuierliche Kohlenhydratzufuhr hat in Kombination mit einer sportlich bedingten Reduktion des Speichelflusses und den damit einhergehenden Änderungen der Speichelbufferkapazität direkte Auswirkungen auf den Plaque-pH. Der Speichel, der unter Ruhebedingungen als natürlicher Puffer wirkt, ist während sportlicher Belastung

weniger effektiv, wodurch der pH-Wert länger unter den kritischen Wert von 5,7 fallen kann.^{2,7,8}

Karies ist eine multifaktorielle Erkrankung, die durch das Zusammenspiel von bakterieller Aktivität, Ernährungsgewohnheiten und individuellen Risikofaktoren entsteht. Ein zentraler Pathomechanismus ist die Säureproduktion durch kohlenhydratverstoffwechselnde Bakterien im oralen Biofilm, auch bekannt als Plaque. Nach der Aufnahme von kurzkettigen Kohlenhydraten (z. B. Saccharose) metabolisieren orale Bakterien, insbesondere Streptococcus mutans und Laktobazillen, diese Substrate zu organischen Säuren, vorwiegend Milchsäure. Diese Säuren führen zu einer Absenkung des pH-Werts im dentalen Plaque unter den kritischen Wert von 5,7, wodurch es zur Demineralisation des Zahnschmelzes kommt.⁹⁻¹² Streptococcus mutans nimmt hierbei eine Schlüsselrolle in der Initialphase der Karies ein. Diese Bakterien zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, sich effizient an die Zahnoberfläche zu heften, indem sie extrazelluläre Polysaccharide (Glucane) bilden, welche die Plaque-Matrix stabilisieren, und Zucker besonders effektiv zu Säuren zu verstoffwechseln.¹³⁻¹⁵ In den späteren Stadien der Kariesentwicklung spielen Laktobazillen eine bedeutende Rolle. Diese Bakterien sind säuretolerant und können auch in einem bereits sauren Milieu überleben und weiterhin Säuren produzieren, was die Progression der Karies vorantreibt.^{10,16,17} Ein weiterer Pathomechanismus ist der direkte Säureangriff durch den Konsum stark saurer Lebensmittel oder Getränke (z. B. Zitrusfrüchte, Softdrinks). Hierbei kommt es zu einer direkten Erosion des Zahnschmelzes durch externe Säuren, unabhängig von bakterieller Aktivität.¹⁸ Ernährungsgewohnheiten spielen eine entscheidende Rolle bei der Kariesentstehung. Eine hohe Zufuhr von zuckerhaltigen Lebensmitteln und Getränken fördert das Wachstum und die Säureproduktion kariogener Bakterien. Insbesondere die Häufigkeit des Zuckerkonsums ist von Bedeutung, da wiederholte Säureattacken die Demineralisation des Zahnschmelzes beschleunigen können.^{19,20} Eine ausgewogene Ernährung mit reduziertem Zuckerkonsum und einer ausreichenden Zufuhr von Mineralstoffen, wie Calcium und Phosphat, kann hingegen die Remineralisation unterstützen und das Kariesrisiko senken.^{20,21} Individuelle Risikofaktoren können die Anfälligkeit für Karies beeinflussen. Dazu gehören unter anderem die Speichelzusammensetzung und -menge, die

Zahnmorphologie, genetische Faktoren und das Vorhandensein von systemischen Erkrankungen.⁹ Ein reduzierter Speichelfluss, beispielsweise aufgrund von Medikamenteneinnahme oder Erkrankungen, kann die Pufferung von Säuren und die Remineralisation beeinträchtigen. Tiefe Fissuren oder Fehlstellungen der Zähne können die Plaqueansammlung erleichtern und das Kariesrisiko erhöhen.^{21,22}

Beide Mechanismen, die bakterielle Säureproduktion und der direkte Säureangriff, können langfristig zu einer irreversiblen Schädigung der Zahnhartsubstanz führen, insbesondere wenn kompensatorische Remineralisationsprozesse durch den Speichel oder die extrinsische Fluoridapplikation unzureichend sind.^{9,17}

Eine effektive Maßnahme, um dieser Problematik entgegenzuwirken, wäre die Modifizierung der Kohlenhydratgetränke, sodass der Plaque-pH nicht länger unter den für den Zahnschmelz kritischen Wert von 5,7 fällt.^{23,24} Einige frühere Studien beschreiben den Einfluss von Zusatzstoffen auf die Stephan-Kurve (Verlauf des pH-Wertes auf der Zahnoberfläche).²⁵⁻²⁷ Arginin-Hydrogencarbonat zeigte den größten Einfluss auf den Plaque-pH und hat zusätzlich das Potenzial, die Plaque langfristig zu modifizieren.^{26,28,29} Der Zusatzstoff Arginin wird auf Grund seines neutralisierenden Effekts bereits in Zahnpasten verwendet und wurde in diesem Kontext bereits ausführlich erforscht.³⁰⁻³³

Zum aktuellen Zeitpunkt sind potenzielle Zusatzstoffe für Kohlenhydratgetränke mit protektiver Wirkung gegen Karies und dentale Demineralisation noch unzureichend erforscht. Es existiert keine Studie, welche die Auswirkung eines Zusatzstoffes in Kohlenhydratgetränken auf den Plaque-pH bei Leistungssportlern untersucht hat (PubMed-Literaturrecherche mit den Schlagwörtern: dental plaque-ph, arginin-bicarbonat, sportsdrink, stephan-curve, telemetry, microtouch)

Eine britische Forschungsgruppe hat in den Jahren 2015 bis 2016 die Mundgesundheit und das Ernährungsverhalten von 344 olympischen Sportlern untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die kohlenhydratreiche Ernährung einen Risikofaktor für die orale Gesundheit darstellt und die Mundhygiene bei Sportlern einen besonderen Stellenwert haben sollte.¹ Der Zusammenhang zwischen Profisport und schlechter Mundgesundheit

wurde in der Literatur in der Vergangenheit bereits mehrfach beschrieben und ist nachvollziehbar, da ein ständiger Kohlenhydratkonsument das Risiko für kariöse Läsionen grundsätzlich erhöht.^{1-3,11}

Auf dem Markt sind nach wie vor keine Kohlenhydratgetränke mit Zusatzstoffen erhältlich, die die Zahnverträglichkeit verbessern. In der Literatur werden allerdings Interventionsstudien mit Plaque-pH-Messungen beschrieben. Hier konnten Urea, Fluorid und Arginin-Hydrogencarbonat nach Spülung mit einer Kohlenhydratlösung zu einem Wiederanstieg des Plaque-pH führen.²⁵⁻²⁷ Arginin-Hydrogencarbonat hatte in diesen Studien den besten Neutralisationseffekt²⁶ und wurde daher in der vorliegenden Arbeit als Zusatzstoff ausgewählt, um weitere Untersuchungen im sportlichen Kontext durchzuführen.

Ziel der Arbeit ist es, die Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH-Verlauf in Abhängigkeit des Verabreichungszeitpunktes zu untersuchen. Sorgt der Zusatzstoff für eine signifikante Erhöhung des Plaque-pHs, sollte diskutiert werden, ob er als kariespräventive Maßnahme in Kohlenhydratgetränken für Sportler verwendet werden könnte. Durch die Messungen mit unterschiedlichen Verabreichungszeitpunkten kann möglicherweise zudem eine Einnahmeempfehlung erarbeitet werden, welche im alltäglichen Training umsetzbar ist.

1.2 Messmethoden zur Bestimmung des Plaque-pHs

In der Literatur werden drei verschiedene Methoden zur Messung des pH-Wertes in menschlicher Plaque beschrieben: die Telemetric-Methode, die Microtouch-Methode und die Sampling-Methode. Die Telemetric-Methode nutzt eine pH-Messsonde, die in eine zahnärztliche Teilprothese integriert ist, um den pH-Wert intraoral zu messen. Die Microtouch-Methode verwendet eine 0,1 mm breite pH-Messsonde, die direkt in der intraoralen Plaque den pH-Wert bestimmt. Bei der Sampling-Methode wird Plaque von der Zahnoberfläche entnommen, extraoral mit Wasser verdünnt und anschließend der pH-Wert dieser Lösung bestimmt. Lingström et al. beschrieben bereits 1993 diese Methoden detailliert und verglichen die Abweichungen der gemessenen pH-Werte.³⁴

2. Fragestellung

Kann der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat während sportlicher Belastung den Plaque-pH nach Kohlenhydrateinnahme erhöhen? Und wie sollte Arginin-Hydrogencarbonat während Trainingseinheiten eingenommen werden, um einen ausreichenden Schutz für die Zahnhartsubstanz zu erreichen?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde in der vorliegenden Arbeit der Einfluss des Zusatzstoffs zu unterschiedlichen Verabreichungszeitpunkten untersucht. Ziel war es, nicht nur die pH-stabilisierende Wirkung zu bewerten, sondern auch herauszufinden, welche Einnahmezeitpunkte (z. B. wiederholte Einnahme oder Vorbehandlung) den größten Schutz bieten. Basierend auf diesen Fragestellungen wurden folgende Hypothesen aufgestellt.

Nullhypothese (H0): Der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat hat keinen signifikanten Einfluss auf den Plaque-pH während sportlicher Belastung nach Kohlenhydrateinnahme.

Alternativhypothese (H1): Der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat erhöht den Plaque-pH signifikant während sportlicher Belastung nach Kohlenhydrateinnahme.

Die differenzierte Fragestellung ist praxisrelevant, da Sportler während des Trainings regelmäßig Kohlenhydrate konsumieren, wodurch der Plaque-pH wiederholt unter den kritischen Wert von 5,7 fällt. Ziel dieser Arbeit ist es, auf Grundlage der Ergebnisse praxisnahe Empfehlungen für den Einsatz von Arginin-Hydrogencarbonat zum Schutz der Zahnhartsubstanz zu entwickeln.

3. Material und Methoden

3.1 Probanden

Sechs Probanden wurden über Aushänge an der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften und an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie rekrutiert. Gesucht wurden Ausdauersportler im Alter von 18-55 Jahren, welche mindestens 2-mal pro Woche Sport treiben. Ausgeschlossen wurden Probanden mit Allergien und Unverträglichkeiten gegen den Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat oder mit schweren Allgemeinerkrankungen. Den Probanden wurden vor der klinischen Studie Aufklärungs- und Informationsbögen ausgehändigt. In einem persönlichen Gespräch wurden die Probanden hinreichend über den Ablauf der Studie und Nutzen bzw. Risiken der Studie aufgeklärt. Die Untersuchung basierte auf Freiwilligkeit und zog bei Ablehnung oder Abbruch keinerlei Nachteile für die Probanden mit sich. Die Studie wurde mit der Projektnummer 2023-83-S-KK durch die Ethikkommission der Technischen Universität München genehmigt. Die Testtage wurden alle an der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften durchgeführt, da hier alle Gerätschaften vorrätig waren. Die Finanzierung der Messgeräte erfolgte durch Hausmittel der Zahnerhaltung und Parodontologie des Klinikums der LMU. Die Nutzung von Räumlichkeiten und Geräten am Präventionszentrum der TU München erfolgt unter Supervision der Arbeitsgruppe der Professur von Prof. Köhler und wird durch Eigenmittel seiner Professur finanziert.

3.2 Leistungsdiagnostik

Um ein einheitliches Belastungsniveau für alle Studienteilnehmer sicherzustellen, wurde zunächst ein Stufentest mit Spiroergometrie durchgeführt. Nach einem Aufwärmen von 5 Minuten (min) bei 50 Watt absolvierten die Probanden einen Rampentest. Der Test begann mit einer Anfangsleistung von 50 Watt, welche kontinuierlich um 20 Watt pro Minute gesteigert wurde. Parallel dazu erfolgte die Messung der Ventilation mittels Spirometrie, um die maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) der Probanden zu

ermitteln. Hierbei wurde ein RER > 1,1 und eine Plateaubildung der VO_2 als Kriterium herangezogen, um die Ausbelastung der Probanden sicherzustellen. Während der eigentlichen Interventionen trainierten die Probanden im Grundlagenbereich auf einem Ergometer, wobei die Belastung bei 50 % ihrer individuellen $\text{VO}_{2\text{max}}$ durchgeführt wurde.

3.3 Messmethodik

Die Sampling-Methode wurde in Anlehnung an das Vorgehen von Frostell durchgeführt. Mit einem Scaler wurde Plaque von den bukkalen, oralen und approximalen Flächen abgetragen und in 500 µl Eppendorf Tubes mit 50 µl destilliertem Wasser aufgelöst. Anschließend wurde innerhalb von 30 Sekunden der pH-Wert an einem Lab 860-pH-Messgerät (Schott AG), an welches eine InLab Ultra-Micro-ISM-pH-Messsonde (Mettler Toledo) angeschlossen wurde, abgelesen. Die Messelektrode wurde vor jedem Interventionstag gegen Standard-Pufferlösungen mit pH 7,00 und pH 4,00 kalibriert. Der Testaufbau wird in **Abbildung 1** dargestellt.

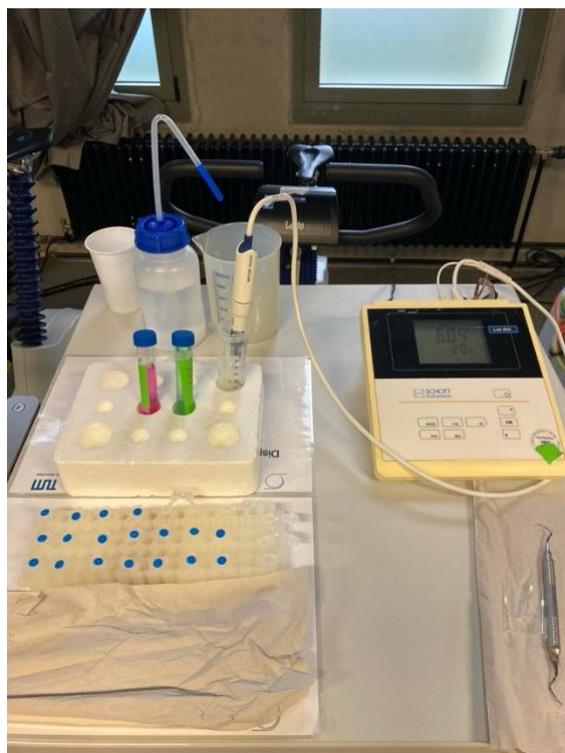


Abbildung 1 Testaufbau mit pH-Sonde und pH-Messgerät, grün/rosa Pufferlösung zur Kalibrierung vor den Testtagen mit pH 4,00 und 7,00

3.3.1 Pilotstudie

Zunächst wurde eine Pilot-Studie durchgeführt, um den Testaufbau zu prüfen und um einen ersten Datensatz zur Durchführung einer Sample-Size-Kalkulation zu generieren.

Vor Beginn der eigentlichen Messungen wurde eine Zweipunktkalibrierung der pH-Messsonde durchgeführt. Diese Kalibrierung erfolgte in Pufferlösungen mit einem pH-Wert von 4 und 7, um sicherzustellen, dass die Sonde in dem für die Studie relevanten pH-Bereich zuverlässige Messungen anzeigt.

Die pH-Messungen wurden an zwei separaten Tagen durchgeführt. Für jede Messung wurde eine Scalerspitze der Testsubstanz (Zahnbelag) mit 50 µl destilliertem Wasser in 500 µl Eppendorf Tubes gefüllt. Zu allen Messzeitpunkten wurde dies in Doppelmessung durchgeführt und der endgültige Wert wurde durch Mittelwertberechnung der beiden Messungen bestimmt. Es erfolgten jeweils Messungen 5 Minuten vor Spülung (t-5), sowie 2 Minuten (t+2), 10 Minuten (t+10) und 20 Minuten (t+20) nach Spülung mit der jeweiligen Testlösung durch die Testperson. Die Zeitspanne zwischen Probenentnahme und pH-Messung betrug etwa 30 Sekunden. Am ersten Tag wurde als Testlösung eine 10 % Saccharose-Lösung verwendet, während am zweiten Tag zusätzlich Arginin-Hydrogencarbonat (1,5 %) zur Saccharose-Lösung hinzugefügt wurde.

3.4 Plaque-Akkumulation

Die Plaque-Akkumulation wurde wie von Frostell beschrieben durchgeführt. Die Probanden mussten in den zwei Tagen vor den Untersuchungen die häusliche Zahnpflege unterbrechen und durften nur mit Wasser den Mund ausspülen.³⁵

3.5 Ablauf der Versuchstage

Der experimentelle Ablauf erfolgte in Anlehnung an das Vorgehen von Imfeld, Frostell und Pollard.³⁵⁻³⁷ Drei Stunden vor den Versuchen nahmen die Probanden eine standardisierte Mahlzeit, bestehend aus drei Scheiben Toast mit Marmelade, ein und anschließend wurde bis zum Beginn der Intervention nur noch stilles Wasser getrunken.

Da der Einfluss von zuckerhaltigen Getränken im Vergleich zu Getränken mit einem Plaque-pH-Wert stabilisierenden Zusatz auf den Plaque-pH-Wert untersucht werden sollte, wurden drei Testlösungen hergestellt und jeweils vor jeder Testung frisch zubereitet. Für die Basismessungen wurde eine 10-prozentige Saccharose-Lösung hergestellt, bestehend aus 10 g Saccharose und 100 ml Wasser. Für die Interventionsmessungen wurde der 10-prozentigen Saccharose-Lösung 0,715 g Natriumhydrogencarbonat (\triangleq 85 mmol/l) und 0,785 g Arginin (\triangleq 1,5 % Arginin-Hydrogencarbonat) zugesetzt. Zusätzlich wurde eine 1,5-prozentige Arginin-Hydrogencarbonat-Lösung, aus einer Konzentration von 85 mmol/l Natriumhydrogencarbonat und 1,5 % Arginin-Hydrogencarbonat hergestellt.

Alle Versuche wurden unter sportlicher Belastung auf einem Fahrradergometer durchgeführt, wobei die Probanden 75 Minuten lang bei 50 % ihrer individuell ermittelten VO₂max trainierten (**Abbildung 2**Error! Reference source not found.).



Abbildung 2 Testaufbau mit pH-Sonde, Messgerät und Proband auf Ergometer

Zu Beginn jedes Versuches wurde der Plaque-pH durch dreiminütiges Kauen auf Paraffin normalisiert. Die Messzeitpunkte für alle Untersuchungen waren jeweils 5, 17, 20, 25, 35, 50 und 65 Minuten nach Beginn, wobei die Messung nach 5 Minuten als Baseline-Messung diente (**Abbildung 3**). Die Werte für den Plaque-pH wurden mithilfe der zuvor beschriebener Sampling-Methode extraoral bestimmt. Nach Abschluss der Messungen wurde der Plaque-pH durch dreiminütiges Kauen auf Paraffin normalisiert, bevor die Probanden vom Fahrradergometer stiegen. Während des Trinkens der Probelaösungen und zur Gewinnung der Plaque-Proben vor den Messungen durften die Probanden die Tretbewegung unterbrechen.

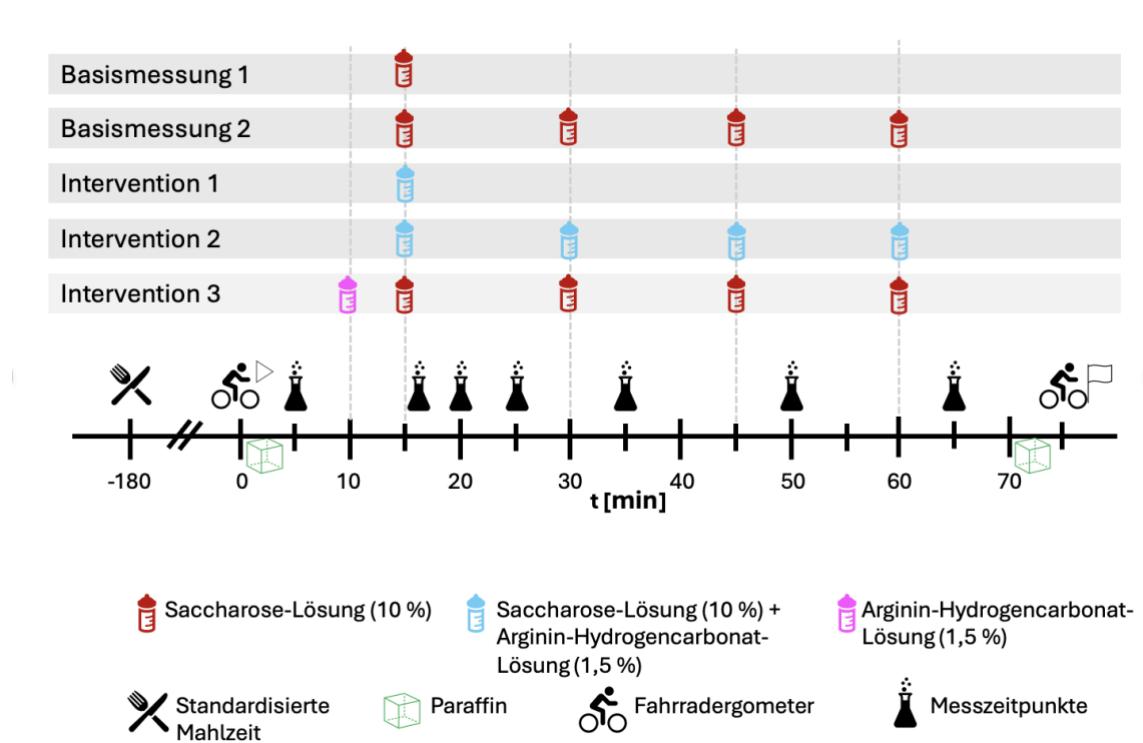


Abbildung 3 Zeitlicher Ablauf der Testabläufe für die zwei Basismessungen und drei unterschiedliche Interventionen.

Insgesamt wurden 5 verschiedene Versuche durchgeführt: Basismessung 1 und 2 sowie Intervention 1 bis 3. Pro Versuchstag wurde jeweils ein Versuch durchgeführt. Die Reihenfolge dieser Testtage wurde für jeden Probanden zufällig mittels eines Zufallsgenerators bestimmt. Um eine Verblindung sicherzustellen, wussten die Probanden nicht, welche Testlösung sie an den jeweiligen Testtagen erhielten. An jedem Testtag fand ausschließlich eine Intervention oder Basismessung statt, wobei zwischen den Testtagen ein Mindestabstand von vier Tagen lag. Die Studie wurde als einfachblinde, randomisierte cross-over-Studie durchgeführt.

Die Basismessungen dienen als Referenzwerte, bei welcher die Plaque-pH-Kurve der Probanden ohne Nutzung des Zusatzstoffes Arginin-Hydrogencarbonat protokolliert wurde. Dabei wurde eine Saccharose-Lösung verabreicht, um die Veränderung des pH-Wertes infolge der Zuckerzufuhr zu beobachten. Für die Basismessung 1 wurde einmalig 15 Minuten nach Beginn mit 20 ml Saccharose-Lösung (10 %) für 2 Minuten gespült und anschließend 80 ml Saccharose-Lösung getrunken (**Abbildung 3** Error! Reference source

not found.Error! Reference source not found.). Für die Basismessung 2 wurde zusätzlich dreimalig (nach 30, 45 und 60 Minuten) mit einer Saccharose-Lösung (10 %) gespült (**Abbildung 3Error! Reference source not found.**).

Für Intervention 1 und Intervention 2 wurde die Saccharose-Lösung mit Arginin-Hydrogencarbonat (1,5 %) versetzt, um zu beobachten, ob sich der Plaque-pH-Wert stabilisiert, eine pH-Abfall infolge der Zuckerzufuhr verhindert und so die kariogene Wirkung der Saccharose signifikant zu reduziert werden kann. Bei der Intervention 1 wurde mit der Lösung einmalig nach 15 Minuten gespült und anschließend der pH-Verlauf aufgezeichnet, siehe **Abbildung 3Error! Reference source not found.**.. Bei der Intervention 2 wurde viermalig im Abstand von 15 Minuten (bei 15, 30, 45 und 60 Minuten) mit der Lösung gespült, siehe **Abbildung 3Error! Reference source not found.**..

Bei der Intervention 3 spülten die Probanden nach der Baseline-Messung und 10 Minuten nach Beginn des Versuchs, 2 Minuten mit 20 ml einer 1,5-prozentigen Arginin-Hydrogencarbonat-Lösung. Anschließend wurde vier Mal im Abstand von 15 Minuten mit der Saccharose-Lösung gespült (**Abbildung 3**).

3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe von Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 29.0.1 durchgeführt. Alle stetigen Merkmale wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) angegeben. Um signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen zu identifizieren, wurde zunächst ein Test auf Normalverteilung durchgeführt und anschließend ein t-Test für unabhängige Stichproben. Dabei wurden die pH-Werte zu den jeweiligen Messzeitpunkten verglichen. Zusätzlich wurde die Zeit analysiert, in der der pH-Wert unter den kritischen Wert von 5,7 fiel. Ergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit für den Fehler erster Art von $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant angesehen. Zur Bestimmung der Probandenzahl wurde eine Sample-Size-Kalkulation durchgeführt, wobei die Daten von Wang et. al und die Daten der Pilotstudie verwendet wurden.²⁶

4. Ergebnisse

4.1 Probandengruppe

Die Kohorte bestand aus sechs gesunden Probanden, darunter fünf Männer und eine Frau, die Altersspanne reicht von 23-31 Jahre mit einem Median von 28 Jahren (Standardabweichung: 2,87 Jahre). Der DMFT-Score reicht von 0-13 mit einem Median von 3,5 und einem Mittelwert von 4,17 (Standardabweichung: 4,37).

Alle Probanden treiben mindestens 2-mal pro Woche Sport und haben keine Allergien und Unverträglichkeiten gegen den Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat. Sie absolvierten die fünf festgelegten Testtage gemäß dem Studienprotokoll. Während der Testtage hielten die Probanden die zuvor per Leistungsdiagnostik bestimmte Leistung von 50 % der individuellen VO₂max, siehe **Tabelle 1**, durchgehend ein.

Tabelle 1 Patientencharakteristika: Leistungsdiagnostik

Daten Leistungsdiagnostik (Mittelwert ± SD)	
VO ₂ max (ml/min/kg)	56 ± 7,23
Gewicht (kg)	73 ± 11,59
Größe (cm)	181 ± 7,04
max. Herzfrequenz	188 ± 9,18
Leistung (W) 50% VO ₂ max	178 ± 22,31

4.2 Ergebnisse der Pilotstudie

Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte der pH-Werte für die Basismessung 1 (1x Saccharose) und Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat). **Abbildung 4** illustriert den pH-Verlauf der Basismessung 1 (1x Saccharose) und der Intervention 1 (1x Saccharose + Zusatz).

Tabelle 2 pH-Werte Pilotstudie; t=Einnahme der Testlösung; Vergleich der pH-Werte zwischen Basismessung 1 (1x Saccharose) und Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat)

Messzeitpunkte (min)	t-5	t+2	t+5	t+10	t+20
Saccharose	6,91	5,10	4,58	4,45	6,45
Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat	7,19	5,75	5,74	5,88	6,40

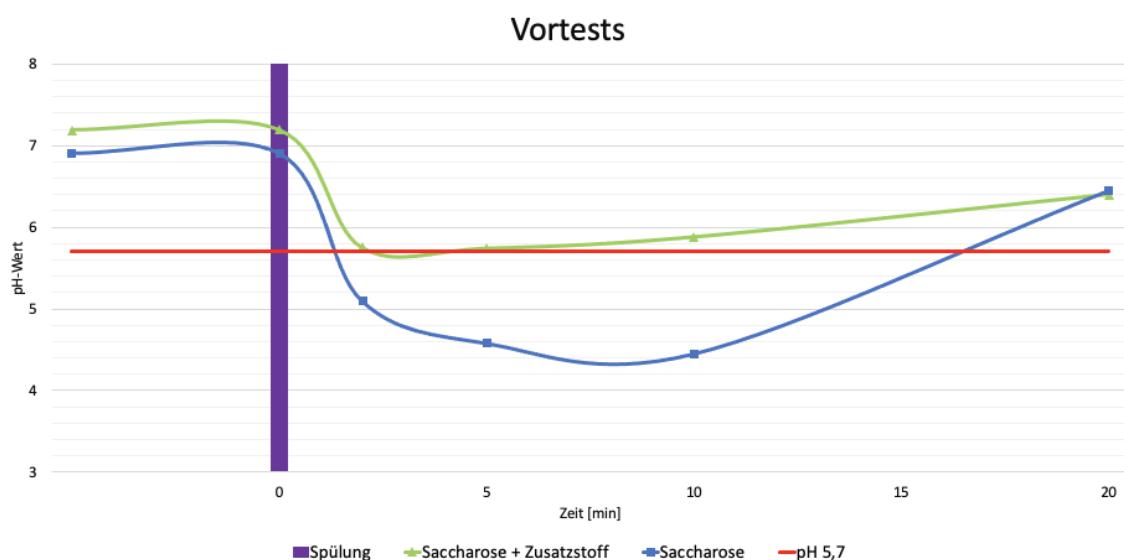


Abbildung 4 pH-Verlauf Pilotstudie; der pH-Verlauf der Basismessung 1 (1x Saccharose) wird mit der Intervention 1 (1x Saccharose + Zusatz) verglichen. Eine Spülung wurde bei 5 Minuten durchgeführt. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7

4.3 Plaque-pH Verlauf nach Basismessung und Interventionen

4.3.1 Vergleich Basismessung 1 und Intervention 1

Die Ergebnisse der Basismessung 1 (1x Saccharose) wurden mit der Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) verglichen. Die pH-Werte wurden zu

verschiedenen Messzeitpunkten gemessen und durch Mittelwert und Standardabweichung (\pm SD) dargestellt. Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen den beiden Gruppen für alle Messzeitpunkte. **Tabelle 3** zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der pH-Werte für die Basismessung 1 und die Intervention 1. **Abbildung 5** illustriert den Verlauf des pH-Werts im Vergleich zwischen der Basismessung 1 und der Intervention 1.

Tabelle 3 Mittelwert und Standardabweichung der pH-Werte für Basismessung 1 (1x Saccharose) und Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat); für alle Messzeitpunkte $p > 0,05$

Messzeitpunkte (min)	Basismessung 1	Intervention 1
5	6,93 \pm 0,48	7,34 \pm 0,40
15	6,93 \pm 0,48	7,34 \pm 0,40
17	6,18 \pm 0,69	6,57 \pm 0,65
20	5,80 \pm 0,70	6,42 \pm 0,37
25	5,80 \pm 0,64	6,13 \pm 0,50
35	6,29 \pm 0,86	6,13 \pm 0,55
50	6,90 \pm 0,45	6,64 \pm 0,21
65	6,63 \pm 0,54	7,02 \pm 0,97

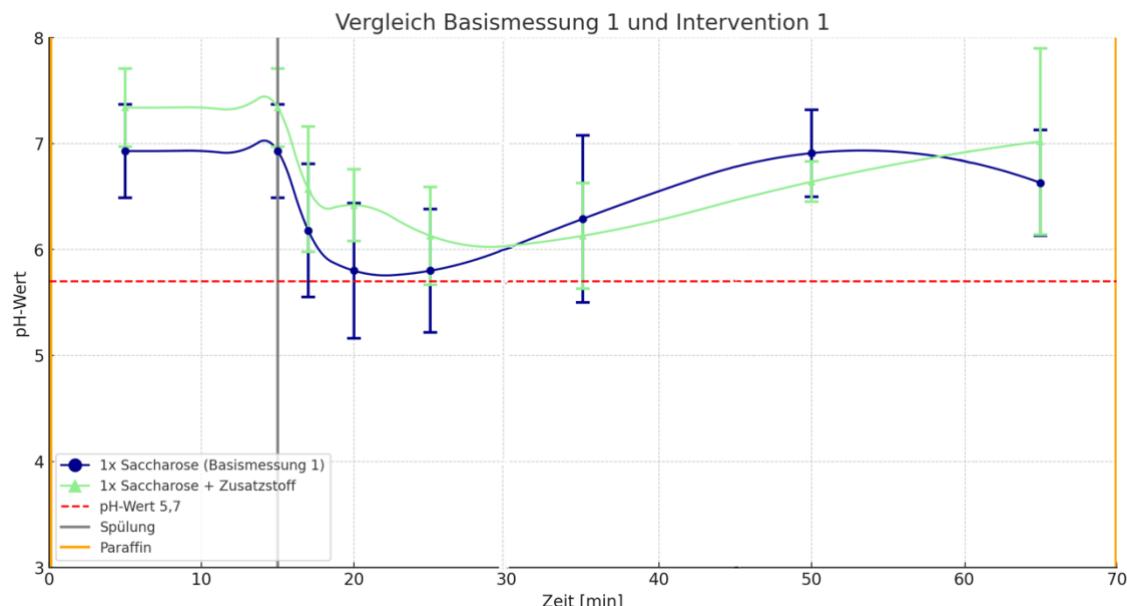


Abbildung 5 Der pH-Verlauf der Basismessung 1 (1x Saccharose) wird mit der Intervention 1 (1x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) verglichen. Eine Spülung wurde bei 15 Minuten durchgeführt, Paraffin bei 0 und 70 Minuten. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7.

Die Zeit unter einem pH-Wert von 5,7 wurde ebenfalls ermittelt. **Tabelle 4** zeigt die Ergebnisse für die Zeit unter einem pH-Wert von 5,7 für Basismessung 1 und Intervention 1. Der durchgeführte t-Test ergab einen t-Wert von 1,31 und einen p-Wert von 0,22, was darauf hinweist, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Zeiten gibt, in denen der pH-Wert unter 5,7 liegt.

Tabelle 4 Zeiten unter pH 5,7 von Basismessung 1 und Intervention 1; für alle Gruppen $p > 0,05$

Proband	Zeit unter 5,7 (Basismessung 1) [min]	Zeit unter 5,7 (Intervention 1) [min]
1	0	0
2	18,4	0
3	15,5	7,3
4	21,6	11,3
5	0	0
6	0	0

4.3.2 Vergleich Basismessung 2 und Interventionen 2 und 3

Die Ergebnisse der Basismessung 2 (4x Saccharose) wurden mit den Interventionen 2 (4x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) und 3 (1x Arginin-Hydrogencarbonat + 4x Saccharose) verglichen. Die pH-Werte wurden ebenfalls zu verschiedenen Messzeitpunkten erfasst und durch Mittelwert und Standardabweichung ($\pm SD$) beschrieben. Einige Messzeitpunkte zeigen p-Werte unter 0,05, was auf statistische Signifikanz im Vergleich zur Basismessung 2 hinweist. **Tabelle 5** zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der pH-Werte für Basismessung 2, Intervention 2 und Intervention 3. Die p-Werte zeigen, dass einige Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch signifikant sind ($p < 0,05$). **Abbildung 6** veranschaulicht den pH-Verlauf für Basismessung 2 im Vergleich zu Interventionen 2 und 3.

Tabelle 5 Mittelwert und Standardabweichung der pH-Werte für Basismessung 2 (4x Saccharose), Intervention 2 (4x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) und Intervention 3 (1x Arginin-Hydrogencarbonat + 4x Saccharose), rot markiert $p < 0,05$ im Vergleich zu Basismessung 2

Messzeitpunkte (min)	Basismessung 2	Intervention 2	Intervention 3
5	7,16 ± 0,30	6,98 ± 0,46	6,94 ± 0,38
15	7,16 ± 0,30	6,98 ± 0,46	6,94 ± 0,38
17	5,92 ± 0,36	6,83 ± 0,63	6,68 ± 0,40
20	5,86 ± 0,76	6,58 ± 0,35	6,56 ± 0,87
25	6,29 ± 0,68	6,59 ± 0,56	6,37 ± 0,75
35	5,86 ± 0,57	6,43 ± 0,56	5,78 ± 0,61
50	5,93 ± 0,59	6,63 ± 0,25	6,14 ± 0,82
65	5,97 ± 0,58	6,53 ± 0,62	6,21 ± 0,67

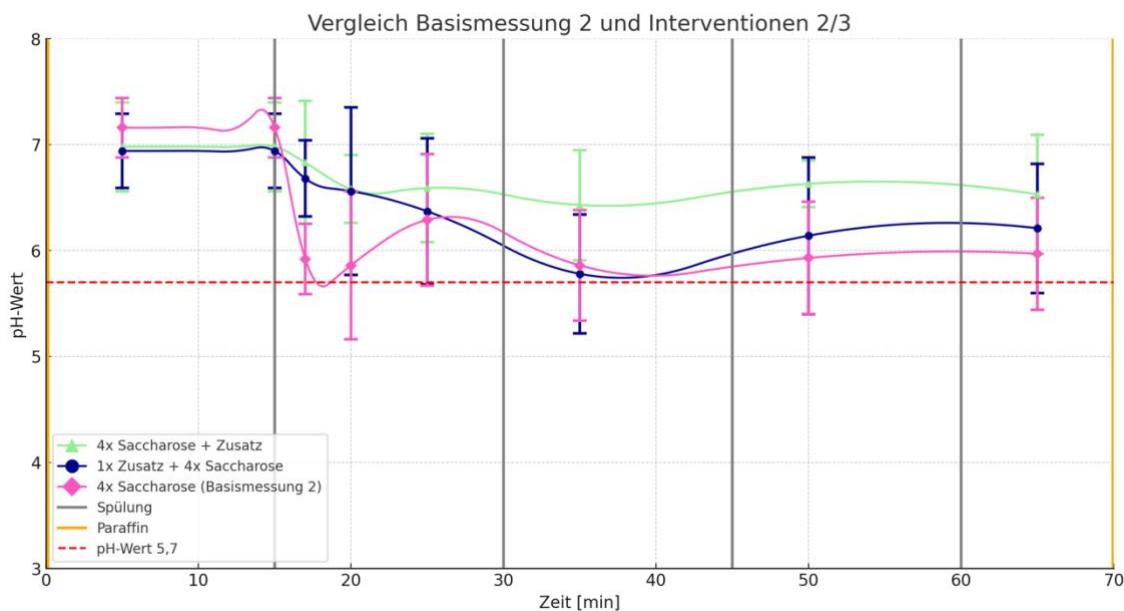


Abbildung 6 Der Verlauf des pH-Werts für Basismessung 2 (4x Saccharose) wird mit Interventionen 2 (1x Arginin-Hydrogencarbonat + 4x Saccharose) und 3 (4x Saccharose + Arginin-Hydrogencarbonat) verglichen. Spülungen wurden bei 15, 30, 45 und 60 Minuten durchgeführt, Paraffin bei 0 und 70 Minuten. Der rote Strich markiert den pH-Wert von 5,7.

Die Zeit unter einem pH-Wert von 5,7 wurde ebenfalls für die Basismessung 2 sowie für die Interventionen 2 und 3 ermittelt. **Tabelle 6** zeigt die Ergebnisse für die Zeit unter

einem pH-Wert von 5,7 für diese Gruppen. Der durchgeführte t-Test ergab folgende Ergebnisse:

- **Basismessung 2 vs. Intervention 2:** t-Wert von 1,72 und p-Wert von 0,116, was darauf hinweist, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Zeiten gibt, in denen der pH-Wert unter 5,7 liegt.
- **Basismessung 2 vs. Intervention 3:** t-Wert von 0,11 und p-Wert von 0,915, was ebenfalls darauf hinweist, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den Zeiten gibt, in denen der pH-Wert unter 5,7 liegt.

Tabelle 6 Zeiten unter pH 5,7 von Basismessung 2, Intervention 2 und 3; für alle Gruppen $p > 0,05$

Proband	Zeit unter 5,7 (Basismessung 2) [min]	Zeit unter 5,7 (Intervention 2) [min]	Zeit unter 5,7 (Intervention 3) [min]
1	0	0	0
2	23,2	15,9	14,8
3	11,1	0	31,2
4	48,3	0	43,4
5	0,9	0	0
6	12,9	0	0

4.3.3 Vergleich der Zeiten unter pH 5,7 und DMFT

Im weiteren Verlauf wurde der Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Plaque-pH unter dem kritischen Wert von 5,7 liegt und dem DMFT-Wert (Decayed, Missing, Filled Teeth) der Probanden analysiert. Als Grundlage diente die Basismessung 2, bei der die Probanden mehrfach eine kohlenhydrathaltige Lösung getrunken haben, um den pH-Abfall zu simulieren. Die DMFT-Werte wurden anschließend mit der gemessenen Zeit unter pH 5,7 verglichen.

Zur Analyse des Zusammenhangs wurde die Spearman-Korrelationsmethode verwendet, da diese sich aufgrund der geringen Stichprobengröße und der nicht zwingend linearen Verteilung der Daten als geeignet erwies. Die Ergebnisse zeigten

einen starken positiven Zusammenhang zwischen der Zeit unter pH 5,7 und dem DMFT-Wert ($r=0,927$ $p=0,009$) siehe **Abbildung 7**. Dies deutet darauf hin, dass die Höhe des DMFT-Wertes mit der Zeit unter dem kritischen pH-Wert von 5,7 korreliert. Die statistische Signifikanz des Ergebnisses unterstützt die Hypothese, dass ein längerer pH-Abfall einen negativen Einfluss auf die Zahngesundheit haben könnte.

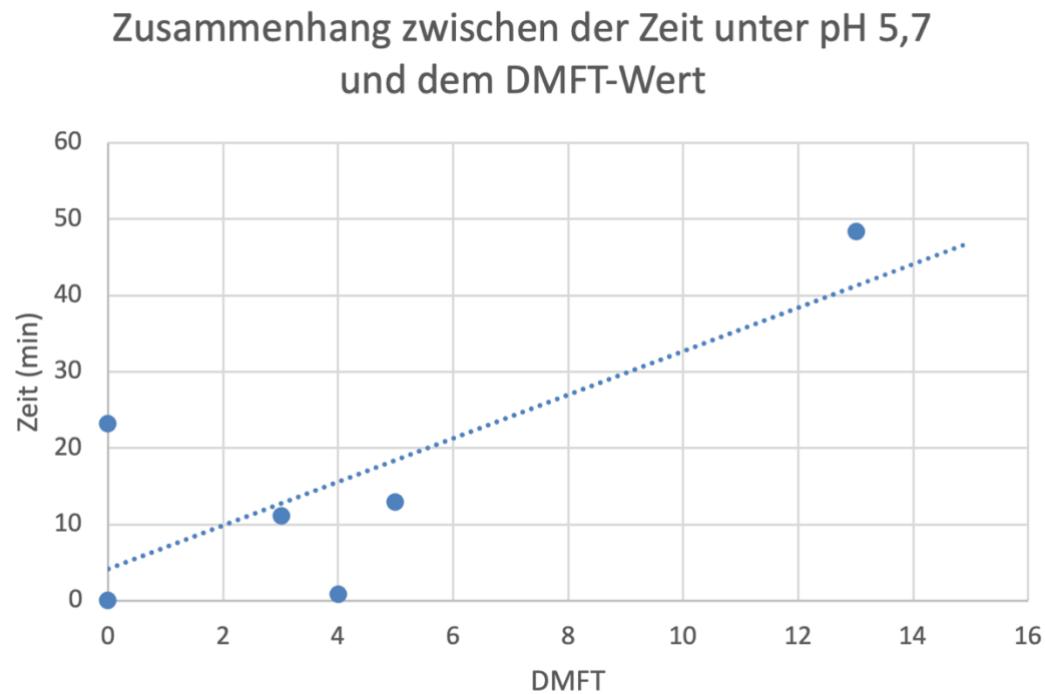


Abbildung 7 Zusammenhang zwischen der Zeit unter pH 5,7 in der Basismessung 2 und dem DMFT-Wert ($r = 0,927$, $p = 0,009$)

5. Diskussion

5.1 Hintergrund

Der regelmäßige Konsum von kohlenhydrathaltigen Getränken ist für Ausdauersportler essenziell, um den erhöhten Energiebedarf während langer Trainingseinheiten zu decken. Allerdings führt der häufige Kontakt der Zähne mit kurzkettigen Kohlenhydraten zu einem Absinken des Plaque-pH, was das Risiko für die Demineralisation des Zahnschmelzes und die Entstehung von Karies erhöht. Trotz einer oft überdurchschnittlichen allgemeinen Gesundheitsbewusstheit weisen viele Sportler deshalb eine unterdurchschnittliche Mundgesundheit auf.¹⁻³

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieser Studie zu untersuchen, ob der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat zu kohlenhydrathaltigen Getränken den Plaque-pH während sportlicher Belastung stabilisieren kann. Arginin-Hydrogencarbonat wurde aufgrund seiner in früheren Studien nachgewiesenen pH-neutralisierenden Eigenschaften ausgewählt.²⁶ Zudem sollte untersucht werden, welcher Verabreichungszeitpunkt des Zusatzstoffs am effektivsten ist, um praxisnahe Empfehlungen für Sportler ableiten zu können.

5.2 Pilotstudie

Die Messergebnisse der Pilotstudie zeigten nach der Spülung mit Saccharose ein deutliches Absinken des pH-Wertes, der im Verlauf der Messungen langsam wieder anstieg. Am zweiten Testtag, an dem Arginin-Hydrogencarbonat zu der Saccharose-Lösung hinzugefügt wurde, waren die pH-Werte insgesamt höher, was auf den pH-neutralisierenden Effekt des Zusatzstoffes hindeutet. Diese Messungen legen nahe, dass der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat den Abfall des Plaque-pH, der durch die Saccharose-Lösung induziert wurde, signifikant abschwächte und die Rückkehr zu einem neutralen pH-Wert beschleunigte.

5.3 Diskussion der Methoden

Diese kontrollierte und randomisierte Studie wurde an sechs gesunden, regelmäßig sportlich aktiven Probanden im Alter von 23 bis 31 Jahren vorgenommen. Die Studie wurde bewusst unter sportlicher Belastung durchgeführt, da diese zu einer Veränderung des Speichelflusses führt und da Ausdauersportler regelmäßig große Mengen an kurzkettigen Kohlenhydraten konsumieren müssen, um den erhöhten Energiebedarf während des Trainings zu decken. Diese kontinuierliche Kohlenhydratzufuhr hat in Kombination mit einer sportlich bedingten Reduktion des Speichelflusses und den damit einhergehenden Änderungen der Speichelbufferkapazität direkte Auswirkungen auf den Plaque-pH-Wert. Der Speichel, der unter Ruhebedingungen als natürlicher Puffer wirkt, ist während sportlicher Belastung weniger effektiv, wodurch der pH-Wert länger unter den kritischen Wert von 5,7 fallen kann.^{2,7,8}

Um eine ausreichend reife Plaque für die pH-Messung zur Verfügung zu haben, wurde eine gezielte Plaque-Akkumulation an den Zähnen der Probanden induziert. Die Probanden mussten in den zwei Tagen vor den jeweiligen Untersuchungen die Zahnpflege aussetzen und durften nur mit Wasser den Mund ausspülen. Am Tag der Intervention nahmen sie drei Stunden vor Beginn eine standardisierte Mahlzeit auf, um den Einfluss unterschiedlicher Ernährungsgewohnheiten zu minimieren.

Zur Herstellung der Kohlenhydratlösungen wurde Saccharose verwendet, da dies in der Literatur häufig beschrieben wird und über ein Glukose/Fruktose Verhältnis von 1:1 verfügt.^{26,34} Dieses Verhältnis ist in der Sportwissenschaft gut erforscht, da es eine hohe Oxidation von extern zugeführten Kohlenhydraten ermöglicht.^{38,39} Zudem wurde eine 1,5 % Arginin-Hydrogencarbonat-Lösung hergestellt, da damit in vorangegangenen Untersuchungen der beste stabilisierende Effekt auf den Plaque-pH erzielt wurde.²⁶

Die verabreichte Menge an Arginin-Hydrogencarbonat in der Testlösung betrug maximal 400 ml einer 1,5 %-Lösung, was einer Gesamtaufnahme von 3,2 g L-Arginin und 2,8 g Natrium-Hydrogencarbonat entspricht. Diese Mengen liegen weit unter der täglich üblichen Aufnahme von L-Arginin über die Nahrung (etwa 5–6 g pro Tag), sodass die

verabreichte Menge als unbedenklich einzustufen ist. Es kann jedoch zu Wechselwirkungen mit blutdrucksenden, blutverdünnenden und potenzsteigernden Medikamenten kommen. Für Natrium-Hydrogencarbonat gibt es keine abschließend definierte Tagesdosis (ETD), und es gilt generell als gesundheitlich unbedenklich, obwohl in höheren Konzentrationen Nebenwirkungen wie Magen-Darm-Beschwerden, Hypernatriämie oder Alkalose auftreten können. Die in der Studie verwendete Dosis ist jedoch eher gering, so dass tatsächlich auch keiner der Probanden über Nebenwirkungen berichtete.⁴⁰⁻⁴² L-Arginin wird bereits seit langem im Kraft- und Ausdauersport verwendet, da positive Effekte auf die Durchblutung und die Ausdauerfähigkeit nachgewiesen worden sind.⁴³⁻⁴⁵ Natrium-Hydrogencarbonat findet ebenfalls zunehmend Verwendung im Ausdauersport, da seine Pufferwirkung während hoher Belastungen zur Neutralisation der H⁺-Ionen im Blutplasma beiträgt.⁴⁶ Diese Untersuchungen belegen, dass die Zusatzstoffe Arginin und Hydrogencarbonat im sportlichen Kontext bereits etabliert sind.

Zudem besteht die Hypothese, dass eine regelmäßige Aufnahme von Arginin-Hydrogencarbonat die Aktivität der Arginin-Deiminase-Systeme (ADS) im oralen Biofilm steigern kann. Dies könnte langfristig zu einer Stabilisierung des Plaque-pH beitragen und präventive Effekte gegenüber Karies und Zahnschmelzdemineralisation zeigen. Frühere Studien haben gezeigt, dass ADS-aktive Bakterien im Biofilm eine puffernde Wirkung haben und dadurch den Säuregehalt reduzieren können. Solche Effekte könnten insbesondere für Sportler, die häufig kohlenhydrathaltige Getränke konsumieren, von Bedeutung sein.^{28,29,47-50}

Die sportliche Belastung wurde durch ein Ergometertraining bei 50 % der individuellen VO₂max standardisiert, um vergleichbare physiologische Bedingungen zu schaffen. Die Wahl der Sampling-Methode zur Bestimmung des Plaque-pH erfolgte aufgrund ihrer Praktikabilität und Verfügbarkeit, da alternative Methoden wie die Telemetrie aufgrund fehlender Zahnlücken für die Integration der Messsonden oder die Microtouch-Methode wegen mangelnder Verfügbarkeit der Sonden nicht umsetzbar waren.^{35,51}

Eine mögliche Fehlerquelle der Methode ist die Verdünnung der entnommenen Probe, die den gemessenen pH-Wert potenziell beeinflusst. Wir haben daher eine in der Literatur übliche Verdünnung von 50 µl verwendet. Eine bessere Einschätzung des realen Plaque-pH würden jedoch kontinuierliche Messmethoden wie die Telemetrie oder die Microtouch-Methode erlauben.

5.4 Ergebnisse und Interpretation

Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat einen Einfluss auf den Plaque-pH-Verlauf hat. In Intervention 1, bei der der Zusatzstoff einmalig zusammen mit der Saccharose-Lösung verabreicht wurde, konnten wir keine signifikanten Unterschiede zur Basismessung feststellen. Dies legt nahe, dass eine einmalige Einnahme des Zusatzstoffs nicht ausreicht, um den Plaque-pH über einen längeren Zeitraum stabil zu halten.

In den Interventionen 2 und 3 konnten wir zu bestimmten Messzeitpunkten signifikante Unterschiede zur Basismessung 2 feststellen. Besonders in Intervention 2, bei der Arginin-Hydrogencarbonat zusammen mit jeder Saccharose-Einnahme verabreicht wurde, zeigte sich ein geringerer Abfall des Plaque-pH und nachfolgende Stabilisierung über den restlichen Untersuchungszeitraum. Während bei Intervention 3, bei der Arginin-Hydrogencarbonat anfänglich einmalig und danach viermalig Saccharose-Lösung gespült wurde, nur am Anfang eine stabilisierende Wirkung auf den Plaque-pH-Wert hatte, der im Verlauf durch wiederholtes Spülen mit der Saccharose Lösung verschwand. Dies deutet darauf hin, dass die wiederholte Einnahme des Zusatzstoffs während längerer Trainingsphasen effektiver ist, um den Plaque-pH zu stabilisieren und somit das Risiko für Zahnschmelzdemineralisation zu reduzieren.

Die Zeiten, in denen der Plaque-pH unter den kritischen Wert von 5,7 fiel, unterschieden sich jedoch nicht signifikant zwischen den Basismessungen und den entsprechenden Interventionen. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Zusatzstoff zwar einen Einfluss auf den pH-Verlauf hat, aber nicht ausreichend ist, um die kritische Phase der Demineralisation vollständig zu verhindern.

Die Spearman-Korrelationsanalyse ergab einen sehr starken positiven Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Plaque-pH unter dem kritischen Wert von 5,7 liegt, und dem DMFT-Wert ($r=0,927$, $p=0,009$). Dies deutet darauf hin, dass längere Zeiträume mit einem Plaque-pH-Wert unter 5,7 eng mit einer schlechteren Zahngesundheit in Form eines höheren DMFT-Wertes korrelieren. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, wonach ein anhaltender pH-Abfall unter den kritischen Wert die Entwicklung kariöser Läsionen begünstigen könnte. Die statistische Signifikanz des Ergebnisses verstärkt die Aussagekraft, auch wenn die kleine Stichprobengröße die Übertragbarkeit einschränken könnte. Zudem ist diese Korrelation auch eine Erklärung, warum die Zeiten unter pH 5,7 in unserer Studie stark variieren, da der DMFT-Wert offenbar einen erheblichen Einfluss auf die individuelle Anfälligkeit für pH-Abfälle und deren Dauer hat.

Die starke Korrelation zeigt, dass ein gezieltes Management des Plaque-pH, insbesondere während längerer Trainingsphasen, potenziell von großer Bedeutung für die Prävention von Zahnschäden sein könnte. Der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat, der in dieser Studie eingesetzt wurde, könnte dabei eine Schlüsselrolle spielen, da er den Plaque-pH stabilisieren und somit das Risiko für Demineralisationen des Zahnschmelzes reduzieren kann. Zukünftige Studien sollten diesen Zusammenhang weiter untersuchen, idealerweise mit einer größeren Kohorte, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen.

Zusammenfassend zeigen unsere Ergebnisse, dass der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat während sportlicher Aktivitäten einen positiven Effekt auf den Plaque-pH hat, insbesondere bei wiederholter Einnahme. Obwohl die Zeiten unter einem kritischen pH-Wert von 5,7 in unseren Studien nicht signifikant reduziert wurden, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Zusatzstoff das Potenzial hat, das Kariesrisiko zu minimieren. Bisher wurde der Zusatzstoff primär in Zahnpasten zur lokalen Applikation eingesetzt, wo er seine pH-neutralisierenden Eigenschaften unter kontrollierten Bedingungen zeigen konnte.³⁰⁻³³ In unserer Studie wurde die Lösung jedoch nicht ausgespült, sondern konsumiert, was die Fragestellung aufwirft, ob der Zusatzstoff auch systemisch aufgenommen werden könnte.

5.5 Einordnung in die Literatur

Unsere Ergebnisse bestätigen und erweitern die Erkenntnisse frühere Studien, die die pH-neutralisierenden Eigenschaften von Arginin-Hydrogencarbonat dokumentiert haben.^{26,28} Während diese Studien immer unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführt wurden, konnten in vorliegender Studie die Wirkung unter realen sportlichen Bedingungen nachgewiesen werden. Dies ist besonders relevant, da Ausdauersportler häufig kohlenhydrathaltige Getränke konsumieren und dabei einem erhöhten Risiko für Karies ausgesetzt sind.¹⁻³

Frühere Studien konnten zeigen, dass Arginin-Hydrogencarbonat den Plaque-pH stabilisieren kann, indem es die Säureproduktion im oralen Biofilm reduziert.^{26,28} Unsere Ergebnisse bestätigen diese Beobachtungen, zeigen jedoch auch, dass die Effektivität des Zusatzstoffs von der Häufigkeit der Einnahme abhängt. Während eine einmalige Applikation in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe zeigte, führte die wiederholte Einnahme zu einer signifikanten Stabilisierung des Plaque-pH. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Wang et al., die ebenfalls eine dosisabhängige Wirkung von Arginin-Hydrogencarbonat feststellten.^{26,28}

Ein entscheidender Unterschied zu früheren Studien ist die Durchführung unserer Untersuchungen unter sportlicher Belastung. Während des Trainings kommt es zu einer Reduktion des Speichelflusses und einer Veränderung der Speichelbufferkapazität, was den Plaque-pH zusätzlich beeinflusst.^{2,7,8} Unsere Studie zeigt, dass der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat auch unter diesen erschweren Bedingungen einen positiven Effekt auf den Plaque-pH hat. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Literatur, da bisherige Studien diesen Aspekt nicht berücksichtigt haben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt unserer Studie ist die Analyse der Zeit, die der Plaque-pH unter dem kritischen Wert von 5,7 liegt. Während frühere Studien gezeigt haben, dass ein längerer pH-Abfall die Demineralisation des Zahnschmelzes erhöht, konnten wir diesen Zusammenhang in unserer Studie durch die starke positive Korrelation zwischen der Zeit unter pH 5,7 und dem DMFT-Wert ($r=0,927$, $p=0,009$) bestätigen.^{9,10} Dies

unterstreicht die Bedeutung einer gezielten pH-Stabilisierung, insbesondere bei Sportlern, die häufig kohlenhydrathaltige Getränke konsumieren.

Unsere Ergebnisse belegen, dass die wiederholte Einnahme von Arginin-Hydrogencarbonat während sportlicher Belastung effektiver ist als eine einmalige Applikation. Dies ist ein wichtiger Hinweis für die Praxis, da Sportler häufig über längere Zeiträume kohlenhydrathaltige Getränke konsumieren. Die starke Korrelation zwischen der Zeit unter pH 5,7 und dem DMFT-Wert deutet darauf hin, dass individuelle Faktoren wie die Stärke des pH-Abfalls unter Exposition gegenüber Kohlenhydraten die Zahngesundheit beeinflussen. Dies könnte in zukünftigen Studien weiter untersucht werden, um individuelle Präventionsstrategien zu entwickeln. Im Gegensatz zu früheren Studien, die überwiegend unter Laborbedingungen durchgeführt wurden, haben wir die Wirkung von Arginin-Hydrogencarbonat unter realen klinischen Bedingungen unter standardisierter sportlicher Belastung getestet, wodurch die praktische Relevanz der Beobachtungen zusätzlich unterstrichen wird.

5.6 Limitationen

Während der Planung und Durchführung der Studie wurden mögliche Fehlerquellen identifiziert und Maßnahmen ergriffen, um diese zu minimieren. Eine mögliche Fehlerquelle ist die Plaque-Akkumulation, die stark von der individuellen Mundhygiene abhängt. Um sicherzustellen, dass eine ausreichende Menge an Plaque vorhanden war, durften die Probanden zwei Tage vor den klinischen Messungen nicht Zähneputzen. Die standardisierte sportliche Belastung bei 50 % der VO₂max diente dazu, individuelle Unterschiede in der Intensität zu minimieren, die den Speichelfluss und damit den Plaque-pH beeinflussen könnten. Auch die Ernährung kann den pH-Wert im Mund beeinflussen. Aus diesem Grund haben wir darauf geachtet, dass die Probanden vor den Tests eine standardisierte Mahlzeit, bestehend aus drei Scheiben Toast mit Marmelade, erhielten, um den Einfluss von individuellen Ernährungsgewohnheiten zu minimieren. Ein weiteres Problem lag in der Auswahl und Etablierung einer Messmethode für den pH-Wert in der Plaque. Die Telemetric-Methode stellte sich als schwer umsetzbar heraus, da potenzielle Probanden keine Zahnlücken aufwiesen, die notwendig wären,

um die Messsonden am Zahn zu befestigen. Die Messsonden für die Microtouch-Methode werden aktuell nicht mehr hergestellt und konnten auch über Kontakte zu anderen Forschungsgruppen nicht beschafft werden. Aus diesem Grund wurde auf die Sampling-Methode zurückgegriffen, da pH-Messsonden für die extraorale Messung verfügbar waren. Die Sampling-Methode erlaubt jedoch nur punktuelle Messungen und kann schnelle pH-Schwankungen möglicherweise nicht ausreichend erfassen. Wir stellten jedoch sicher, dass die pH-Werte unmittelbar nach der Probenentnahme gemessen wurden, um mögliche Abweichungen zu minimieren. Zudem führt eine Verdünnung der entnommenen Probe zur Erhöhung des pH-Wertes, da die Konzentration an H⁺-Ionen sinkt. Wir haben daher eine in der Literatur übliche und gut erforschte Verdünnung von 50 µl verwendet. Eine bessere Einschätzung des realen Plaque-pHs erlauben jedoch direkte Messmethoden wie die Telemetric- und Microtouch-Methode.

Trotz dieser Maßnahmen stellt die geringe Stichprobengröße von sechs Probanden eine Einschränkung in Bezug auf die Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Um die statistische Aussagekraft weiter zu erhöhen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine breitere Population zu gewährleisten, wären größere Studien erforderlich.

Ein weiterer methodischer Aspekt, der die Aussagekraft der Studie einschränkt, betrifft die Korrelationsanalyse zwischen der Zeit unter pH 5,7 und dem DMFT-Wert. Obwohl die Spearman-Korrelationsmethode aufgrund der geringen Stichprobengröße und der nicht normalverteilten Daten geeignet ist, bleibt die geringe Teilnehmerzahl ein kritischer Punkt. Mit nur sechs Probanden können zufällige Variationen einen größeren Einfluss auf die Ergebnisse haben, wodurch die Generalisierbarkeit der festgestellten Korrelation eingeschränkt ist.

Darüber hinaus variieren die DMFT-Werte der Probanden stark, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte. Diese Variation deutet darauf hin, dass individuelle Faktoren, wie genetische Prädispositionen, Ernährungsgewohnheiten oder die Mundhygiene der Probanden, eine wichtige Rolle spielen könnten. Diese Faktoren wurden in der aktuellen Studie nicht erhoben und sollten in zukünftigen

Untersuchungen berücksichtigt werden, um den Zusammenhang zwischen pH-Wert und DMFT-Wert umfassender zu bewerten.

Ein weiterer potenzieller Schwachpunkt unserer Studie liegt in der fehlenden Doppelverblindung. Der Behandler wusste bei jeder Intervention, welche Testlösung verabreicht wurde. Dies könnte theoretisch zu einer unbewussten Beeinflussung der Ergebnisse geführt haben, auch wenn wir versucht haben, die Durchführung der Messungen so standardisiert und objektiv wie möglich zu gestalten. Aufgrund der begrenzten personellen Ressourcen war es jedoch nicht möglich, eine vollständige Doppelblindstudie durchzuführen, bei der weder der Behandler noch die Probanden wussten, welche Lösung verabreicht wurde.

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die Probanden durch die unterschiedlichen Einnahmezeitpunkte der Testlösungen an den verschiedenen Testtagen, sowie durch den Geschmack der Lösungen, möglicherweise ahnten, welche Lösung sie gerade erhielten. Dies könnte ebenfalls das Verhalten der Probanden und ihre Reaktionen auf die Testlösungen beeinflusst haben. Eine vollständige Verblindung wäre ideal gewesen, um jegliche subjektive Einflüsse seitens der Probanden und des Behandlers zu vermeiden. In zukünftigen Studien könnte es sinnvoll sein, Maßnahmen zu treffen, um diese Limitation zu minimieren, wie etwa den Einsatz von Placebos, die geschmacklich nicht von den Testlösungen zu unterscheiden sind, sowie die Einbindung eines unabhängigen Behandlers zur Durchführung der Messungen.

Neben der bereits erwähnten Stichprobengröße und den Limitationen durch die Sampling-Methode gibt es weitere Faktoren, die die Ergebnisse beeinflusst haben könnten. Individuelle Unterschiede in der Speichelzusammensetzung, dem Speichelfluss und der Biochemie des Zahnbelaags könnten zu variierenden pH-Verläufen geführt haben. Diese individuellen Schwankungen könnten jedoch durch eine größere Studienpopulation ausgeglichen werden. Darüber hinaus würden kontinuierliche Methoden wie die Telemetrie eine genauere und präzisere Messung des Plaque-pH ermöglichen.

5.7 Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie legen nahe, dass der Zusatz von Arginin-Hydrogencarbonat zu kohlenhydrathaltigen Getränken während sportlicher Aktivitäten das Potenzial hat, den Plaque-pH zu stabilisieren und das Kariesrisiko zu verringern. Zukünftige Studien sollten jedoch mit einer größeren Stichprobe durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu bestätigen. Zudem wäre es wünschenswert, alternative Messmethoden wie die Telemetrie zu verwenden, um präzisere Daten über den pH-Verlauf im Mund zu erhalten. Darüber hinaus sollte die optimale Dosierung und der Verabreichungszeitpunkt von Arginin-Hydrogencarbonat weiter untersucht werden, um die besten präventiven Effekte für die Zahngesundheit von Sportlern zu erzielen.

Die starke positive Korrelation zwischen der Zeit, die der Plaque-pH unter dem kritischen Wert von 5,7 liegt, und dem DMFT-Wert zeigt, dass längere pH-Abfälle eng mit schlechterer Zahngesundheit assoziiert sind. Diese Erkenntnis unterstreicht die Bedeutung einer weiteren Analyse individueller Faktoren, wie beispielsweise der Plaque-Zusammensetzung und der Speichelfließrate, da diese möglicherweise maßgeblich beeinflussen, wie lange der pH-Wert unter dem kritischen Wert verbleibt.

Neben einer größeren Stichprobe könnten zukünftige Studien daher auch auf diese zusätzlichen Parameter eingehen, um die beobachteten Variationen zwischen den Probanden besser zu verstehen und den Zusammenhang zwischen pH-Wert und DMFT-Wert weiter zu validieren. Solche Untersuchungen könnten nicht nur zur Verbesserung präventiver Maßnahmen beitragen, sondern auch spezifische Empfehlungen zur individuellen Kariesprophylaxe im sportlichen Kontext ermöglichen.

Zukünftige Studien sollten zudem untersuchen, ob eine regelmäßige Einnahme des Zusatzstoffes über einen längeren Zeitraum tatsächlich zu einem stabileren Plaque-Mikrobiom und einem nachhaltigeren Schutz vor Karies führen kann. Dabei könnten auch unterschiedliche Dosierungen und Applikationsformen (z. B. als Bestandteil von Sportgetränken) getestet werden, um die präventiven Effekte weiter zu optimieren.

6. Literaturverzeichnis

1. Gallagher J, Ashley P, Petrie A, Needleman I. Oral health-related behaviours reported by elite and professional athletes. *British Dental Journal.* 2019;227(4):276-280. doi:10.1038/s41415-019-0617-8
2. Frese C, Frese F, Kuhlmann S, et al. Effect of endurance training on dental erosion, caries, and saliva: Endurance sports and oral health. *Scandinavian journal of medicine & science in sports.* 06/11 2014;25doi:10.1111/sms.12266
3. Needleman I, Ashley P, Meehan L, et al. Poor oral health including active caries in 187 UK professional male football players: clinical dental examination performed by dentists. *Br J Sports Med.* Jan 2016;50(1):41-4. doi:10.1136/bjsports-2015-094953
4. Stellingwerff T, Cox GR. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab.* Sep 2014;39(9):998-1011. doi:10.1139/apnm-2014-0027
5. Jeukendrup A. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Med.* May 2014;44 Suppl 1(Suppl 1):S25-33. doi:10.1007/s40279-014-0148-z
6. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* Mar 2016;116(3):501-528. doi:10.1016/j.jand.2015.12.006
7. Horswill C, Stofan J, Horn M, Eddy D, Murray R. Effect of Exercise and Fluid Consumption on Salivary Flow and pH. *International Journal of Sports Medicine.* 2006;27(6):500-504. doi:10.1055/s-2005-865779
8. Li T, Gleeson M. The effect of single and repeated bouts of prolonged cycling and circadian variation on saliva flow rate, immunoglobulin a and-amylase responses. *J Sports Sci.* 2004;22(11-12):1015-1024.
9. Fejerskov O, & Kidd, E. *Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management.* 2008.
10. Marsh PD, & Martin, M. V. *Oral Microbiology.* Churchill Livingstone; 2009.
11. Imfeld T. Kohlenhydrate und Zahnkaries. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin (SZE).* 2009;7(3):28-31.
12. Finke CH. *Karies Entstehung und Prophylaxe.* Springer Berlin Heidelberg; 2013:377-385.

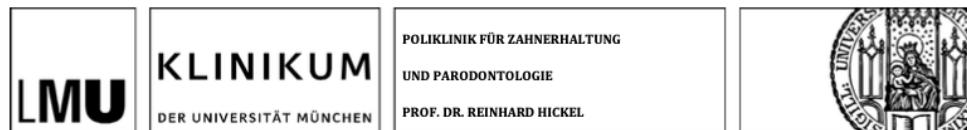
13. Bowen WH, Koo H. Biology of Streptococcus mutans-derived glucosyltransferases: role in extracellular matrix formation of cariogenic biofilms. *Caries Res.* 2011;45(1):69-86. doi:10.1159/000324598
14. Loesche WJ. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. *Microbiol Rev.* Dec 1986;50(4):353-80. doi:10.1128/mr.50.4.353-380.1986
15. Marsh PD. Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology (Reading)*. Feb 2003;149(Pt 2):279-294. doi:10.1099/mic.0.26082-0
16. Beighton D. The complex oral microflora of high-risk individuals and groups and its role in the caries process. *Community Dent Oral Epidemiol.* Aug 2005;33(4):248-55. doi:10.1111/j.1600-0528.2005.00232.x
17. Zero DT. Etiology of dental erosion--extrinsic factors. *Eur J Oral Sci.* Apr 1996;104(2 (Pt 2)):162-77. doi:10.1111/j.1600-0722.1996.tb00065.x
18. Lussi A, Hellwig E. Risk assessment and causal preventive measures. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:220-9. doi:10.1159/000360612
19. Gustafsson BE, Quensel CE, Lanke LS, et al. The Vipeholm dental caries study; the effect of different levels of carbohydrate intake on caries activity in 436 individuals observed for five years. *Acta Odontol Scand.* Sep 1954;11(3-4):232-64. doi:10.3109/00016355308993925
20. Moynihan PJ. Dietary advice in dental practice. *Br Dent J.* Nov 23 2002;193(10):563-8. doi:10.1038/sj.bdj.4801628
21. Sreebny LM. Saliva in health and disease: an appraisal and update. *Int Dent J.* Jun 2000;50(3):140-61. doi:10.1111/j.1875-595x.2000.tb00554.x
22. Sá-Pinto AC, Rego TM, Marques LS, Martins CC, Ramos-Jorge ML, Ramos-Jorge J. Association between malocclusion and dental caries in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Paediatr Dent.* Apr 2018;19(2):73-82. doi:10.1007/s40368-018-0333-0
23. Ericsson Y. Enamel-apatite solubility ; Investigations into the calcium phosphate equilibrium between enamel and saliva and its relation to dental caries. *Acta Odont Scan.* 1949 1949;8(3):1-139.
24. Dawes C. What is the critical pH and why does a tooth dissolve in acid? *Journal-Canadian Dental Association.* 2003;69(11):722-725.
25. Wang XL, Cheng CY, Ge CL, Wang B, Gan YH. Urea rinse effectively neutralises sucrose-induced decrease in plaque pH. *Chin J Dent Res.* 2015;18(3):185-90.

26. Wang XL, Cheng CY, Peng D, Wang B, Gan YH. Dental plaque pH recovery effect of arginine bicarbonate rinse in vivo. *Chin J Dent Res.* 2012;15(2):115-20.
27. Wang XL, Cheng CY, Peng D, Wang B, Gan YH. Inhibition of acidogenicity in dental plaque by sodium fluoride solution after sucrose rinse. *Chinese Journal of Dental Research.* 2013;16(2):137-44.
28. Eick S, Lussi A. Arginine: A Weapon against Cariogenic Biofilm? *Monogr Oral Sci.* 2021;29:80-90. doi:10.1159/000510203
29. Nascimento MM, Browngardt C, Xiaohui X, Klepac-Ceraj V, Paster BJ, Burne RA. The effect of arginine on oral biofilm communities. *Molecular Oral Microbiology.* 2014;29(1):45-54. doi:10.1111/omi.12044
30. Cantore R, Petrou I, Lavender S, et al. In situ clinical effects of new dentifrices containing 1.5% arginine and fluoride on enamel de- and remineralization and plaque metabolism. *J Clin Dent.* 2013;24 Spec no A:A32-44.
31. Li X, Zhong Y, Jiang X, et al. Randomized clinical trial of the efficacy of dentifrices containing 1.5% arginine, an insoluble calcium compound and 1450 ppm fluoride over two years. *J Clin Dent.* 2015;26(1):7-12.
32. Santarpia RP, 3rd, Lavender S, Gittins E, Vandeven M, Cummins D, Sullivan R. A 12-week clinical study assessing the clinical effects on plaque metabolism of a dentifrice containing 1.5% arginine, an insoluble calcium compound and 1,450 ppm fluoride. *Am J Dent.* Apr 2014;27(2):100-5.
33. Wolff M, Corby P, Klaczany G, et al. In vivo effects of a new dentifrice containing 1.5% arginine and 1450 ppm fluoride on plaque metabolism. *J Clin Dent.* 2013;24 Spec no A:A45-54.
34. Lingström P, Imfeld T, Birkhed D. Comparison of Three Different Methods for Measurement of Plaque-pH in Humans after Consumption of Soft Bread and Potato Chips. *Journal of Dental Research.* 1993;72(5):865-870. doi:10.1177/00220345930720050601
35. Frostell G. A Method for Evaluation of Acid Potentialities of Foods. *Acta Odontologica Scandinavica.* 1970;28(5):599-608. doi:10.3109/00016357009058585
36. Imfeld TN. Identification of low caries risk dietary components. *Monogr Oral Sci.* 1983;11:1-198.
37. Pollard MA, Imfeld T, Higham SM, et al. Acidogenic potential and total salivary carbohydrate content of expectorants following the consumption of some cereal-based foods and fruits. *Caries Res.* 1996;30(2):132-7. doi:10.1159/000262149

38. Viribay A, Arribalzaga S, Mielgo-Ayuso J, Castañeda-Babarro A, Seco-Calvo J, Urdampilleta A. Effects of 120 g/h of Carbohydrates Intake during a Mountain Marathon on Exercise-Induced Muscle Damage in Elite Runners. *Nutrients*. May 11 2020;12(5):doi:10.3390/nu12051367
39. Jeukendrup A. The optimal ratio of carbohydrates. Accessed 10.12.2024, <https://www.mysportscience.com/post/the-optimal-ratio-of-carbohydrates>
40. Ahorn-Apotheke. L-Arginin- & L-Ornithin: Wirkung, Dosierung & Einnahme der Aminosäuren. Updated 24.03.2021. Accessed 30.11.2022, <https://www.ahorn-apotheke.co/gesundheitsbibliothek/index/l-arginin-l-ornithin/#:~:text=Nat%C3%BCrliches%20L%2DArginin%20ist%20in,Garnelen%20liefern%20die%20wertvolle%20Aminos%C3%A4ure>.
41. PharmaWiki. Natriumhydrogencarbonat (Natron). Updated 14.05.2022. Accessed 30.11.2022, <https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=natriumhydrogencarbonat>
42. Lebensmittellexikon. Natriumhydrogenkarbonat, Bikarbonat, Backsoda, E 500ii, Natron. Updated 24.05.2015. Accessed 30.11.2022, <https://www.lebensmittellexikon.de/n000390.php#3>
43. Rezaei S, Gholamalizadeh M, Tabrizi R, Nowrouzi-Sohrabi P, Rastgoo S, Doaei S. The effect of L-arginine supplementation on maximal oxygen uptake: A systematic review and meta-analysis. *Physiol Rep*. Feb 2021;9(3):e14739. doi:10.14814/phy2.14739
44. Bailey SJ, Winyard PG, Vanhatalo A, et al. Acute L-arginine supplementation reduces the O₂ cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol* (1985). Nov 2010;109(5):1394-403. doi:10.1152/japplphysiol.00503.2010
45. Wu G, Meininger CJ, McNeal CJ, Bazer FW, Rhoads JM. Role of L-Arginine in Nitric Oxide Synthesis and Health in Humans. *Adv Exp Med Biol*. 2021;1332:167-187. doi:10.1007/978-3-030-74180-8_10
46. Grgic J, Pedisic Z, Saunders B, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr*. Sep 9 2021;18(1):61. doi:10.1186/s12970-021-00458-w
47. Nascimento MM. Potential Uses of Arginine in Dentistry. *Adv Dent Res*. Feb 2018;29(1):98-103. doi:10.1177/0022034517735294
48. Nascimento MM, Gordan VV, Garvan CW, Browngardt CM, Burne RA. Correlations of oral bacterial arginine and urea catabolism with caries experience. *Oral Microbiology and Immunology*. 2009;24(2):89-95. doi:10.1111/j.1399-302x.2008.00477.x

49. Gordan VV, Garvan CW, Ottenga ME, et al. Could Alkali Production Be Considered an Approach for Caries Control. *Caries Research.* 2010;44(6):547-554. doi:10.1159/000321139
50. Huang X, Schulte RM, Burne RA, Nascimento MM. Characterization of the Arginolytic Microflora Provides Insights into pH Homeostasis in Human Oral Biofilms. *Caries Research.* 2015;49(2):165-176. doi:10.1159/000365296
51. Lingström P, Birkhed D, Granfeldt Y, Björck I. pH Measurements of Human Dental Plaque after Consumption of Starchy Foods Using the Microtouch and the Sampling Method. *Caries Research.* 1993;27(5):394-401. doi:10.1159/000261570

Anhang A:



Informationsblatt und Einverständniserklärung zur wissenschaftlichen Studie zur „Auswirkung von Arginin-Bicarbonat auf die Stephan Kurve“

Liebe Probandin,

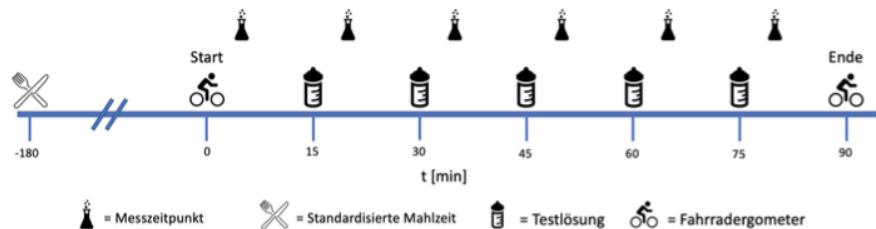
lieber Proband!

Häufiger Konsum von Kohlenhydratgetränken fördert die Entstehung von Karies, da der pH-Wert auf den Zähnen nach dem Trinken stark abfällt. Durch den Abfall des pH-Wertes auf den Zähnen kommt es zu einer Auflösung von Zahnhartsubstanz. Geschieht dies zu häufig, gerät das Äquilibrium aus De- und Remineralisation aus dem Gleichgewicht und es kommt zur Entstehung von Karies.

Eine gemeinsame Studie der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie mit der Professur für Bewegung, Ernährung und Gesundheit der Technischen Universität München soll den Einfluss des Zusatzstoffes Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH-Verlauf während sportlicher Belastung untersuchen. Zudem sollen mittels eines Fragebogens die Ernährungsgewohnheiten der Probanden evaluiert werden.

Da Sie für die Teilnahme an der Studie geeignet wären, würden wir zunächst mit Ihnen eine Leistungsdiagnostik mit Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer durchführen, wobei Ihre individuelle Sauerstoffaufnahmefähigkeit (VO_{2max}) gemessen wird. Die Auswertung dieses Tests steht Ihnen Nachhinein selbstverständlich zur Verfügung. Anschließend erfolgen vier Interventionstage, an welchen die Veränderung des pH-Wertes auf den Zähnen aufgezeichnet wird. Sie müssten jeweils in den zwei Tagen vor den Interventionen das Zähneputzen aussetzen, damit ausreichend Zahnbelag für die Messungen des pH-Wertes zur Verfügung steht. Drei Stunden vor den Interventionen nehmen Sie eine standardisierte Mahlzeit, bestehend aus drei Scheiben Toast/Brot mit Belag nach Wahl, auf und anschließend wird bis zum Beginn der Intervention nur noch Wasser getrunken. Während den Interventionen fahren Sie ca. 90 min auf einem

Wasser getrunken. Während den Interventionen fahren Sie ca. 90 min auf einem Fahrradergometer im Grundlagenbereich. Sie spülen zu bestimmten Zeitpunkten mit Lösungen, welche Kohlenhydrate und/oder Arginin-Hydrogencarbonat enthalten und im Anschluss daran wird wiederholt der pH-Wert auf den Zähnen gemessen, indem etwas Zahnbefall entfernt wird. Im Anschluss eine schematische Abbildung zum exemplarischen Ablauf eines Interventionstages.



Der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat gilt als gesundheitlich unbedenklich, zudem sind die zu verabreichenden Mengen gering. Bei Arginin handelt es sich um eine semiessentielle Aminosäure, welche ebenfalls über die alltägliche Nahrung aufgenommen wird. Natriumhydrogencarbonat, besser bekannt als Backpulver, findet man ebenfalls in jeder Küche und wird als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Das Aussetzen des Zahnpfleges vor den Interventionstagen führt zur Ansammlung von Plaque. Der Zeitraum von zwei Tagen reicht jedoch nicht aus, um irreversible Schäden an den Zähnen und dem Zahnhalteteapparat hervorzurufen. Am Ende der Studie erhalten Sie eine kostenlose Professionelle Zahnpflege (PZR) mit anschließender Fluoridierung, um alle entstandenen Beläge zu entfernen und die Zähne zu remineralisieren.

Grundsätzlich unterliegen alle im Rahmen der Studie gewonnenen Daten der ärztlichen Schweigepflicht und werden pseudonymisiert ausgewertet. Die Zuordnung zwischen Identität des Probanden und den Versuchsergebnissen ist nur den Studienleitern möglich. Eine irreversible Anonymisierung der Daten ist nicht möglich, da eventuell zu einem späteren Zeitpunkt noch eine Verbindung zwischen individuellen klinischen (insbesondere zahnmedizinischen) Befunden, die zunächst nicht erfasst werden, und den Beobachtungen der Studie möglich bleiben soll. Die Daten werden zugangskodiert in einer Datenbank erfasst. Alle Unterlagen werden nur solange sie benötigt werden

an der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften aufbewahrt. Sobald die Daten nicht mehr benötigt werden, spätestens aber 10 Jahren nach Beginn der Studie, werden sie endgültig gelöscht. Ein Rücktritt von der Teilnahme an der Studie ist **jederzeit und ohne Angabe von Gründen** möglich.

Im Falle eines Widerrufs der Einwilligung werden die gespeicherten Daten in irreversibel anonymisierter Form weiterverarbeitet.

Dieser Aufklärungsbogen ersetzt nicht das persönliche Gespräch mit Ihnen. Er soll Ihnen vielmehr erste Informationen für das noch stattfindende Aufklärungsgespräch geben. Sollten Sie noch weitere Fragen haben, sind wir gerne bereit diese zu beantworten.

Sollten Sie noch Fragen haben oder nach den Interventionen Beschwerden auftreten, können sie die/den behandelnde(n) Zahnärztin/Zahnarzt Frau/Herrn unter der Telefonnummer 089/4400-593__ erreichen.

Einwilligungserklärung

Nach eingehender Aufklärung erkläre ich mich zur Teilnahme an der oben genannten Studie bereit. Mir ist bekannt, dass die Auswertung der erhobenen klinischen Daten im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie stattfindet und ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken dient. Meine Fragen wurden vollständig und umfassend durch den / die aufklärende(n) Ärztin / Arzt beantwortet. Ich kann mein einmal gegebenes Einverständnis jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen. Auf Antrag werden in diesem Fall die gewonnenen klinischen Daten vernichtet.

Ein Exemplar der Patienten-Information und -Einwilligung habe ich erhalten. Ein weiteres Exemplar verbleibt im Prüfzentrum.

Name der(s) Probandin(en): _____

München, den _____

(Unterschrift der/des Probandin/en)

(Unterschrift der/des aufklärenden Ärztin/Arztes)

Einverständniserklärung zur Datenschutzerklärung

Mir ist bekannt, dass anhand der bei mir gewonnenen Plaqueproben labortechnische Untersuchungen vorgenommen werden. Alle im Rahmen der Studie erhobenen Daten werden entsprechend den einschlägigen rechtlichen Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) sowie der ärztlichen Schweigepflicht vertraulich behandelt. Sogenannte "nicht personenbezogene Daten" können jedoch durch Dritte, d.h. durch Personen, die an der Auswertung der Ergebnisse der Studie beteiligt sind, nach Pseudonymisierung eingesehen werden. Die Identität des Patienten wird hierbei nicht offengelegt. Entsprechend den einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen erkläre ich durch meine Unterschrift mein Einverständnis zur Verwendung und Auswertung der im Rahmen der Studie gewonnenen Daten.

München, den _____

 (Unterschrift der/des Patientin/en)

 (Unterschrift der/des aufklärenden Ärztin/Arztes)*(Dieser Informationsbogen besteht aus insgesamt 4 Seiten)*

**Probandeninformation und Einwilligungserklärung zum Forschungsvorhaben:
Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH während
sportlicher Belastung**

Probandeninformation

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,
wir bitten Sie, an einer wissenschaftlichen Studie teilzunehmen. In dieser
Probandeninformation finden Sie alle wesentlichen Informationen dazu.

Bei uns sollen 6 Teilnehmer in die Studie eingeschlossen werden.

Die Studie wurde von der Professur für Bewegung, Ernährung und Gesundheit, Sport- und
Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München geplant und wird in
Kooperation mit der Klinik für Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten, Sektion Parodontologie
durchgeführt.

Unsere Einrichtung finanziert die Studie selbst.

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie können auch im Verlauf jederzeit die
Teilnahme beenden. Sie müssen dies nicht begründen. Es entstehen für Sie dadurch auch keine
Nachteile.

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch. Der Studienleiter wird mit Ihnen über die
Studie sprechen und Ihre Fragen beantworten.

Warum wird diese Studie durchgeführt?

Häufiger Konsum von Kohlenhydratgetränken fördert die Entstehung von Karies, da der pH-Wert auf den Zähnen nach dem Trinken stark abfällt. Durch den Abfall des pH-Wertes auf den Zähnen kommt es zu einer Auflösung von Zahnhartsubstanz. Geschieht dies zu häufig, gerät das Äquilibrium aus De- und Remineralisation aus dem Gleichgewicht und es kommt zur Entstehung von Karies.

Arginin-Hydrogencarbonat weißt durch das Hydrogencarbonat eine direkte Puffersubstanz auf, welche im Stande sein kann, den pH-Wert zu neutralisieren. Zudem wird das Arginin in den Bakterien über das Arginin-Deiminase-Enzym zu Ammoniak verstoffwechselt, was wiederum einen Puffersubstanz darstellt.

Wie ist der Ablauf der Studie?

Ihre Teilnahme wird voraussichtlich 2 Monate dauern.

Wir werden zunächst mit Ihnen eine Leistungsdiagnostik mit Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer durchführen, wobei Ihre individuelle Sauerstoff-aufnahmefähigkeit (VO_{2max}) gemessen wird (Dauer ca. 1,5 Std). Die Auswertung dieses Tests steht Ihnen im Nachhinein selbstverständlich zur Verfügung. Anschließend erfolgen vier Interventionstage, an welchen die Veränderung des pH-Wertes auf den Zähnen aufgezeichnet wird (Dauer ca. 90min).

selbstverständlich zur Verfügung. Anschließend erfolgen vier Interventionstage, an welchen die Veränderung des pH-Wertes auf den Zähnen aufgezeichnet wird (Dauer ca. 2 Std). Sie müssten jeweils in den zwei Tagen vor den Interventionen das Zähneputzen aussetzen, damit ausreichend Zahnbefrag für die Messungen des pH-Wertes zur Verfügung steht. Drei Stunden vor den Interventionen nehmen Sie eine standardisierte Mahlzeit, bestehend aus drei Scheiben Toast mit Marmelade, zu sich und anschließend wird bis zum Beginn der Intervention nur noch stilles Wasser getrunken. Während den Interventionen fahren Sie ca. 90 min auf einem Fahrradergometer im Grundlagenbereich. Sie spülen zu bestimmten Zeitpunkten mit Lösungen, welche Kohlenhydrate und/oder Arginin-Hydrogencarbonat enthalten und im Anschluss daran wird wiederholt der pH-Wert auf den Zähnen gemessen, indem etwas Zahnbefrag entfernt wird.

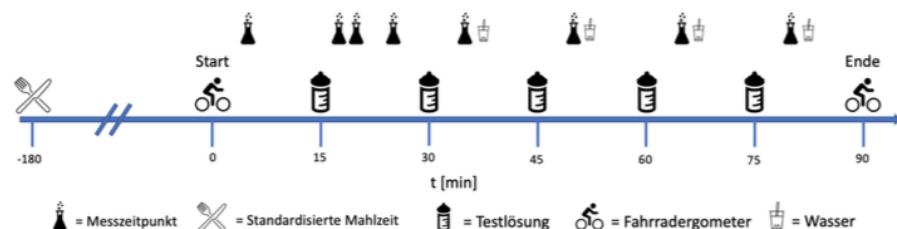


Abbildung 1: Schematische Abbildung zum exemplarischen Ablauf eines Interventionstages

Welchen Nutzen haben Sie von der Teilnahme an der Studie?

Wir führen mit Ihnen eine Leistungsdiagnostik auf dem Fahrradergometer durch. Am Ende der Studie erhalten Sie eine kostenlose Professionelle Zahnreinigung (PZR).

Es ist allerdings möglich, dass Sie durch Ihre Teilnahme keinen direkten Nutzen haben. Die Ergebnisse der Studie können jedoch in Zukunft für andere hilfreich sein.

Welche Risiken sind mit einer Teilnahme an der Studie für Sie verbunden?

Wir möchten Ihnen die Risiken, die sich durch die Teilnahme an der Studie ergeben, erläutern.

Der Zusatzstoff Arginin-Hydrogencarbonat gilt als gesundheitlich unbedenklich, zudem sind die zu verabreichen Mengen gering. Bei Arginin handelt es sich um eine semiessentielle Aminosäure, welche ebenfalls über die all-tägliche Nahrung aufgenommen wird. Natriumhydrogencarbonat, besser bekannt als Backpulver, findet man ebenfalls in jeder Küche und wird als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Das Aussetzen des Zähneputzens vor den Interventionstagen führt zur Ansammlung von Plaque. Der Zeitraum von zwei Tagen reicht jedoch nicht aus, um irreversible Schäden an den Zähnen und dem Zahnhalteapparat hervorzurufen.

Was wird von Ihnen erwartet?

Wir würden Sie darum bitten, zuverlässig zu den vereinbarten Terminen zu erscheinen, um einen optimalen Ablauf der Studie sicherzustellen und die Vorbereitungen zu den Interventionstagen wie oben beschrieben durchzuführen.

Information zum Datenschutz

In dieser Studie ist die Professur für Bewegung, Ernährung und Gesundheit, Sport- und Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München für die Datenverarbeitung verantwortlich. Rechtsgrundlage für die Verarbeitung Ihrer Daten ist Ihre persönliche Einwilligung (Art. 6 Abs. 1 lit. a, Art. 9 Abs. 2 lit. a DS-GVO). Die Daten werden zu jeder Zeit vertraulich behandelt.

Ihre Daten werden ausschließlich zum Zweck dieser Studie erhoben und nur im Rahmen dieser Studie verwendet.

Die Daten beinhalten auch personenidentifizierende Daten wie Name und E-Mail-Adresse.

Alle Daten, durch die Sie unmittelbar identifiziert werden könnten, z.B. Ihr Name oder Ihr Geburtsdatum, werden durch einen Identifizierungscode ersetzt (pseudonymisiert). Damit ist es Unbefugten fast unmöglich, Sie zu identifizieren.

Ihre Daten werden an der Technischen Universität München, Professur für Bewegung, Ernährung und Gesundheit, Connollystraße 32, 80809 München gespeichert und spätestens 10 Jahre nach Ende der Studie gelöscht.

Wir übermitteln die erfassten Daten weder an andere Einrichtungen in Deutschland, der EU, noch an ein Drittland außerhalb der EU oder an eine internationale Organisation.

Die Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer Daten ist freiwillig. Sie können jederzeit die Einwilligung ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für Sie widerrufen. Danach werden keine Daten mehr erhoben. Die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung wird hiervon nicht berührt.

Sie können im Fall des Widerrufs die Löschung der erhobenen Daten verlangen. Wenn Sie dem zum Zeitpunkt Ihres Widerrufs zustimmen, können Ihre Daten anonymisiert (ohne Zuordnung zu Ihrer Person) weiter verwendet werden.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Darüber hinaus können Sie die Berichtigung, Sperrung, Einschränkung der Verarbeitung oder Löschung sowie gegebenenfalls eine Übertragung der Daten verlangen.

Wenden Sie sich in diesen Fällen an:

Johannes Denner, Email: johannes.denner@gmx.de, Tel.: 0178 2306333

Bei Rückfragen zum Datenschutz wenden Sie sich bitte an den Datenschutzbeauftragten:

Behördlicher Datenschutzbeauftragter der Technischen Universität München
Postanschrift: Arcisstr. 21, 80333 München

Telefon: 089/289-17052

E-Mail: beauftragter@datenschutz.tum.de

Sie haben das Recht, sich bei jeder Datenschutzaufsichtsbehörde zu beschweren. Eine Liste der Aufsichtsbehörden in Deutschland finden Sie unter:
https://www.bfdi.bund.de/DE/Infothek/Anschriften_Links/anschriften_links-node.html

Die für Sie zuständige Aufsichtsbehörde erreichen Sie unter:

Bayerischer Landesbeauftragter für den Datenschutz
Postanschrift: Postfach 22 12 19, 80502 München
Hausanschrift: Wagmüllerstraße 18, 80538 München
E-Mail: poststelle@datenschutz-bayern.de

**Probandeninformation und Einwilligungserklärung zum Forschungsvorhaben:
Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH während
sportlicher Belastung
Einwilligungserklärung**

Einwilligung zur Teilnahme

Ich wurde von _____ über die Studie informiert. Ich habe die schriftliche Information und Einwilligungserklärung zu der oben genannten Studie erhalten und gelesen. Ich wurde ausführlich schriftlich und mündlich über den Zweck und den Verlauf der Studie, die Risiken der Teilnahme und meine Rechte und Pflichten aufgeklärt. Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen. Diese wurden zufriedenstellend und vollständig beantwortet. Zusätzlich zur schriftlichen Information wurden folgende Punkte besprochen:

Ich wurde darauf hingewiesen, dass meine Teilnahme freiwillig ist und ich das Recht habe, meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen zu widerrufen, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen.

Ich willige hiermit in die freiwillige Teilnahme an der oben genannten Studie ein.

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben

Ort, Datum

Unterschrift der teilnehmenden Person

Name der aufklärenden Person in Druckbuchstaben

Ort, Datum

Unterschrift der aufklärenden Person

Einwilligung zur Datenverarbeitung

Die Verarbeitung und Nutzung der personenbezogenen Daten für die oben genannte Studie erfolgt ausschließlich wie in der Information zur Studie beschrieben.

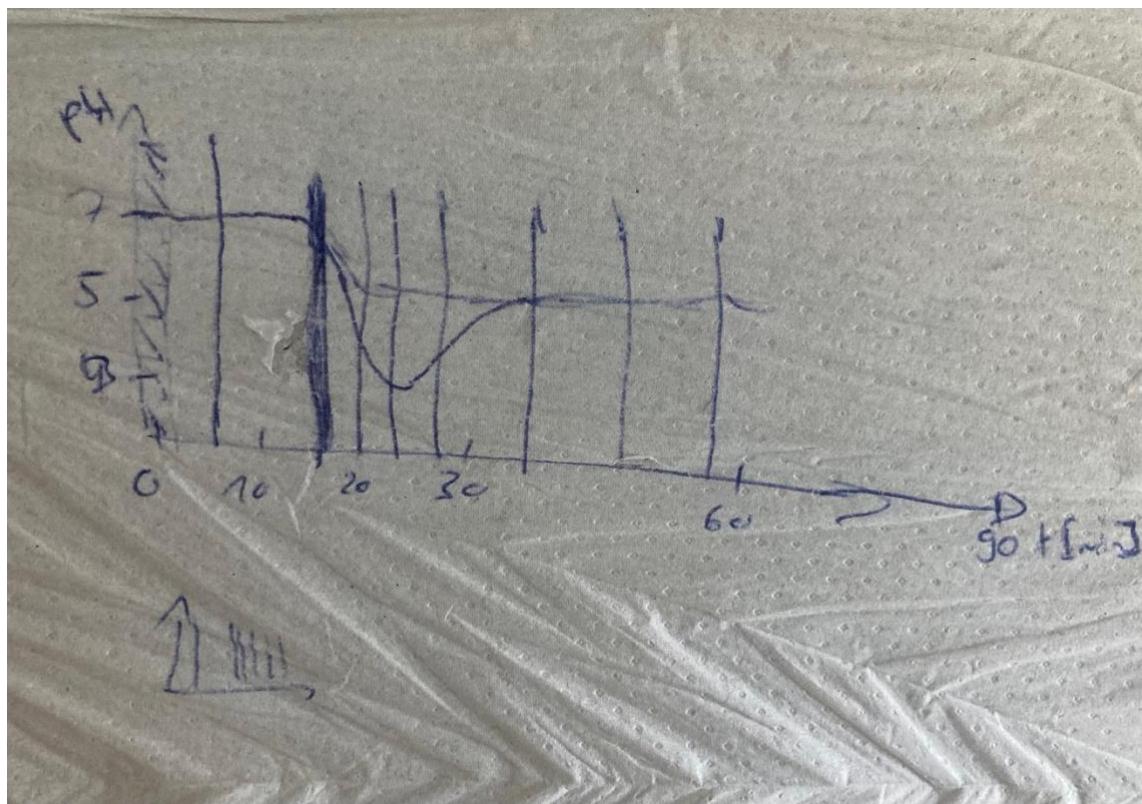
Ich willige hiermit in die beschriebene Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten ein.

Ort, Datum

Unterschrift der teilnehmenden Person

Ort, Datum

Unterschrift der aufklärenden Person



Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. Katrin Heck für ihre engagierte und unterstützende Betreuung meiner Doktorarbeit. Ihre fachliche Expertise und konstruktiven Anmerkungen waren von unschätzbarem Wert für den Fortschritt und die Qualität dieser Arbeit.

Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. Matthias Folwaczny herzlich danken. Seine Offenheit gegenüber meinem Forschungsvorschlag und die Möglichkeit, die Studie unter seiner Betreuung durchzuführen, haben diese Arbeit erst ermöglicht.

Ein weiterer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Karsten Köhler für seine hervorragende Betreuung im sportwissenschaftlichen Bereich und seine Unterstützung während der Studienphase. Seine fachlichen Ratschläge und seine Begleitung bei der Durchführung der Studie haben maßgeblich zum Erfolg dieses Projekts beigetragen.

Ich danke der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie und ihrem Direktor, Herrn Prof. Dr. Falk Schwendicke, für die Möglichkeit, meine wissenschaftliche Arbeit an dieser Fakultät durchführen zu dürfen.

Zuletzt möchte ich meiner Frau Alina, meiner Familie und meinen Freunden danken. Ihr Rückhalt, Verständnis und ihre Geduld haben mir in den vergangenen Jahren die notwendige Kraft und Unterstützung gegeben, um dieses Ziel zu erreichen.

**Eidesstattliche Versicherung**

Denner, Johannes Nikolas

Name, Vorname

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

**Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH
während sportlicher Belastung in randomisierter klinischer Studie**

selbstständig 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.

Aschau im Chiemgau, den 17.12.2025

Ort, Datum

Johannes Denner

Unterschrift Johannes Nikolas Denner

**Erklärung zur Übereinstimmung der gebundenen Ausgabe der Dissertation
mit der elektronischen Fassung**

Denner, Johannes Nikolas

Name, Vorname

Hiermit erkläre ich, dass die elektronische Version der eingereichten Dissertation mit dem Titel:

**Auswirkung von Arginin-Hydrogencarbonat auf den Plaque-pH
während sportlicher Belastung in randomisierter klinischer Studie**

in Inhalt und Formatierung mit den gedruckten und gebundenen Exemplaren übereinstimmt.

Aschau im Chiemgau, den 17.12.2025

Johannes Denner

Ort, Datum

Unterschrift Johannes Nikolas Denner