

DISSERTATION

Klinische Anwendung eines intraoralen 3D-Scanners zur dentalen Befunderhebung bei  
pflegebedürftigen Senioren

Clinical application of an intraoral 3D-scanner for dental assessment regarding elderly  
people in need of care

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Maike Marisa Riegel

Erstbetreuer: PD Dr. med. dent. Gerd Göstemeyer

Datum der Promotion: 29.11.2024

## **Vorwort**

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in:

Göstemeyer, G., Riegel, M., Kharbot, B., Paris, S. & Schwendicke, F. (2020). Präsentation 13: Genauigkeit und Reliabilität intraoraler 3D Scans zur Erfassung zahnbezogener Befunde bei pflegebedürftigen Senioren. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift (DZZ) - Mitgliederzeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.*, 75(5), D23–D24.

Im Nachfolgenden wird im Sinne der erleichterten Lesbarkeit zum Teil nur das generische Maskulinum genannt, wobei ausdrücklich gleichermaßen feminine und weitere Geschlechtsidentitäten gemeint sind.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis .....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Abstract (Deutsch) .....	VI
Abstract (Englisch) .....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Literaturübersicht.....	2
2.1 Zahnmedizin im demografischen Wandel .....	2
2.2 Orale Gesundheit pflegebedürftiger Senioren.....	4
2.3 Zahnärztliche Telemedizin.....	5
2.3.1 Anwendungsbereiche .....	5
2.3.2 Genauigkeit, Reliabilität und Validität.....	7
2.3.3 Effizienz und Akzeptanz .....	9
2.4 Intraoralscanner (IOS).....	11
2.4.1 Technische Entwicklungen und klinische Anwendungsbereiche ....	11
2.4.2 Vor- und Nachteile der IOS .....	14
2.4.3 Genauigkeit, Einflussfaktoren und Limitationen .....	17
2.4.4 Dentale Befunderhebung mit IOS .....	19
3 Fragestellung.....	26
4 Material und Methodik .....	27
4.1 Studiendesign .....	27
4.2 Patienten.....	28
4.3 Kriterien der Befunderhebung .....	29
4.4 Durchführung der klinischen Untersuchung und intraoralen 3D-Scans .....	31
4.5 Telemedizinische Befunderhebung.....	34

4.6	Statistische Auswertung .....	34
5	Ergebnisse .....	36
5.1	Beispiele intraoraler 3D-Scans.....	36
5.2	Genauigkeit der telemedizinischen Befunde.....	40
5.2.1	Karies .....	40
5.2.2	Fehlende Zähne .....	42
5.2.3	Restorationen.....	44
5.2.4	Mundhygiene.....	46
5.3	Reliabilität der telemedizinischen Befunde .....	48
5.3.1	Karies .....	48
5.3.2	Fehlende Zähne .....	49
5.3.3	Restorationen.....	50
5.3.4	Mundhygiene.....	51
6	Diskussion.....	54
6.1	Diskussion der Methodik .....	54
6.1.1	Patientenauswahl.....	54
6.1.2	Klinische Befunderhebung und Durchführung der intraoralen 3D-Scans .....	55
6.1.3	Telemedizinische Befunderhebung.....	57
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	59
6.2.1	Vorteile und Limitationen beim Einsatz des IOS.....	59
6.2.2	Genauigkeit der telemedizinischen Befunde.....	61
6.2.3	Reliabilität der telemedizinischen Befunde.....	64
7	Schlussfolgerungen .....	67
8	Literaturverzeichnis .....	68
9	Anhang.....	81
9.1	Studieninformation.....	81

9.2 Einverständniserklärung Patienten.....	88
9.3 Einverständniserklärung Betreuungsbevollmächtigte.....	90
9.4 Befundbogen .....	92
10 Eidesstattliche Erklärung .....	93
11 Anteilserklärung an erfolgten Publikationen .....	94
12 Lebenslauf.....	95
13 Vollständige Publikationsliste .....	96
14 Danksagungen.....	97
15 Bescheinigung Statistik.....	98

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Alterspyramide zur schematischen Darstellung der geschlechtsspezifischen Altersverteilung der deutschen Bevölkerung im Jahre 1990 (rote Linie) und 2019 (blaue Balken) (Destatis, 2020) .....	2
Abb. 2: Geschlechtsspezifische Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland basierend auf ausgewählten allgemeinen Sterbetafeln zwischen 1871 und 2020 (Destatis, 2021) .....	3
Abb. 3: Aufnahmeprinzipien von Intraoralscannern (Kravitz et al., 2014, S. 340).....	12
Abb. 4: Übersicht zur Codierung der klinischen und telemedizinischen Untersucher .....	28
Abb. 5: Befundkriterien des Geriatric Simplified Debris Index (GDI-S nach MacEntee et al., 2007) .....	31
Abb. 6: Verwendeter Intraoralscanner (IOS) Modell TRIOS 4 (3Shape) .....	32
Abb. 7: Scanpfade für Ober- (links) und Unterkiefer (rechts) gemäß Herstellerempfehlung (3Shape [3Shape Training Videos], 2020).....	33
Abb. 8: Frontalansicht eines Unterkiefers mit Darstellung der vestibulären Flächen der Restbezaehlung Regio 34, 33 und 43.....	36
Abb. 9: Linguale Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 8.....	36
Abb. 10: Okklusal-palatinale Ansicht eines Oberkiefers mit Teleskoprestaurationen Regio 14, 13 und 23 .....	37
Abb. 11: Okklusal-palatinale Ansicht desselben Oberkiefers wie Abb. 10 in monochromer Darstellung.....	37
Abb. 12: Distale Ansicht eines Oberkiefers mit kariöser Restbezaehlung.....	37
Abb. 13: Distale Ansicht desselben Oberkiefers wie Abb. 12 in monochromer Darstellung .....	37
Abb. 14: Mesial-exzentrische Ansicht eines Oberkiefers von vestibulär .....	38
Abb. 15: Mesial-exzentrische Ansicht desselben Oberkiefers von vestibulär wie Abb. 14 mit Kariesdiagnostikhilfe .....	38
Abb. 16: Ansicht eines Unterkiefers von vestibulär mit kariöser Restbezaehlung Regio 33, 42 und 43 .....	38
Abb. 17: Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 16 mit Kariesdiagnostikhilfe .....	38
Abb. 18: Okklusale Ansicht eines Unterkiefers mit Restaurationen Regio 37, 36, 46 und 47 .....	39

Abb. 19: Okklusale Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 18 mit Kariesdiagnostikhilfe .....	39
Abb. 20: Oberkiefer mit beeinträchtigter optischer Erfassung beim Scanvorgang .....	39
Abb. 21: Unterkiefer mit beeinträchtigter optischer Erfassung beim Scanvorgang .....	39
Abb. 22: Unterkiefer mit farblichen Ungenauigkeiten der angrenzenden Gingiva .....	40
Abb. 23: Oberkiefer mit farblichen Ungenauigkeiten im Frontzahnbereich .....	40
Abb. 24: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (Karies) .....	41
Abb. 25: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (fehlende Zähne) .....	43
Abb. 26: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (Restorationen) .....	45
Abb. 27: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (patientenbezogene Mundhygiene) .....	47

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht zu den Vor- und Nachteilen von Intraoralscannern (IOS) .....	16
Tab. 2:	Einteilung der Bewertung von Wurzelkariesläsionen (nach Dikmen, 2015) .....	30
Tab. 3:	Beurteilung der Area Under the Curve (AUC nach Janssen & Laatz, 2017, S. 751) und der $\kappa$ -Werte (nach Landis & Koch, 1977) .....	35
Tab. 4:	Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (Karies) .....	41
Tab. 5:	Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (Karies) .....	42
Tab. 6:	Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (fehlende Zähne) .....	43
Tab. 7:	Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (fehlende Zähne) .....	44
Tab. 8:	Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (Restorationen) .....	45
Tab. 9:	Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (Restorationen) .....	46
Tab. 10:	Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (patientenbezogene Mundhygiene) .....	47
Tab. 11:	Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (patientenbezogene Mundhygiene) .....	48
Tab. 12:	$\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (Karies) .....	49
Tab. 13:	$\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (Karies) .....	49
Tab. 14:	$\kappa$ -Werte der Interrater-Reliabilität (fehlende Zähne) .....	50
Tab. 15:	$\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (fehlende Zähne) .....	50
Tab. 16:	$\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (Restorationen) .....	51
Tab. 17:	$\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (Restorationen) .....	51
Tab. 18:	$\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (patientenbezogene Mundhygiene) .....	52
Tab. 19:	$\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (zahnbezogener GDI-S) .....	53
Tab. 20:	$\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (zahnbezogener GDI-S) .....	53



## Abkürzungsverzeichnis

ALG	Algorithmus
AUC	Area Under the Curve
BiB	Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung
BK	Dr. Basel Kharbot (USc1)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD/CAM	Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing
CCD-Sensor	Charge-Coupled Device Sensor
CEREC	Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics oder CERamic REConstruction
Destatis	Statistisches Bundesamt
DGET	Deutsche Gesellschaft für Endodontologie und zahnärztliche Traumatologie e.V.
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGPZM	Deutsche Gesellschaft für Präventivzahnmedizin
DGR <sup>2</sup> Z	Deutsche Gesellschaft für Restaurative und Regenerative Zahnerhaltung
DIFOTI	Digital Fiber Optical Transillumination (deutsch: Digitale Faseroptische Transillumination)
DMFT	Decayed, Missing, Filled Teeth
DMS	Deutsche Mundgesundheitsstudie (aktuelle: DMS V)
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung (Verordnung (EU) 2016/679)
DT	Decayed Teeth
DVT	Digitale Volumentomografie
FT	Filled Teeth
GDI-S	Geriatric Simplified Debris Index (nach MacEntee et al., 2007)
GG	PD Dr. Gerd Göstemeyer (USc2)
IBM	International Business Machines Corporation (Armonk, USA)
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICDAS	International Caries Detection Assessment System
IOS	Intraoralscanner
ISDN	Integrated Services Digital Network (deutsch: Integriertes Sprach- und Datennetz)
JCO	Journal of Clinical Orthodontics

$\kappa$	Kappa-Koeffizient
MGI	Modified Gingival Index
$\mu$ -CT	Mikro-Computertomografie
MR	Maike Riegel (Uklin/Usc3)
MT	Missing Teeth
MuHy	Patientenbezogene Mundhygiene
neg. VW	Negativer Vorhersagewert
NIR-LT	Near-Infrared Light Transillumination (Nahinfrarot-Transillumination)
PCR	O'Leary Plaque Control Record
pos. VW	Positiver Vorhersagewert
PSI	Parodontaler Screening Index
pv	(positive/negative) predictive value
ROC-Kurve	Receiver-Operating-Characteristic-Kurve
SD	Standard Deviation (dt.: Standardabweichung)
Sens.	Sensitivität (englisch: sensitivity)
Spez.	Spezifität (englisch: specificity = spec.)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Softwareunternehmen: IBM)
SPZ	Seniorenpflegezentrum
STL	Standard Tessellation Language (Datenformat)
TAILOHR	Tailoring, evaluating and implementing an intervention for improving oral health of elderly residents of long-term care facilities (durch BMBF gefördertes Forschungsprojekt)
TDA	Total Dental Access (Projekt der US-Armee zu zahnärztlicher Telemedizin)
Uklin	Klinischer Untersucher (innerhalb der vorliegenden Studienarbeit)
Usc	Telemedizinische Untersucher der intraoralen 3D-Scans (innerhalb der vorliegenden Studienarbeit)
VW	Vorhersagewert
WHO	World Health Organization

## **Abstract (Deutsch)**

Viele Senioren behalten die eigenen Zähne heute bis ins hohe Alter, jedoch verschlechtert sich die orale Gesundheit oft mit Eintritt in die Pflegebedürftigkeit. Zur Verbesserung der zahnmedizinischen Versorgung pflegebedürftiger Senioren mithilfe telemedizinischer Ansätze wurde in einer Proof-of-Concept-Studie die klinische Anwendung eines intraoralen 3D-Scanners zur dentalen Befunderhebung erprobt. In verschiedenen Seniorenpflegezentren (SPZ) wurden dazu von einem klinischen Untersucher visuell-taktile Befunde erhoben und intraorale 3D-Scans angefertigt, die durch integrierte Fluoreszenztechnologie eine zusätzliche Kariesdiagnostikhilfe beinhalteten. Die digitalen intraoralen 3D-Scans dienten als Grundlage zur Erhebung telemedizinischer Befunde durch drei Untersucher. Dabei wurden kavitierte Kariesläsionen, fehlende Zähne und vorhandene Restaurationen detektiert sowie das Ausmaß dentaler Plaque (Geriatric Simplified Debris Index [GDI-S]) zur Einschätzung der Mundhygiene beurteilt.

Bei 43 Patienten wurde eine quantitative Analyse zur Genauigkeit (Sensitivität [Sens.], Spezifität [Spez.], Area Under the Curve [AUC], positiver [pos.] und negativer [neg.] Vorhersagewert [VW]) sowie zur (Interrater- und Intrarater-) Reliabilität der telemedizinischen Befunde durchgeführt. Diese zeigten eine sehr gute Genauigkeit bei der Detektion von Restaurationen (Sens.: 0,93; Spez.: 0,98; AUC: 0,96; pos. VW: 0,98; neg. VW: 0,94) und fehlenden Zähnen (Sens.: 1,00; Spez.: 1,00; AUC: 1,00; pos./neg. VW: 1,00). Jedoch wurde bei kavitierten Kariesläsionen (Sens.: 0,58; Spez.: 0,97; AUC: 0,77; pos. VW: 0,85; neg. VW: 0,89) und der Mundhygiene (Sens.: 0,54; Spez.: 0,99; AUC: 0,76; pos. VW: 0,97; neg. VW: 0,78) aufgrund einer geringeren Sensitivität nur eine akzeptable Genauigkeit beobachtet. Die Reliabilität war bei Restaurationen (Interrater: 0,94 und Intrarater: 0,96) und fehlenden Zähnen (Interrater: 1,00 und Intrarater: 1,00) sehr gut, wohingegen bei kavitierten Kariesläsionen (Interrater: 0,73 und Intrarater: 0,79) und der Mundhygiene (Interrater: 0,72) bzw. dem zahnbezogenen GDI-S (Intrarater: 0,60) nur eine gute bis moderate Reliabilität vorlag.

Die klinische Anwendung eines intraoralen 3D-Scanners bei pflegebedürftigen Senioren mit ausreichender Ansprechbarkeit und individueller Mitwirkung an der Untersuchung konnte gezeigt werden. Vorhandene Restaurationen und fehlende Zähne können durch telemedizinische Befunde sehr genau und verlässlich erfasst werden. Die geringere Genauigkeit und Reliabilität bei Kariesläsionen und bei der Einschätzung der Mundhygiene stellen jedoch Limitationen für einen allgemeinen klinischen Einsatz dar.

## **Abstract (Englisch)**

Nowadays, many elderly people maintain their own teeth until old age, but in line with increased need of care, oral health frequently declines. To facilitate oral health care using teledentistry approaches, a proof-of-concept study was conducted investigating the clinical application of an intraoral 3D-scanner for dental assessment in elderly patients in need of care. For this purpose, a clinical examiner visited different nursing homes and performed visual-tactile assessment as well as intraoral 3D-scans, which included a fluorescence-based caries aid. Subsequently, three examiners evaluated the intraoral 3D-scans regarding dental pathology in the context of a teledentistry approach. The assessments included the detection of cavitated caries lesions, missing teeth and dental restorations, as well as an evaluation of oral hygiene regarding the amount of dental plaque (Geriatric Simplified Debris Index [GDI-S]).

Data of 43 patients were collected and included to statistical analysis of accuracy (sensitivity [sens.], specificity [spec.], area under the curve [AUC], positive [pos.] and negative [neg.] predictive value [pv]) and (interrater and intrarater) reliability related to the findings on the 3D-scans. The teledentistry assessments showed excellent accuracy in detecting dental restorations (sens.: 0,93; spec.: 0,98; AUC: 0,96; pos. pv: 0,98; neg. pv: 0,94) and missing teeth (sens.: 1,00; spec.: 1,00; AUC: 1,00; pos./neg. pv: 1,00). In contrast, the accuracy in detecting cavitated caries lesions (sens.: 0,58; spec.: 0,97; AUC: 0,77; pos. pv: 0,85; neg. pv: 0,89) and evaluating the oral hygiene (sens.: 0,54; spec.: 0,99; AUC: 0,76; pos. pv: 0,97; neg. pv: 0,78) was only acceptable due to a lower sensitivity. Regarding reliability, the results showed nearly perfect agreement in detecting restorations (interrater: 0,94 and intrarater: 0,96) and missing teeth (interrater: 1,00 and intrarater: 1,00). Again, a lower reliability was observed regarding the detection of cavitated caries lesions (interrater: 0,73 and intrarater: 0,79) and the evaluation of the oral hygiene (interrater: 0,72) as well as the tooth-related GDI-S (intrarater: 0,60), which showed a good to moderate agreement.

In conclusion, the study provides evidence that the clinical application of an intraoral 3D-scanner in elderly people in need of care is feasible. Nonetheless, a sufficient compliance and participation in the examination must be presupposed. Teledentistry assessment using intraoral 3D-scans can be a highly precise and reliable method for detecting dental restorations and missing teeth. However, due to lower accuracy and reliability regarding decayed teeth and the evaluation of oral hygiene an overall clinical application is still facing limitations.

# 1 Einleitung

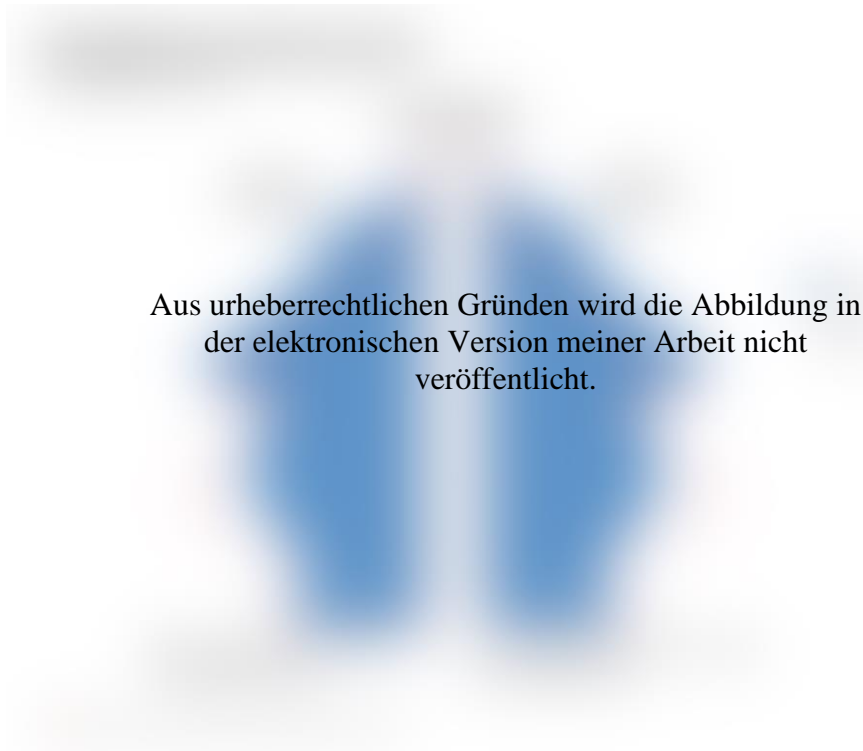
In Anlehnung an die World Health Organization (WHO) bezeichnet der Begriff Telemedizin eine medizinische Patientenversorgung unter Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien, die räumlich und zeitlich unabhängig ist (Kramme, 2004). Telemedizinische Ansätze haben sich in den letzten Jahrzehnten auch in der Zahnmedizin etabliert und bieten moderne Möglichkeiten, um die zahnärztliche Diagnostik sowie einen konsiliarischen Austausch bei räumlich-zeitlicher Distanz zu ermöglichen. Im Bereich der digitalen Zahnmedizin wurden zudem verschiedene Technologien zur Unterstützung von Arbeitsabläufen in der zahnärztlichen Praxis entwickelt. Bei der zahnärztlichen Therapie ermöglichen Intraoralscanner (IOS) digitale Abdrücke ohne Einsatz von Abformmaterialien und sind heutzutage bereits fester Bestandteil digitaler Workflows in der restaurativen, prothetischen, implantologischen sowie kieferorthopädischen Versorgung von Patienten (Jedliński et al., 2021; Sawase & Kuroshima, 2020; Sirintawat et al., 2021; Suese, 2020). Neuere Ausführungen der IOS sollen durch integrierte Fluoreszenz- oder Transilluminationstechnologie, welche die Genauigkeit der Kariesdiagnostik verbessern sollen (Akarsu & Karademir, 2018; Ortiz et al., 2020; Schaefer et al., 2018; Sürme et al., 2020; Tassoker et al., 2019), den Anwendungsbereich der IOS erweitern und somit eine noch umfassendere Unterstützung zahnärztlicher Arbeitsabläufe ermöglichen (Michou et al., 2021; Michou et al., 2022; Schlenz et al., 2022).

Epidemiologische Studien zur Mundgesundheit in Deutschland deuten auf eine steigende Zahl von Patienten im höheren Lebensalter mit einem zunehmenden zahnmedizinischen Betreuungsbedarf hin. Dabei stellen insbesondere pflegebedürftige Senioren mit Mobilitätseinschränkungen eine vulnerable Gruppe dar, die häufig nur einen sehr eingeschränkten Zugang zur zahnmedizinischen Versorgung hat (Göstemeyer et al., 2019; Jordan, 2016; Jordan & Micheelis, 2016; Jordan et al., 2019; Jordan et al., 2021; Nitschke & Micheelis, 2016; Schwendicke et al., 2020). Telemedizinische Ansätze könnten helfen, die bestehenden räumlichen, zeitlichen und logistischen Hürden in der zahnmedizinischen Versorgung pflegebedürftiger Senioren zu überwinden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher die klinische Anwendung eines IOS (TRIOS 4, 3Shape) mit integrierter Fluoreszenztechnologie zur dentalen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren hinsichtlich Genauigkeit und Reliabilität untersucht.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Zahnmedizin im demografischen Wandel

Der demografische Wandel in der Altersstruktur der deutschen Bevölkerung begann bereits vor über 150 Jahren und führt zu einer Anteilsverschiebung zugunsten höherer Altersgruppen (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung [BiB], 2004). Aufgrund rückläufiger Geburtenzahlen sinkt der Anteil an jüngeren Altersgruppen, wohingegen die steigende Lebenserwartung den Anstieg älterer Bevölkerungsanteile begünstigen (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2019). Die letzten geburtenreichen Jahrgänge 1955 bis 1970 befinden sich inzwischen am Ende des erwerbstätigen Alters und führen folgende Generationen mit niedrigeren Geburtenraten an (Abb. 1).

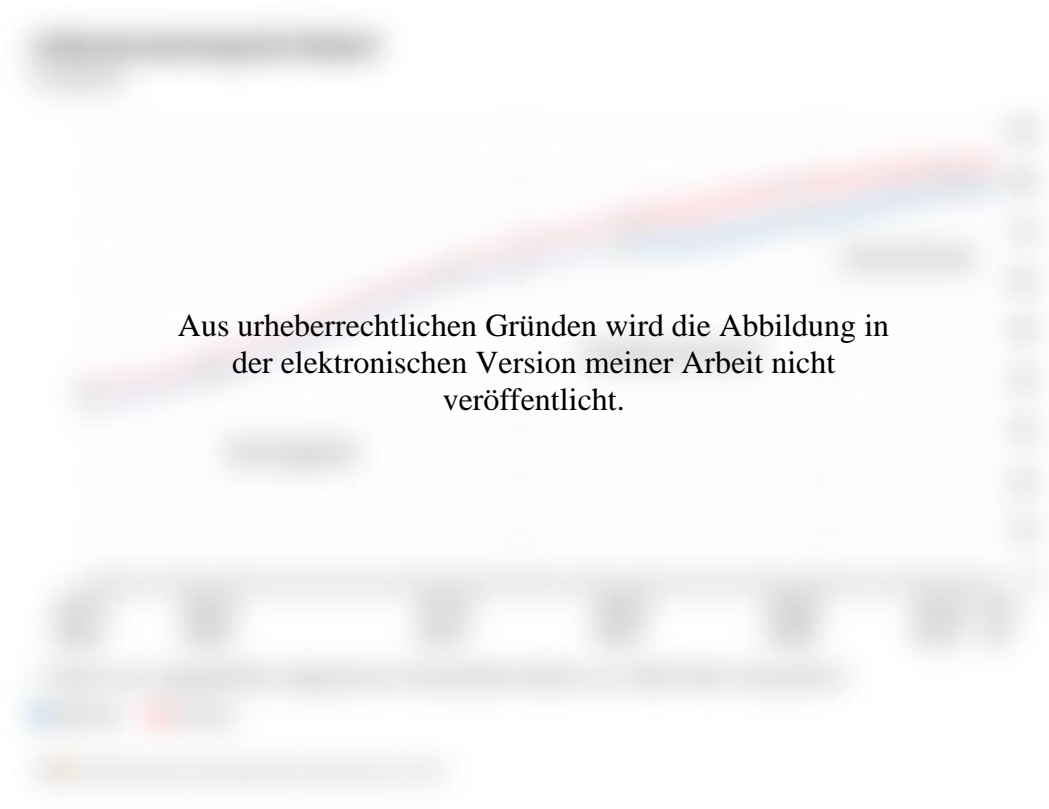


Aus urheberrechtlichen Gründen wird die Abbildung in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Abb. 1: Alterspyramide zur schematischen Darstellung der geschlechtsspezifischen Altersverteilung der deutschen Bevölkerung im Jahre 1990 (rote Linie) und 2019 (blaue Balken) (Destatis, 2020). Hierbei zeigt sich bei beiden Geschlechtern eine Verschiebung der Alterszusammensetzung zum Jahr 2019 mit einer Reduktion jüngerer Altersgruppen und einem Anstieg älterer Bevölkerungsanteile (> 45 Jahre) (Destatis, 2019).

Auf Grundlage von Sterbetafeln lässt sich die Lebenserwartung bei Geburt berechnen, die in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen ist (Abb. 2). Im Jahr 2021 gibt das Statistische

Bundesamt eine Lebenserwartung bei Geburt von 78,5 Jahren für Männer sowie ca. 83,4 Jahren für Frauen an (Destatis, 2022). Im Vergleich zu den Jahrgängen 1960 bis 1962 hat sich damit die Lebenserwartung bei Geburt bereits um etwa 10 Jahre erhöht (Abb. 2).



Aus urheberrechtlichen Gründen wird die Abbildung in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Abb. 2: Geschlechtsspezifische Lebenserwartung bei Geburt in Deutschland basierend auf ausgewählten allgemeinen Sterbetafeln zwischen 1871 und 2020 (Destatis, 2021). Es zeigt sich eine stetige Zunahme der statistischen Lebenserwartung von Frauen und Männern.

Selbst bei einem hohen positiven Wanderungssaldo, welcher die Differenz zwischen Zuwanderung und Auswanderung in der deutschen Bevölkerung widerspiegelt, ist bis 2060 von einer sinkenden Bevölkerungszahl mit steigendem Anteil der über 67-Jährigen auszugehen (Destatis, 2019; Fiedler et al., 2018). Im Rahmen der COVID-19-Pandemie wurden bei SARS-CoV-2-Infektionen steigende Todesraten in höheren Altersgruppen verzeichnet, wodurch zukünftige Auswirkung durch veränderte Lebenserwartungen möglich, jedoch derzeit noch nicht vollständig abschätzbar sind (Marois et al., 2020). Vor dem Hintergrund dieser demografischen Entwicklung ist eine höhere Anzahl von Senioren zu erwarten, die zahnmedizinisch zu versorgen ist.

Durch einen präventionsorientierten Ansatz in der Zahnmedizin, der eine adäquate Mundhygiene, den Einsatz von Fluoriden und regelmäßige zahnärztliche Kontrollen umfasst, konnte über die Zeit ein Rückgang der Karies- und Parodontitiserkrankungen in der Bevölkerung erreicht werden (Jordan & Micheelis, 2016). So ist seit 1997 ein konstanter Rückgang des Zahnverlustes und der vollständigen Zahnlosigkeit bei Senioren festzustellen, der sich voraussichtlich in den nächsten Jahren fortsetzen wird (Jordan et al., 2019, 2021; Schwendicke et al., 2020). Viele Patienten behalten heutzutage ihre eigenen Zähne bis ins hohe Alter, wodurch sich die Häufigkeit von Zahnerkrankungen bei diesen erhöht (Jordan, 2016; Jordan & Micheelis, 2016; Jordan et al., 2019).

Aus einem Vergleich der Deutschen Mundgesundheitsstudien (DMS) von 2005 (DMS IV) und 2014 (DMS V) geht hervor, dass 2014 ältere Senioren (75- bis 100-Jährige) eine vergleichbare Prävalenz von Karies und Parodontitis aufwiesen, wie sie 2005 noch bei jüngeren Senioren (65- bis 74-Jährige) zu finden war (Jordan & Micheelis, 2016). Mit einer zunehmenden allgemeinen Morbidität und dem Eintritt in die Pflegebedürftigkeit verschlechtert sich jedoch häufig die orale Gesundheit und zahnmedizinische Versorgung von Senioren (Jordan & Micheelis, 2016; Nitschke & Micheelis, 2016). Aufgrund dieser besonderen Vulnerabilität soll die orale Gesundheit von pflegebedürftigen Senioren im folgenden Abschnitt näher betrachtet werden.

## **2.2 Orale Gesundheit pflegebedürftiger Senioren**

Nach Satzung der WHO zeichnet sich Gesundheit nicht allein durch die Abwesenheit von Krankheit oder Gebrechlichkeit, sondern durch das Wohlergehen des physischen, mentalen und sozialen Zustandes aus (WHO, 2005). Für die orale Gesundheit sind demnach der Schutz und der bestmögliche Erhalt von hart- und weichgeweblichen Strukturen in der Mundhöhle erforderlich. Orale Gesundheit trägt zur Lebensqualität bei, indem sie sowohl die Kaufunktion und damit u. a. den Ernährungszustand als auch das soziale und ästhetische Selbstbewusstsein beeinflusst (Schwendicke et al., 2020; Tonetti et al., 2017). Zudem trägt eine gute orale Gesundheit durch die wechselseitige Einflussnahme von systemischer und zahnbezogener Gesundheit zu einer Verminderung potenziell lebensbedrohlicher Allgemeinerkrankungen wie etwa kardiovaskulären Erkrankungen, Diabetes oder auch Pneumonien bei (Fiorillo, 2019; Kapila, 2021; Kudiyirickal & Pappachan, 2015; Najafipour et al., 2013). Die orale Gesundheit ist daher als wichtiger Bestandteil der allgemeinmedizinischen Gesundheit anzusehen.



Jedoch ist die orale Gesundheit älterer pflegebedürftiger Senioren schlechter als jene von gleichaltrigen Senioren ohne Pflegebedarf (Jordan & Micheelis, 2016). Dies äußert sich in einer höheren durchschnittlichen Karieserfahrung (durchschnittlich 24,6 Zähne gegenüber 21,6 Zähnen bei gleichaltrigen Senioren ohne Pflegebedarf) und einem höheren Anteil vollständiger Zahnlosigkeit (54 % gegenüber 33 %) (Nitschke & Micheelis, 2016). Infolge von parodontalen Erkrankungen und der damit steigenden Anzahl freiliegender Wurzeloberflächen erhöht sich besonders das Risiko zur Entwicklung von Wurzelkaries. Als weiterer Risikofaktor für Wurzelkaries sind unzureichend gründlich durchgeführte Mundhygienemaßnahmen zu nennen (López et al., 2017), die durch körperliche oder kognitive Einschränkungen insbesondere bei pflegebedürftigen Senioren vorliegen. Unter Betrachtung einer kontinuierlichen Zunahme kariöser Wurzelläsionen bei Senioren in Deutschland, die sich voraussichtlich auch zukünftig fortsetzen wird, ist die Prävention und Therapie solcher Läsionen essenziell für die orale Gesundheit (Schwendicke et al., 2018).

Der Eintritt in die Pflegebedürftigkeit beinhaltet häufig einen höheren Bedarf an Unterstützung bei täglichen Mundhygienemaßnahmen und führt besonders bei eingeschränkter Mobilität zu Hürden beim Zugang zu einer regelmäßigen zahnmedizinischen Versorgung. Epidemiologische Studien konnten zeigen, dass die Inanspruchnahme zahnmedizinischer Leistungen bei dieser Patientengruppe deutlich reduziert ist (Jordan, 2016; Nitschke & Micheelis, 2016; Tonetti et al., 2017). Insbesondere ungeeignete Räumlichkeiten für die Behandlung, fehlende Transportmöglichkeiten oder eine Behandlungsverweigerung durch (häufig demente) Patienten stellen zentrale Probleme in der zahnmedizinischen Versorgung dar (Göstemeyer et al., 2019). Zur Überwindung von zeitlichen, räumlichen oder logistischen Hürden im Gesundheitssystem wurden in den vergangenen Jahrzehnten telemedizinische Ansätze innerhalb der Zahnmedizin entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden.

## **2.3 Zahnärztliche Telemedizin**

### **2.3.1 Anwendungsbereiche**

Telemedizin bezeichnet eine Gesundheitsversorgung aus der Ferne sowie den Austausch von medizinischen und anderen relevanten Informationen mithilfe von Kommunikations- sowie Informationstechnologien (Daniel & Kumar, 2014). Bereits 1994 startete das Verteidigungsministerium der US-Armee ein Projekt zur Erforschung der Möglichkeiten zahnärztlicher Telemedizin (engl.: teledentistry), das Total Dental Access (TDA) (Rocca et

al., 1999). Im Rahmen mehrerer Studien wurde dabei der Einsatz von intraoralen Kameras, Videokonferenzen, ISDN-basierten und internetbasierten Systemen untersucht, um zeit- und kostensparend eine verbesserte zahnmedizinische Versorgung zu erreichen. Die Übertragungsqualität der Videokonferenzen war jedoch in den 1990er-Jahren noch nicht genügend ausgereift, um als alleinige Grundlage für dentale Diagnosen verwendet zu werden. Trotzdem wurde in der Anfertigung von intraoralen Farbfotos sowie deren internetbasiertem Austausch mit spezialisierten Fachzahnärzten bereits ein zukünftiges Potenzial für einen einfachen und kostengünstigen Zugang zu zahnmedizinischer Versorgung gesehen, welcher die zahnärztliche Diagnose und Therapieentscheidung sowie die Kommunikation mit den Patienten erleichtern könnte (Rocca et al., 1999).

Mit der technischen Weiterentwicklung erweiterten sich auch die verfügbaren Informations- und Kommunikationstechnologien für die Telemedizin (Daniel & Kumar, 2014). Nach Art der Verwendung dieser Technologien wird dabei zwischen synchroner und asynchroner Telemedizin differenziert. Synchrone Telemedizin basiert auf einer direkten Interaktion zwischen Patienten und Zahnarzt mithilfe von Kommunikationstechnologie (z. B. Videokonferenz), wohingegen bei asynchroner Telemedizin erhobene Informationen (z. B. Fotos, Scans, Videos, Röntgenbilder) für die spätere zahnärztliche Auswertung gespeichert und teilweise auch versendet werden, wie z. B. über E-Mail oder andere internetbasierte Verbindungen (Flores et al., 2020; Irving et al., 2018). Durch den Einsatz von Telemedizin kann der Zugang zu einer regulären zahnärztlichen Versorgung insbesondere für abgelegene, ländliche Regionen mit unzureichender Versorgungsstruktur und für unterversorgte Personengruppen wie z. B. pflegebedürftige Patienten verbessert werden (Daniel & Kumar, 2014). Neben der frühzeitigen Erfassung oraler Erkrankungsbilder durch Screenings und der Einleitung geeigneter Therapiemaßnahmen kann auch eine konsiliarische Rücksprache mit spezialisierten Fachzahnärzten als Zweitmeinung sowie zur Abklärung einer fachzahnärztlichen Überweisung erleichtert werden (Gambino et al., 2014). Dadurch soll der Zugang zu zahnmedizinischer Versorgung nicht nur über räumliche und zeitliche Distanz, sondern auch über fachliche Ebenen hinweg ermöglicht werden. So hat sich etwa gezeigt, dass eine telemedizinische Begleitung während der kieferorthopädischen Therapie die häusliche Mundhygiene verbessern und die Entwicklung von Kariesläsionen reduzieren kann (Sangalli et al., 2021). Zudem bieten sich im Bereich der Lehre neue Möglichkeiten zur Aus- und Weiterbildung zahnmedizinischen Personals, wobei mit Online-Kursen auch patientenfallbezogene Lehre zum frühzeitigen Erkennen oraler Erkrankungsbilder und deren

Prävention möglich wären (Böhm Da Costa et al., 2020). Wird ein Therapiebedarf festgestellt, sind die Möglichkeiten der Telemedizin meist erschöpft, da für die Umsetzung therapeutischer Interventionen weiterhin ein direkter zahnärztlicher Besuch notwendig ist (Pentapati et al., 2017).

### **2.3.2 Genauigkeit, Reliabilität und Validität**

In Studien der letzten Jahre wurden überwiegend Ansätze asynchroner Telemedizin in der Zahnmedizin untersucht, da diese keine ständige Verfügbarkeit des zahnärztlichen Untersuchers benötigen (Flores et al., 2020). Die Telemedizin wird in den meisten Studien im Hinblick auf die Genauigkeit als vergleichbare Screening-Methode gegenüber dem Goldstandard einer direkten visuellen Untersuchung angesehen (Alabdullah & Daniel, 2018; Irving et al., 2018).

In einer Studie von Pentapati et al. (2017) wurde ein zahnärztliches Screening bei Kindern mithilfe einer intraoralen Kamera durchgeführt, die mit integrierter Beleuchtung zur Aufnahme von intraoralen Videos sowie zum Teil zusätzlichen Fotos verwendet wurde. Hierbei zeigte sich bei den dentalen Befunden eine gute (Detektion von Karies:  $\kappa = 0,714$ ; Zahnhartsubstanzverlust:  $\kappa = 0,716$ ; Zahnstein:  $\kappa = 0,76$ ) bis sehr gute (Detektion von Zahnverfärbungen:  $\kappa = 0,825$  und Dentalfluorose:  $\kappa = 1$ ) Reliabilität zwischen telemedizinischen und klinischen Befunden. Die Sensitivität variierte in den Untersuchungen zwischen 90 und 100 % und die Spezifität zwischen 66,7 und 100 %. Für den DMFT-Wert (Decayed, Missing, Filled Teeth) als Index zur Erfassung der individuellen Karieserfahrung sowie den DT-Wert (Decayed Teeth) zu vorliegenden Kariesläsionen wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt, wobei in den telemedizinischen Befunden mehr kavitierte Kariesläsionen als bei den klinisch erhobenen Befunden detektiert wurden (Pentapati et al., 2017).

Eine weitere Studie von Queyroux et al. (2017) mit älteren, pflegebedürftigen Erwachsenen zeigte zudem eine hohe Genauigkeit bei der telemedizinischen Detektion dentaler Pathologien auf Grundlage von intraoralen Videos gegenüber einer konventionellen, direkt visuellen Untersuchung. Dabei wurden sowohl eine hohe Sensitivität (93,8 %) als auch Spezifität (94,2 %) sowie ein hoher positiver (95,2 %) und negativer Vorhersagewert (92,4 %) festgestellt. Weiterhin wurde auf Grundlage von Sensitivität und Spezifität in den Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) eine große Area Under the Curve

(AUC = 0,95) ermittelt, was für eine hohe Genauigkeit gegenüber der direkt visuellen Untersuchung spricht (Beschreibung zu ROC-Kurven und AUC in Kapitel 4.6, S. 34 f.). Die telemedizinischen Befunde zur Beurteilung der Kaufähigkeit (Sensitivität = 85,0 %; Spezifität = 82,8 %) sowie zur Einschätzung der prothetischen Versorgung durch vorhandene Prothesen (Sensitivität = 87,8 %; Spezifität = 90,3 %) zeigten eine geringere, jedoch weiterhin gute Genauigkeit gegenüber der direkt visuellen Untersuchung (Queyroux et al., 2017).

In einer weiteren Studie von Bleiel et al. (2023) wurde anhand intraoraler Smartphone-Fotos die Reliabilität telemedizinischer Bewertungen der Mundhygiene gegenüber der klinischen Bewertung bei pflegebedürftigen Patienten in einem SPZ untersucht. Basierend auf den Fotos wurden dazu von zwei Untersuchern telemedizinische Befunde zu (intraoral) vorhandener, vestibulärer Plaque (Modified Plaque Index for Long-Term-Care) sowie zur Prothesenhygiene (Denture Hygiene Index) bei Patienten erhoben und die Korrelation (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) der Befunde mit klinischen Befunden eines anderen Untersuchers ermittelt. Hierbei wurde zwischen den klinischen und den telemedizinischen Befunden eine sehr gute Reliabilität bei der Bewertung der Prothesenhygiene ( $ICC_{\text{Oberkiefer}} = 0,91$ ;  $ICC_{\text{Unterkiefer}} = 0,95$ ) sowie eine gute Reliabilität bei der Bewertung der vestibulären Plaque ( $ICC_{\text{Oberkiefer}} = 0,84$ ;  $ICC_{\text{Unterkiefer}} = 0,87$ ) festgestellt. Bei den telemedizinischen Befunden wurde die Mundhygiene dabei tendenziell schlechter bewertet als klinisch, welches sich in höheren Punktwertungen beider Indizes äußerte (Bleiel et al., 2023).

Allgemein variieren die Genauigkeit und Reliabilität telemedizinischer Ansätze zwischen verschiedenen Studien von moderat bis sehr gut (Alabdullah & Daniel, 2018; Flores et al., 2020; Irving et al., 2018). Hierbei zeigt sich in den überwiegenden Studienergebnissen eine höhere Spezifität als Sensitivität telemedizinischer Befunde (Alabdullah & Daniel, 2018). Die Einsatzgebiete der telemedizinischen Ansätze differieren in den Studien jedoch stark. So sind Daten zum dentalen oder kieferorthopädischen Screening von Kindern und Erwachsenen, zur Abklärung einer fachzahnärztlichen Überweisung, zur Evaluation einer möglichen Malignität oraler Schleimhautläsionen sowie zur Übereinstimmung von unterschiedlichen oralen Diagnosen und Therapieentscheidungen verfügbar (Blomstrand et al., 2012; Estai et al., 2016; Kopycka-Kedzierawski & Billings, 2013; Mandall et al., 2005; Namakian et al., 2012; Torres-Pereira et al., 2013). Da in den vorhandenen Studien verschiedene Kamerasysteme unterschiedlicher Qualität verwendet wurden, vermuten Alabdullah & Daniel (2018) einen möglichen Einfluss der Bildqualität auf die

Studienergebnisse. Zudem diskutieren die Autoren als weitere Einflussfaktoren die Ausleuchtung während der intraoralen Aufnahmen sowie die Bildauflösung mit der Möglichkeit zur Vergrößerung am Computer für eine detailliertere Darstellung der klinischen Situation und genauere telemedizinische Befunderhebung. Neben diesen möglichen Einflussfaktoren ist auch ein Zusammenhang zwischen der Erfahrung des zahnmedizinischen Personals und der Genauigkeit telemedizinischer Befunde in nachfolgenden Studien näher zu untersuchen, wobei ein Einfluss auf die Validität der telemedizinischen Untersuchung angenommen wird (Alabdullah & Daniel, 2018). Insgesamt limitiert die Heterogenität der verfügbaren Studien im Hinblick auf die verwendeten Technologien und dem methodischen Vorgehen deren Vergleichbarkeit untereinander (Alabdullah & Daniel, 2018; Irving et al., 2018). Daher besteht weiterer Bedarf an methodisch vergleichbaren Studien.

### **2.3.3 Effizienz und Akzeptanz**

Mit dem Einsatz von Telemedizin kann eine Reduktion der Untersuchungszeit und der Anfahrtswege mit begleitender Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, kürzeren Wartezeiten und einem zeit- sowie kostensparenden Zugang zu spezialisierten Fachzahnärzten ermöglicht werden und damit die frühzeitige Erkennung eines möglichen Therapiebedarfs bei schwer zu erreichenden Bevölkerungsgruppen gewährleistet werden (Alabdullah & Daniel, 2018; Aquilanti et al., 2020; Flores et al., 2020; Irving et al., 2018). Der Zugang zu zahnmedizinischer Versorgung kann gerade für abgelegene Regionen mit unzureichender medizinischer Infrastruktur sowie für immobile Patienten verbessert werden (Aquilanti et al., 2020; Daniel & Kumar, 2014; Rahman et al., 2020). Insbesondere für ältere Erwachsene in Pflegeeinrichtungen kann zudem durch telemedizinische Ansätze eine zusätzliche Belastung durch sonst notwendige Anfahrtswege vermindert werden (Aquilanti et al., 2020). Neben den notwendigen materiellen Investitionskosten ist jedoch auch ein entsprechender Aufwand zur personellen Schulung der intraoralen Anwendung des Kamerasystems einzuplanen (Irving et al., 2018). Einige Studien berichten diesbezüglich von einer anfänglichen Eingewöhnungsphase, bis ein zeit- und kosteneffizienter Einsatz möglich wird (Irving et al., 2018). In Pflegeeinrichtungen kann mit dem Einsatz von entsprechend geschultem Pflegepersonal durch Erstellung intraoraler Aufnahmen für die nachfolgende telemedizinische Diagnostik eine Kosteneinsparung gegenüber der konventionellen, direkt visuellen Untersuchung erreicht werden (Mariño et al., 2016). Mit der technischen

Weiterentwicklung geeigneter intraoraler Kamerasysteme sind in den vergangenen Jahren deren Kosten gesunken, weshalb mehrere Studien bereits einen verbesserten Ausgleich notwendiger Investitionskosten durch die zeitlichen Einsparungen und eine Reduzierung von Terminabsagen feststellen (Irving et al., 2018).

Die überwiegende Mehrheit von Studien berichten von einer hohen Akzeptanz der Patienten und des zahnmedizinischen Personals im Hinblick auf telemedizinische Ansätze (Aquilanti et al., 2020; Flores et al., 2020; Irving et al., 2018; Queyroux et al., 2017; Rahman et al., 2020). Patienten mit Dentalphobien beschreiben synchrone Telemedizin als Möglichkeit, mehr Informationen aus dem zahnärztlichen Gespräch zu erfassen, da der Aufenthalt in den eigenen Räumlichkeiten unter Umständen mit mehr Selbstvertrauen einhergeht (Rahman et al., 2020). Jedoch wird seitens des zahnmedizinischen Personals von Vorbehalten berichtet, welche vorrangig auf Schwierigkeiten im Umgang mit den technischen Systemen beruhen und denen durch adäquate Schulungen des Personals begegnet werden muss (Böhm Da Costa et al., 2020). Bei der Diagnosestellung durch asynchrone Telemedizin führte zudem die fehlende Interaktion mit dem Patienten, und eine dadurch eingeschränkte spezifische Anamnese, teilweise zu Unsicherheiten beim zahnärztlichen Personal (Alabdullah & Daniel, 2018). Auch bei einigen Patienten sorgte die fehlende zahnärztliche Interaktion und das zunächst ausbleibende Feedback bei der asynchronen Telemedizin für Skepsis. Daneben wurden Bedenken von Pflegepersonal in Pflegeeinrichtungen geäußert, dass Telemedizin nicht zur Erfassung der tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort geeignet sei (Aquilanti et al., 2020). Aufgrund solcher Einschränkungen wird die Telemedizin nicht als Ersatz für herkömmliche direkte Untersuchungsmethoden, sondern als ergänzendes Screening sowie für (fach-)zahnärztliche Konsile angesehen, die durch nachfolgende direkte Untersuchungen und Interventionen ergänzt werden können (Aquilanti et al., 2020; Gambino et al., 2014). Mit der Anwendung von Telemedizin ist nicht zuletzt auch die Datensicherheit von patientenbezogenen Informationen kritisch, denn sie muss den jeweiligen rechtlichen Rahmenbedingungen gerecht werden (Böhm Da Costa et al., 2020; Flores et al., 2020; Gambino et al., 2014).

Im Kontext der COVID-19-Pandemie erlangte die Telemedizin eine größere Relevanz hinsichtlich einer Infektionsprävention und erlaubte sowohl Patienten als auch dem zahnmedizinischen Personal Infektionsschutz (Rahman et al., 2020). Mit der Weiterentwicklung von Finanzierungsmöglichkeiten, der Etablierung von Schulungen des (zahn-)medizinischen Personals und der transparenten Aufklärung von Patienten und

Angehörigen könnten die Effizienz und Akzeptanz telemedizinischer Ansätze zukünftig weiter zunehmen. Durch die Weiterentwicklungen im Bereich der digitalen Zahnmedizin bieten IOS zudem neue technische Möglichkeiten, die im nachfolgenden Kapitel 2.4 näher betrachtet werden.

## **2.4 Intraoralscanner (IOS)**

### **2.4.1 Technische Entwicklungen und klinische Anwendungsbereiche**

Das Konzept von intraoralen 3D-Scans sowie deren Verwendung in der Zahnmedizin entstand bereits 1973, woraufhin 1985 die Firma Dentsply Sirona den ersten IOS, CEREC (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics oder CERamic REConstruction) genannt, produzierte (Jedliński et al., 2021; Martin et al., 2015). Inzwischen sind IOS in der digitalen Zahnmedizin, z. B. aus dem Bereich der Versorgungskonzepte mit Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) nicht mehr wegzudenken und werden etwa in der Zahnerhaltung, Prothetik, Kieferorthopädie oder Oralchirurgie angewendet. Das Haupteinsatzgebiet von IOS besteht dabei in der digitalen intraoralen Abformung im Rahmen eines digitalen Workflows (Zimmermann, 2017).

Die Erfassung eines digitalen 3D-Modells der intraoralen Ausgangssituation für CAD/CAM-Prozesse kann indirekt oder direkt erfolgen. Während bei einem indirekten Scan der konventionelle Abdruck oder das fertige Labormodell von einem Laborscanner digitalisiert wird, ermöglichen IOS eine direkte intraorale Erfassung, d. h. einen digitalen Abdruck, der für einen modellfreien Workflow genutzt werden kann (Martin et al., 2015; Sawase & Kuroshima, 2020).

Allgemein kann bei den Ausführungsvarianten der IOS zwischen rollbaren Cart-Geräten, in die Behandlungseinheit integrierten Geräten, Tischgeräten sowie USB-basierten Geräten, die mit Computern oder Tablets verwendbar sind, unterschieden werden (Zimmermann et al., 2015). Die Aufnahmeprinzipien verfügbarer IOS unterscheiden sich dahingehend, dass die intraorale Ausgangssituation entweder als Modus einer Videosequenz oder in Einzelbildern erfasst wird (Zimmermann et al., 2015). Als Aufnahmeprinzipien werden etwa die Konfokaltechnik, die Triangulation, das Active Wavefront Sampling (Synonym: 3D In-Motion Video Imaging Technology) oder die Accordion Fringe Interferometry eingesetzt (Kravitz et al., 2014; Zimmermann et al., 2015). Zudem gibt es herstellerspezifische Weiterentwicklungen wie die Ultrafast Optical Sectioning Technology (herstellerspezifisch: TRIOS-Reihe, 3Shape), welche auf der Konfokaltechnik basiert und die erhobenen

Einzeldata mithilfe einer Point and Stitch Reconstruction zusammenfügt (Martin et al., 2015). Als zugrunde liegendes Prinzip werden vom IOS Licht- oder Laserstrahlen auf die Zahnoberfläche projiziert und deren Reflexionen von einem Sensor oder einer Kamera erfasst. Die erfassten Oberflächendatenpunkte werden mithilfe von Algorithmen zur Erstellung einer digitalen 3D-Repräsentation des Objekts verwendet (Kravitz et al., 2014). Über das Standard-Tessellation-Language-Datenformat (STL) wird eine Weiterverarbeitung in nachfolgenden CAD/CAM-Prozessen ermöglicht, wobei nicht alle Hersteller ein offenes System mit direktem STL-Datenexport anbieten (Martin et al., 2015; Zimmermann et al., 2015). Nachfolgend sind verschiedene Aufnahmeprinzipien der IOS noch einmal dargestellt (Abb. 3). Für detailliertere Erläuterungen wird auf die weiterführende Literatur verwiesen.

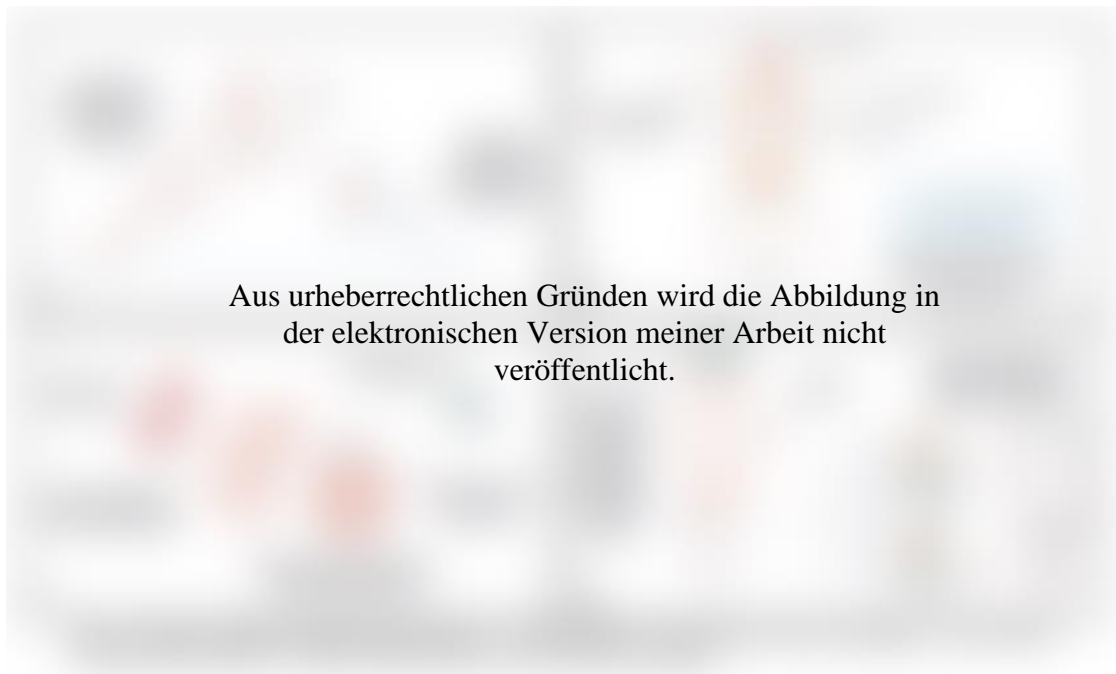


Abb. 3: Aufnahmeprinzipien von Intraoralscannern (Kravitz et al., 2014, S. 340). Verwendung der Abbildung mit freundlicher Genehmigung durch das Journal of Clinical Orthodontics (JCO). Die verschiedenen Aufnahmeprinzipien (A: Triangulation, B: Konfokaltechnik, C: Accordion Fringe Interferometry, D: 3D In-Motion Video Imaging Technology) unterscheiden sich in der Art der verwendeten Licht- bzw. Laserquelle. Dabei wird eine gezielte Brechung und Reflexion der Strahlen erzeugt, die von einer Kamera oder einem Sensor als Modus von Einzelbildern oder einer Videosequenz erfasst werden. Die erfassten Oberflächendatenpunkte und deren Lage zueinander werden mithilfe von Algorithmen von dem jeweiligen System weiterverarbeitet (z. B. Point and Stitch Reconstruction) und zur Erstellung digitaler 3D-Modelle verwendet (Kravitz et al., 2014).

Das verwendete Aufnahmeprinzip kann einen Einfluss auf die Scangeschwindigkeit, Auflösung und Genauigkeit des IOS haben (Kravitz et al., 2014). Bei einigen IOS ist zudem



der Einsatz eines Puders notwendig, um etwa Reflexionen an vorhandenen Restaurationen zu verhindern (Suese, 2020). Das hierbei eingesetzte opake Puder basiert vorwiegend auf Titanoxid oder seltener auf Zirkonoxid und wird in einer möglichst homogenen Schicht auf die Zahnoberflächen aufgetragen. Die Puderschicht ermöglicht eine weitgehend gleichmäßige und vorhersagbare Lichtbrechung, sodass diese vom IOS und dessen Algorithmen besser verarbeitet und mehr Oberflächendatenpunkte erfasst werden können (Kravitz et al., 2014).

Auch der vom Hersteller empfohlene Scanpfad (bei Quadranten-, Sextanten oder Ganzkieferaufnahmen) sowie der notwendige Abstand zur Zahnoberfläche variieren je nach Aufnahmeprinzip und IOS-System (Martin et al., 2015). Infolge technischer Weiterentwicklungen besitzen moderne IOS kleinere Ausführungen, leichtere Handstücke, schnellere Scangeschwindigkeiten, höhere Bildauflösung und Farbdarstellung sowie verbesserte Bildsoftware (Suese, 2020). Auch mit steigendem Umfang vielfältiger Softwareangebote (z. B. Analysesoftware) haben sich die klinischen Anwendungsmöglichkeiten von IOS in den vergangenen Jahren stetig erweitert, sodass sie inzwischen weit über den digitalen Abdruck hinausgehen.

In der Zahnerhaltung und Prothetik werden digitale Abdrücke der IOS für die restaurative Versorgung von Zähnen und Implantaten (mithilfe von Scankörpern) eingesetzt, wobei integrierte Analysesoftware eine direkte Beurteilung der Präparation mit Abschätzung der späteren Restaurationsschichtstärke ermöglichen (Mangano et al., 2017; Zimmermann, 2017). Einige IOS-Systeme bieten zudem eine digitale Zahnfarbenbestimmung an, die in der Praxis jedoch selten eingesetzt wird (Sirintawat et al., 2021).

Auch im Bereich der Kieferorthopädie werden IOS eingesetzt. Dabei werden sie zur Diagnostik anhand softwarebasierter Analysetools (z. B. Bolton-Analyse), zur Planung und Verlaufsdokumentation kieferorthopädischer Interventionen sowie zur Herstellung von Alignern, individualisierten Apparaturen und Übertragungstrays genutzt (Jedliński et al., 2021; Kravitz et al., 2014; Martin et al., 2015).

Moderne IOS-Systeme ermöglichen zusätzlich eine Dateifusion von dreidimensionalen DVT-Daten (Digitale Volumentomografie), die mit dem digitalen 3D-Modell gematcht und bei der vollnavigierten Implantologie zur Planung der Implantatpositionen sowie zur Herstellung von Bohrschablonen verwendet werden (Mangano et al., 2017). Insgesamt können IOS-Systeme in allen genannten Fachbereichen die Kommunikation mit dem Patienten erleichtern, indem sowohl die intraorale Ausgangssituation gemeinsam betrachtet

werden kann als auch Therapieverläufe und Ziele mithilfe unterstützender Software visualisiert werden können (Mangano et al., 2017; Zimmermann, 2017). In den letzten Jahren wurde vermehrt der Einsatz von IOS im Bereich der Befunderhebung und Kariesdiagnostik untersucht, die in Kapitel 2.4.4 (Dentale Befunderhebung mit IOS, S. 19 ff.) näher betrachtet werden.

Über die klassischen Fachgebiete der Zahnmedizin hinaus beschäftigte sich eine neuere Studie von Fournier et al. (2020) mit den Einsatzmöglichkeiten eines IOS zur forensischen Identifikation von Personen, die auf einem Abgleich von Bissspuren und digitalen Abdrücken basiert. Hierbei wurden Bissspuren in verschiedenen Materialien (Wachsregistrat, Käse, Milkschokolade und Apfel) mit einem IOS erfasst und mit intraoralen Scans verglichen, wobei das Wachsregistrat die besten Ergebnisse zeigte (Fournier et al., 2020). Welche neuen oder erweiterten Anwendungsbereiche von IOS sich zukünftig noch ergeben werden, bleibt abzuwarten.

#### **2.4.2 Vor- und Nachteile der IOS**

Die meisten Vor- und Nachteile von IOS beziehen sich auf die digitale Abformung, welche die Grundlage für den weiteren digitalen Workflow darstellt. Hierbei können Materialkosten, Abfall, Transportwege sowie zeitaufwändige, manuelle Arbeitsschritte im Labor eingespart und ein Infektionsrisiko durch kontaminierte Abdrücke vermieden werden (Mangano et al., 2017; Suese, 2020). Durch die sofortige Darstellung im digitalen 3D-Modell, welches auch die Kommunikation mit dem Patienten erleichtert, können Ungenauigkeiten direkt identifiziert und selektive Wiederholungen der Scans für ausgewählte Bereiche durchgeführt werden (Zimmermann et al., 2015). Neben herstellereinspezifischen Analysemöglichkeiten (z. B. Präparationscheck) oder Dateifusionen als digitale Diagnose- und Planungsmöglichkeiten sowie Verlaufskontrolle, kann eine platzsparende Archivierung ohne Modellverschleiß erfolgen (Suese, 2020; Zimmermann et al., 2015).

Demgegenüber müssen für einen präzisen Einsatz jedoch zunächst der Umgang mit dem IOS (z. B. herstellerempfohlener Scanpfad, Softwaresystem) erlernt und geeignete intraorale Voraussetzungen für die optische Erfassung hergestellt werden (Mangano et al., 2017; Zimmermann et al., 2015). Hierbei können etwa Hypersalivation, gingivale Blutungen oder tiefe Präparationsgrenzen mit subgingivalem Verlauf in ästhetischen Bereichen die

Erfassung mit dem IOS beeinträchtigen (Mangano et al., 2017; Suese, 2020). Bei Implantaten muss zudem neben einem implantatspezifischen Scankörper für den digitalen Abdruck auch eine Kompatibilität mit dem IOS gegeben sein (Zimmermann et al., 2015). Derzeit ist die dynamische Okklusion mit dem IOS nicht realitätsgetreu simulierbar, jedoch bieten einige Systeme inzwischen einen virtuellen Artikulator zur Berücksichtigung einiger Parameter an (Suese, 2020). Herstellerspezifische Nutzungsgebühren (z. B. Datenübertragung, Softwareupdates) sollten neben den Investitionskosten in der individuellen Kosten-Nutzen-Relation berücksichtigt werden (Suese, 2020). Nachfolgend sind die verschiedenen Vor- und Nachteile der IOS zur Übersicht zusammengefasst (Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht zu den Vor- und Nachteilen von Intraoralscannern (IOS). In der Tabelle werden die Vor- und Nachteile beim Einsatz von IOS dargestellt (Mangano et al., 2017; Suese, 2020; Zimmermann et al., 2015).

<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Kein Abformlöffel, -material und Modellgips notwendig (Material-, Zeit- und Abfalleinsparungen, reduziertes Infektionsrisiko, höherer Patientenkomfort)	Kostenintensive Investition und ggf. weiterführende Nutzungskosten für Datenübertragung/Softwareupdates (individuelle Kosten-Nutzen-Relation)
Sofortige Darstellung (digitales 3D-Modell) und direkte Analysemöglichkeit (z. B. Präparationscheck)	Notwendige Einarbeitungszeit im Umgang mit dem IOS (z. B. herstellerempfohlener Scanpfad, Softwaresystem)
Schnelle und selektive Wiederholbarkeit einzelner Scanbereiche bei Ungenauigkeiten	Trockene Zahnoberfläche für optische Erfassung notwendig (kein Speichel/Blut)
Schnelle digitale Übertragung intraoraler Informationen und erleichterte Kommunikation mit dem Patienten/Zahntechniker durch Visualisierung am digitalen 3D-Modell	Optische Erfassung tiefer Präparationsgrenzen problematisch (v. a. bei subgingivalem Verlauf in ästhetischen Bereichen)
Dateifusion bzw. weiterführende Softwareangebote (Diagnose- und Planungsmöglichkeiten, Verlaufskontrollen)	Bei Implantaten spezifischer Scankörper und Kompatibilität mit IOS-System notwendig
Platzsparende Archivierung ohne Modellverschleiß	Dynamische Okklusion nicht realitätsgetreu simulierbar

### 2.4.3 Genauigkeit, Einflussfaktoren und Limitationen

Die Genauigkeit von IOS bei der digitalen Abformung setzt sich aus deren Richtigkeit (engl.: trueness) sowie Präzision (engl.: precision) zusammen (Aswani et al., 2020). Während die Richtigkeit sich darauf bezieht, ob die Ergebnisse eines Messverfahrens mit wirklichen Messwerten übereinstimmen, beschreibt die Präzision die Reproduzierbarkeit eines Ergebnisses durch das Messverfahren (Aswani et al., 2020). Zur Erfassung der Richtigkeit von IOS-Scans werden etwa Kontrollen durch Referenzscans von höchstgenauen Industriescannern verwendet, wobei die Scans nach digitaler Überlappung von entsprechender Software auf Abweichungen untereinander analysiert werden können. Die Präzision kann dagegen durch Analyse mehrerer Scans eines Objekts durch denselben IOS zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt werden, was ebenfalls mithilfe digitaler Überlappung und softwarebasierter Analyse erfolgen kann (Mangano et al., 2017).

In einer aktuellen In-vitro-Studie von Amornvit et al. (2021) wurden anhand eines gedruckten Oberkiefer-Modells mit Referenzpunkten verschiedene IOS bezüglich ihrer Genauigkeit untersucht und untereinander verglichen. Dabei zeigten alle Scanner eine geringere Genauigkeit bei steigender Scanlänge, also bei steigender Spanne des gescannten Zahnbogens. Dies war vorrangig auf eine geringere Richtigkeit zurückzuführen, die zudem zwischen den verschiedenen IOS variierte, wohingegen die Präzision zwischen den unterschiedlichen IOS vergleichbar war. Die höchste Genauigkeit wurde in der Y-Achse und die geringste in der diagonalen Achse der Scans festgestellt ( $Y > X = Z > \text{diagonal}$ ). Außerdem waren die Scans insgesamt in den posterioren Regionen genauer und zeigten abhängig von der Zahnform in der Front höhere Fehlerraten. Die TRIOS-Reihe (TRIOS 3 und 4 inkludiert) von 3Shape zeigte dabei in der Studie sowohl bei der Richtigkeit als auch der Präzision die besten Ergebnisse (Amornvit et al., 2021). In weiteren verfügbaren Studien variierten jedoch nicht nur die Werte zur Richtigkeit und Präzision verschiedener IOS, sondern auch das jeweilige IOS-Modell mit der höchsten Genauigkeit (u. a. iTero, CS3500, Lava COS, CEREC Bluecam) (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020). Zudem berichten diese Studien bei Scans des kompletten Zahnbogens im Gegensatz zu den Ergebnissen von Amornvit et al. (2021) von stärkeren Verzerrungen in posterioren Bereichen. Diese Variabilität in den Ergebnissen wird auf eine starke Heterogenität verfügbarer Studien im Hinblick auf das jeweilige Studiendesign (z. B. in vitro/in vivo, fehlende Zähne/vollständiges Gebiss, begrenzter Scanumfang/Scan des gesamten Zahnbogens) zurückgeführt (Aswani et al., 2020). Auch die verwendeten Kontrollmethoden

zur Referenzgewinnung variieren, wobei neben hochauflösenden Industriescannern auch Laborscanner, konventionelle Abdrücke oder Distanzmessungen an Labormodellen zum Einsatz kommen und so die Vergleichbarkeit untereinander reduzieren (Abduo & Elseyoufi, 2018; Kihara et al., 2020). Zudem ist es bei In-vivo-Studien schwieriger, die Richtigkeit der IOS zu untersuchen. Viele Studien verwenden konventionelle Abdrücke als Kontrolle, welche ebenfalls Verzerrungen bzw. Abweichungen durch das Abformmaterial enthalten können, wohingegen der Einsatz von hochauflösenden Industriescannern nicht für die intraorale Anwendung konzipiert und daher dort nur bedingt möglich ist (Winkler & Gkantidis, 2020). Insgesamt wird die Genauigkeit von IOS bei ausgewählten klinischen Indikationen jedoch als vergleichbar mit derer konventioneller Abdrücke angesehen (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020; Kihara et al., 2020; Sawase & Kuroshima, 2020).

In aktuellen Studien werden zudem verschiedene Einflussfaktoren genannt, welche die Genauigkeit verfügbarer IOS bei der digitalen Abformung beeinträchtigen können. In vivo können patientenspezifische Faktoren wie Speichelfluss, gingivale Blutungen, individuelle Mundöffnung sowie Bewegungen des Patienten die Genauigkeit der IOS beeinflussen, indem die optische Erfassung beeinträchtigt wird (Kihara et al., 2020). Daneben wurden bezüglich der Oberflächenmorphologie an steilen oder approximalen Bereichen sowie gingivalen Anteilen höhere Ungenauigkeiten beobachtet (Abduo & Elseyoufi, 2018). Auch der Übergang von Kurvaturen und kantige Präparationen oder die Präparation von approximalen Kästen können sich negativ auf die Genauigkeit auswirken, wobei eine genauere Erfassung von Präparationen im Molarenbereich als im Inzisalbereich beobachtet wurde (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020). Weiterhin wurde mit Anstieg der gescannten Spanne des Zahnbogens und der Anzahl an fehlenden Zähnen ein negativer Einfluss auf die Genauigkeit der IOS beobachtet (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020; Kihara et al., 2020). Zudem können das Aufnahmeprinzip und der Aufnahmemodus, der zugrunde liegende Datenverarbeitungsalgorithmus bzw. die IOS-Software, der Scanpfad und der Einsatz eines Puders die Genauigkeit beeinflussen. Während beim Prinzip der Triangulation die höchste Richtigkeit angenommen wird, benötigt das Prinzip der Konfokaltechnik dagegen zur Fokussierung keinen bestimmten Abstand zur Zahnreihe und wird diesbezüglich in seiner Genauigkeit weniger beeinträchtigt (Aswani et al., 2020). Daneben kann der Einsatz eines Puders die Genauigkeit erhöhen und einen positiven Einfluss auf die Erfassung vorhandener Metallrestorationen haben, was jedoch nicht in allen verfügbaren Studien beobachtet wurde. Daher wird dessen klinische Relevanz

weiterhin diskutiert (Abduo & Elseyoufi, 2018). Während einige Studien eine höhere Anfälligkeit puderfreier IOS-Systeme bei Änderungen der Oberflächenstruktur berichten, verweisen andere auf mögliche negative Einflüsse inhomogener Puderschichten insbesondere im Randbereich zu scannender Präparationen (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020; Kihara et al., 2020). Auch das Umgebungslicht sowie der Lichtmodus des IOS können einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit haben, wobei die höchste Richtigkeit bei eingeschalteter Raumdeckenbeleuchtung und ausgeschaltetem Licht der Behandlungseinheit und blauem Lichtmodus des IOS (i500, Vers. 2.2.4, Medit Corp.) beobachtet wurde (Koseoglu et al., 2021). In weiteren Studien wurde neben der Ausleuchtung auch ein Einfluss der Farbtemperatur auf die Genauigkeit von IOS festgestellt (Kihara et al., 2020). Aufgrund der heterogenen Studienlage variieren die Ergebnisse zu möglichen Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die verschiedenen IOS und sind daher unter Vorbehalt zu betrachten. Hierbei ist auch ein variabler Einfluss auf die verschiedenen IOS-Systeme möglich, der auf Grundlage der aktuell verfügbaren Literatur jedoch nicht abschließend geklärt werden kann.

Die derzeitige heterogene Studienlage führt insgesamt zu Limitationen in der Vergleichbarkeit und Aussagekraft der einzelnen Studienergebnisse (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020; Kihara et al., 2020). Aufgrund bestehender Ungenauigkeiten ist der klinische Einsatz von IOS begrenzt und wird neben diagnostischen Zwecken derzeit im prothetischen Bereich nur für Einzelzahnkronen sowie für bis zu drei- bzw. vierspannigen, festsitzenden Zahnersatz (zahn-/implantatgetragen) empfohlen, wogegen bei größeren Spannen derzeit noch ein konventioneller Abdruck verwendet werden sollte (Abduo & Elseyoufi, 2018; Aswani et al., 2020; Mangano et al., 2017; Sawase & Kuroshima, 2020). Auf Grundlage neuerer Studien ist jedoch auch ein zukünftiger Einsatz von IOS zur Herstellung von herausnehmbaren (Teil-)Prothesen sowie Totalprothesen oder eines zahnmedizinischen Mundschutzes denkbar (Kihara et al., 2020). Zu diesen klinischen Anwendungsmöglichkeiten und im Hinblick auf vergleichbare bzw. standardisierte Studiendesigns sind zukünftige Studienergebnisse abzuwarten.

#### **2.4.4 Dentale Befunderhebung mit IOS**

Während neuere Studien die Anwendung von IOS bei der dentalen Befunderhebung untersuchen, sind Fluoreszenz- und Transilluminationskameras unabhängig davon bereits in der klinischen Kariesdiagnostik etabliert. Die (Laser-)Fluoreszenztechnologie ist

insbesondere durch den DIAGNOdent Pen (KaVo) bekannt, wobei ein roter Laserstrahl (655 nm Wellenlänge) unter Zahnkontakt auf die Zahnoberfläche ausgesendet und das dadurch angeregte Fluoreszenzleuchten erfasst wird (Sürme et al., 2020; Tassoker et al., 2019). Durch erhöhtes Porenvolumen und bakterielle Porphyrine (Stoffwechselprodukte) innerhalb der Kariesläsion, die fluoreszieren, kann die Fluoreszenzmessung klinisch zur Kariesdetektion verwendet werden (Tassoker et al., 2019).

Außerdem wird heute als Weiterentwicklung der digitalen faseroptischen Transillumination (engl.: Digital Fiber Optical Transillumination = DIFOTI) die digitale Nahinfrarot-Transillumination (engl.: Near-Infrared Light Transillumination = NIR-LT) eingesetzt (Tassoker et al., 2019). Das als DIAGNOcam (KaVo) bekannte NIR-LT-Kamerasystem emittiert für das menschliche Auge nicht-sichtbares Licht aus dem Nahinfrarot-Spektrum (780 nm Wellenlänge) auf Höhe der Zahnwurzel, welches über Gingiva und Alveolarknochen den Zahn durchleuchtet und zur Zahnkrone weitergeleitet wird, wo es von einem Charge-Coupled Device Sensor (CCD-Sensor) digital erfasst und zur Darstellung der okklusalen Oberfläche genutzt wird (Sürme et al., 2020).

In den vergangenen Jahren wurden die Fluoreszenztechnologie und die NIR-LT in zahlreichen Studien untersucht, wobei insbesondere die NIR-LT durch eine Reduktion der röntgenologischen Strahlenbelastung bei approximalen Kariesläsionen von großem Interesse ist. In einem aktuellen Review wird hierzu eine gepoolte Sensitivität von 0,97 sowie eine Spezifität von 0,91 angegeben, wobei die NIR-LT eine vergleichbare Genauigkeit wie Bitewing-Röntgenaufnahmen ohne die Problematik überlagerter Approximalbereiche zeigte (Ortiz et al., 2020). Zudem geht aus aktuellen In-vitro-Studien hervor, dass die NIR-LT (DIAGNOcam) eine hohe Genauigkeit bei der Detektion okklusaler Kariesläsionen ohne Kavitation besitzt und eine Kombination von visueller ICDAS-Klassifikation (International Caries Detection Assessment System) und Laserfluoreszenz (DIAGNOdent Pen) genauer als die alleinige visuelle ICDAS-Klassifikation ist (Akarsu & Karademir, 2018; Sürme et al., 2020). Bei der Detektion und Diagnose okklusaler Kariesläsionen ohne Kavitation in vivo zeigte die NIR-LT (DIAGNOcam) die höchste Korrelation mit der histologischen Referenz und die Laserfluoreszenz (DIAGNOdent Pen) eine höhere Sensitivität bei der Diskriminierung von Schmelz- und Dentinkaries als die rein visuelle Untersuchung (Tassoker et al., 2019). Während diese Technologien somit die klinische Diagnostik approximaler Karies oder okklusaler Läsionen ohne Kavitation unterstützen können, wird bei insuffizienten Füllungen oder einer fortgeschrittenen Dentinbeteiligung zur Abschätzung



der Pulparelation weiterhin der Einsatz von Bitewing-Röntgenbildern empfohlen (Schaefer et al., 2018).

Um den klinischen Einsatz der IOS für den diagnostischen Bereich zu erweitern, wurden neuere IOS mit integrierten Fluoreszenz- oder Transilluminationstechnologien ausgestattet. Mit einem Prototyp basierend auf dem TRIOS 3 (3Shape) haben Michou et al. (2020a) in einer In-vitro-Studie verschiedene mathematische Funktionen bzw. Algorithmen zur Bewertung von Kariesläsionen auf Grundlage digitaler intraoraler 3D-Scans untersucht. Die integrierte Fluoreszenztechnologie des Prototyps verwendete ein blau-violettes Licht (415 nm Wellenlänge), welches nach Absorption durch vorhandene Fluorophore der Zahnhartsubstanz als grünes fluoreszierendes Licht mit längerer Wellenlänge remittiert wird. Bei Demineralisation durch kariöse Läsionen (erhöhtes Porenvolumen) ist die Intensität der grünen Fluoreszenz reduziert, wobei zeitgleich durch vorhandene bakterielle Porphyrine rote Fluoreszenz emittiert wird. Durch Analyse des remittierten Fluoreszenz-Signals und des Verhältnisses zwischen grüner und roter Fluoreszenz, können Informationen über die Anwesenheit und Progression von Kariesläsionen gewonnen werden. Während die visuell-taktile Untersuchung die höchste Korrelation ( $r_s = 0,80$ ) mit der histologischen Referenz zeigte, waren die röntgenologischen Befunde für die Detektion initialer okklusaler Kariesläsionen ungeeignet. Für den IOS konnte die mögliche Implementierung eines automatisierten fluoreszenzbasierten Bewertungssystems für Kariesläsionen nachgewiesen werden, wobei die besten Ergebnisse mit einer Funktion erreicht wurden, die das gesamte Fluoreszenz-Signal (Anteile roter und grüner Fluoreszenz) ins Verhältnis zum Fluoreszenz-Signal der umliegenden und gesunden Zahnoberfläche setzt. Unter Einsatz des IOS wurden bei der visuell-taktilen Untersuchung sogar leichte Verbesserungen in der Summe von Sensitivität und Spezifität bei E1- und D2-Läsionen<sup>1</sup> sowie in der Intrarater-Reliabilität (IOS  $f_4$ :  $\kappa = 0,964$ ; visuell-taktil:  $\kappa = 0,886$ ) beobachtet, die hinsichtlich der Reduktion untersucherbezogener Fehler in der zukünftigen klinischen Anwendung für IOS ein großes Potenzial darstellen (Michou et al., 2020a). Die Ergebnisse dieser Studie führten nachfolgend zur Implementierung eines automatisierten Bewertungssystems für okklusale Kariesläsionen in eine prototypische Software des TRIOS 4 (3Shape) (Michou et al., 2021).

---

<sup>1</sup> Bei D1-Läsionen ist keine Erhebung von Vergleichsdaten aus der visuell-taktilen Untersuchung möglich, da die ICDAS-Kriterien hierfür keine verlässlichen Unterscheidungsmerkmale zur Abgrenzung von E2-Läsionen beinhalten (Michou et al., 2020a).

In einer nachfolgenden Studie von Michou et al. (2021) sollten das automatisierte Kariesbewertungssystem klinisch validiert und Unterschiede in vivo und in vitro untersucht werden. Dazu wurden vier verschiedene Algorithmen in das IOS-System des TRIOS 4 (3Shape) implementiert und in vivo sowie nach geplanter Extraktion der Zähne in vitro angewendet. Ein Algorithmus (ALG4) bezog dabei neben den Fluoreszenz-Signalen (rot und grün) auch die erfassten Signale der Zahnfarbe (rot, grün und blau) beim Scan unter weißem Licht mit ein und verwendete die umliegende intakte Zahnhartsubstanz als Referenz. Alle Untersuchungsmethoden zeigten dabei eine signifikante Korrelation zur histologischen Referenz, wobei die stärksten Zusammenhänge bei ALG3, ALG4 und der visuell-taktilen Untersuchung (ICDAS-Kriterien) festgestellt wurden. Im Bereich initialer (histologisch  $\geq$  E1) und fortgeschrittener Kariesläsionen (histologisch  $\geq$  D2) zeigten die IOS-Algorithmen in vivo eine vergleichbare diagnostische Genauigkeit (E1: 0,63 – 0,70 und D2: 0,86 – 0,87) wie die visuell-taktile Untersuchung (E1: 0,79 und D2: 0,77), wobei ALG3 und ALG4 eine signifikant höhere Spezifität bei D2-Läsionen (ALG3: 0,88 und ALG4: 0,86) als die visuell-taktile Untersuchung (0,75) zeigten. Daneben wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den In-vivo- und In-vitro-Ergebnissen der verschiedenen IOS-Algorithmen festgestellt. Neben den bereits guten diagnostischen Leistungen könnten Weiterentwicklungen der zugrunde liegenden Algorithmen, die etwa die umgebende Läsionsoberfläche berücksichtigen, demnach potenziell zu einer weiteren Reduktion von falschen Klassifikationen (z. B. durch dunkle Verfärbungen bei arretierten Initialläsionen) beitragen (Michou et al., 2021).

In einer weiteren Studie wurde von Michou et al. (2022) der Einsatz einer neuen Transilluminationstechnologie (NIR-LT) mit dem TRIOS 4 (3Shape) in vitro untersucht. Der IOS mit NIR-LT zeigte dabei vergleichbare Diagnostikergebnisse wie die DIAGNOcam, wobei beide eine vergleichbare oder höhere Korrelation zu den histologischen Kontrollen zeigten als die zugehörigen Röntgenbefunde. Der IOS zeigte bei E1-, E2- und D1-Läsionen eine höhere Sensitivität (0,52 – 0,87), AUC (0,77 – 0,92) sowie eine höhere diagnostische Genauigkeit (0,71 – 0,89), wohingegen die visuellen und röntgenologischen Untersuchungen eine höhere Spezifität (0,91 – 0,98) besaßen. Bei D2-Läsionen zeigten IOS, DIAGNOcam und Röntgenbefunde vergleichbare Ergebnisse, die visuelle Untersuchung hatte eine signifikant geringere AUC. Die Intrarater-Reliabilität war sehr gut ( $\kappa > 0,80$ ) und die Interrater-Reliabilität moderat bis gut ( $\kappa = 0,57 – 0,63$ ). Michou et al. (2022) stellen den IOS mit integrierter NIR-LT daher als eine reliable, röntgenfreie

Ergänzung der visuellen Untersuchung zur Detektion und Klassifikation approximaler Kariesläsionen vor.

Daneben wurden in einer aktuell veröffentlichten In-vitro-Studie von Schlenz et al. (2022) die Reliabilität und Genauigkeit drei verschiedener IOS (TRIOS 4, iTero Element 5D und Planmeca Emerald S) mit integrierter Fluoreszenz- oder NIR-LT untersucht. Bei okklusalen Läsionen bleibender Zähne zeigte der IOS Planmeca Emerald S ( $\kappa = 0,700$ ) die höchste Übereinstimmung mit der Kontrolle durch  $\mu$ -CT (Mikro-Computertomografien), wohingegen diese bei Milchzähnen mit der visuellen Untersuchung ( $\kappa = 0,927$ ) am höchsten war. Für proximale Läsionen zeigten dagegen die Bitewing-Röntgenbefunde sowohl an bleibenden Zähnen ( $\kappa = 0,643$ ) als auch bei Milchzähnen ( $\kappa = 0,871$ ) die höchste Übereinstimmung zu den  $\mu$ -CT. Die Genauigkeit der verschiedenen IOS variierte in der Studie. In Bezug auf okklusale und proximale Läsionen bleibender Zähne besaß der Planmeca Emerald S die höchste Sensitivität und Spezifität aller IOS und zeigte die höchste AUC unter allen Diagnostikmethoden. Bei Milchzähnen hingegen zeigten die visuelle Untersuchung bei okklusalen Läsionen und die Bitewing-Röntgenbefunde bei proximalen Läsionen die höchste Genauigkeit, wobei innerhalb der verschiedenen IOS der TRIOS 4 die höchste Sensitivität, Spezifität und AUC besaß (Schlenz et al., 2022). Bei Betrachtung der Studienergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass von Schlenz et al. (2022) alle IOS für die Untersuchung von okklusalen und proximalen Kariesläsionen verwendet wurden, auch wenn dieses nicht den Herstellerempfehlungen entsprach.

Neben der Kariesdiagnostik wurde in weiteren Studien zudem die Anwendbarkeit von IOS zur Erfassung der Mundhygiene und von nicht-kariösen Zahnhartsubstanzverlusten erprobt. Bei der Beurteilung angefärbter oraler Plaque mithilfe des O'Leary Plaque Control Record (PCR) zeigten sich höhere Werte bei der Bewertung der digitalen 3D-Scans (IOS: TRIOS 3, 3Shape) als bei der direkten visuellen Bewertung, wobei eine signifikante Differenz in der lingualen Unterkieferfront festgestellt wurde (Doi et al., 2021). Jedoch berichtet die Studie, dass die digitalen 3D-Scans eine Visualisierung der intraoralen Situation und dadurch die Patientenkommunikation und Mundhygieneinstruktionen insbesondere in schwer zugänglichen Bereichen (z. B. distale und linguale Bereiche) erleichtern können (Doi et al., 2021).

In weiteren Studien zur Erfassung von Zahnhartsubstanzdefekten wurde die Anwendbarkeit und Reliabilität von IOS (TRIOS 3 und TRIOS Pod, 3Shape) mit softwarebasierter Analyse

der digitalen 3D-Scans (Überlagerungstechnik) gezeigt (Michou et al., 2020b; Travassos Da Rosa Moreira Bastos et al., 2021). In vitro wurde ein signifikanter Zahnhartsubstanzverlust (0,08 mm) nach drei Stunden erosiv-abrasiver Einwirkung von der Software detektiert, wobei eine starke Korrelation mit der Einwirkzeit der verwendeten Säure ( $r_s = 0,971$ ) vorlag (Michou et al., 2020b). Demnach ist mit dem IOS-System (TRIOS 3, 3Shape) bereits eine Detektion initialer Substanzverluste möglich (Michou et al., 2020b). In vivo zeigte sich zudem eine gute Intrarater-Reliabilität ( $\kappa = 0,641 - 0,684$ ) sowie eine moderate Interrater-Reliabilität ( $\kappa = 0,595$ ) eines IOS-Systems (TRIOS Pod, 3Shape) bei der Erfassung von Zahnhartsubstanzverlusten (Travassos Da Rosa Moreira Bastos et al., 2021). In der klinischen Untersuchung (visuell:  $\kappa = 0,746$ ) sowie bei der Beurteilung von intraoralen Fotos ( $\kappa = 0,791$ ) zeigte sich dagegen eine gute Interrater-Reliabilität, wobei zwischen diesen kein signifikanter Unterschied festgestellt wurde. Demnach kann der Einsatz eines IOS-Systems in vivo eine objektive und reliable Methode zur Erfassung von Zahnhartsubstanzverlusten darstellen (Travassos Da Rosa Moreira Bastos et al., 2021).

Im Rahmen eines telemedizinischen Ansatzes befasste sich eine klinische Studie von Steinmeier et al. (2020) mit dem Einsatz eines IOS (TRIOS<sup>2</sup>, 3Shape) zur dentalen und parodontalen Ferndiagnostik. Als Referenz wurden klinische Untersuchungen verwendet. Hierbei waren die telemedizinischen Befunde genauer bei der Detektion von Restaurationen als bei der Erfassung kavittierter Karies, die dabei eine Falsch-negativ-Rate von 0,21 zeigte. Mithilfe nachträglich zur Verfügung gestellter Röntgenaufnahmen konnten alle Restaurationen korrekt detektiert werden, wohingegen bei den kavitierten Kariesläsionen keine Verbesserung durch die Röntgenbilder erreicht und zudem eine Erhöhung der Falsch-positiv-Rate (von 0,03 auf 0,23) beobachtet wurde. Die telemedizinischen Befunde zur Beurteilung insuffizienter Restaurationen waren bei Füllungen in 63 % sowie bei Kronen in 65 % der Fälle korrekt, wobei zusätzliche Röntgenaufnahmen nur eine Verbesserung bei insuffizienten Kronen (78 % korrekt) ermöglichten. Bei den weiteren im Rahmen der Studie erfassten klinischen Indizes (Gingivarezessionen, Furkationsbeteiligungen, Erosionen, nicht erosiver Zahnhartsubstanzverlust, Verfärbungen und nicht kariöse Zahnhalsdefekte) variierte die Übereinstimmung von klinischen und telemedizinischen Befunden zwischen 78 und 95 %. Die Anwesenheit von Plaque und Zahnstein wurde in den telemedizinischen Befunden sowohl über- als auch unterschätzt. Die Ergebnisse zu Gingivitis

---

<sup>2</sup> Genaues Ausführungsmodell in der Studie nicht angegeben.

(Sensitivität = 0,61; Spezifität = 0,39) und Parodontitis (Sensitivität = 0,67; Spezifität = 0,33) wurden durch zusätzliche Röntgenaufnahmen nicht relevant beeinflusst und zeigten eine hohe Falsch-positiv-Rate (Gingivitis: 0,28 und Parodontitis: 0,3). In der Studie wurde nur eine moderate bis geringe Übereinstimmung zwischen den klinischen und den telemedizinischen Diagnosen festgestellt. Da sich in den Studienergebnissen eine Sensitivität von 0,88 mit einer hohen Falsch-negativ-Rate zeigte, empfehlen die Autoren keinen Einsatz im Bereich eines Karies-Screenings. Auch die klinische parodontale Sondierung konnte durch den IOS nicht kompensiert werden, sodass ein telemedizinischer Einsatz des IOS von den Autoren nur für ein zeiteffizientes Screening zur Triage der Patienten und nicht für den Ersatz klinischer Untersuchungen empfohlen wird (Steinmeier et al., 2020).

In einer Studie von Daly et al. (2021) wurde zudem der telemedizinische Einsatz eines IOS (TRIOS 3, 3Shape) zur Diagnostik von gingivalen Entzündungszuständen untersucht. Dazu wurden anhand intraoraler 3D-Scans visuelle Befunde mithilfe des Modified Gingival Index (MGI) anhand einer 5-Punkte-Skala (0 = keine Gingivitis bis 4 = schwerwiegende Gingivitis) in der Ober- und Unterkieferfront erwachsener Patienten erhoben sowie eine binäre Bewertung zu Farbe (pink/rot) und Oberflächentextur (gestipelt/geschwollen) von zwei ausgewählten bukkalen Gingivabereichen vorgenommen. Im Vergleich zur klinisch visuellen Untersuchung zeigte sich in den telemedizinischen Befunden eine signifikante Tendenz zur Überschätzung des Schweregrads gingivaler Entzündungszustände ( $p = 0.027$ ), wobei die Abweichungen maximal einen Punkt auf der MGI-Skala umfassten. Zwischen den beiden telemedizinischen Untersuchern wurden keine klinisch relevanten Abweichungen in den individuellen MGI-Scores festgestellt. Die telemedizinischen Bewertungen zu Farbe und Oberflächentextur zeigten zudem eine sehr hohe Übereinstimmung zur klinischen Referenz ( $U / mn_{[\text{Examiner 1}]} = 0,992$ ;  $U / mn_{[\text{Examiner 2}]} = 0,984$ ). Aufgrund der hohen Übereinstimmung bei den binären Bewertungen hoben Daly et al. (2021) hervor, dass digitale intraorale 3D-Scans eine präzise Abbildung der Gingiva zur Beurteilung gingivaler Entzündungszustände ermöglichen. Da die MGI-Befunde beider telemedizinischer Untersucher vergleichbar waren und gegenüber den klinischen Befunden maximal um einen Punkt auf der MGI-Skala variierten, wurden die beobachteten Abweichungen von den Autoren vorrangig auf die Subjektivität visueller Befunde zurückgeführt und der telemedizinische Einsatz eines IOS für die gingivale Diagnostik befürwortet (Daly et al., 2021).

### **3 Fragestellung**

Nach aktuellen Studien ist in Seniorenpflegezentren (SPZ) derzeit von einer Versorgungslücke auszugehen, da eine zahnmedizinische Betreuung häufig erst bei bestehender Schmerzsymptomatik erfolgt. Um den Zugang zu einer regelmäßigen, zahnmedizinischen Versorgung sicherzustellen, wäre auf Grundlage der vorliegenden Literatur eine telemedizinische Ferndiagnostik denkbar. Geschulte Fachkräfte könnten dazu mithilfe eines IOS die intraorale Situation der pflegebedürftigen Senioren im SPZ erfassen und die erhobenen digitalen 3D-Scans an externe Zahnärzte übermitteln, welche eine telemedizinische Befunderhebung zur Abklärung eines zahnmedizinischen Versorgungsbedarfs durchführen. Aktuell sind hierzu keine Studien mit pflegebedürftigen Senioren bekannt und daher keine Daten verfügbar, inwiefern intraorale 3D-Scans als alleinige Grundlage zur telemedizinischen Erhebung dentaler Befunde bei pflegebedürftigen Senioren geeignet sind. Im Rahmen dieser Proof-of-Concept-Studie soll daher die telemedizinische Anwendung eines IOS zur dentalen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren evaluiert werden.

Dabei soll als zentrale Fragestellung geklärt werden:

Ist bei pflegebedürftigen Senioren eine telemedizinische Befunderhebung mithilfe digitaler intraoraler 3D-Scans vergleichbar zur klinischen, visuell-taktilen Befunderhebung hinsichtlich der Erfassung dentaler Befunde?

Dazu wird folgende Arbeitshypothese formuliert:

Telemedizinische Befunderhebungen mithilfe digitaler intraoraler 3D-Scans eignen sich bei pflegebedürftigen Senioren zur Erfassung der gleichen dentalen Befunde wie eine klinisch, visuell-taktile Befunderhebung.

## **4 Material und Methodik**

### **4.1 Studiendesign**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die klinische Anwendbarkeit eines IOS zur telemedizinischen Befunderhebung bei älteren pflegebedürftigen Senioren in einer Proof-of-Concept-Studie erprobt. Die Studie ist Bestandteil eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes (TAILOHR: Tailoring, evaluating and implementing an intervention for improving oral health of elderly residents of long-term care facilities, Förderkennzeichen: 01GY1802). Die Durchführung der Studie wurde durch die Ethikkommission der Charité positiv evaluiert (Ethikvotum Nr. EA4/113/19, vom 24.07.2019).

Als klinischer Untersucher (Uklin) erhob die Promovierende Maike Riegel (MR) klinische Befunde mithilfe visuell-taktiler Untersuchung und erstellte anschließend mithilfe eines IOS (TRIOS 4, 3Shape, Kopenhagen, Dänemark) digitale intraorale 3D-Scans für eine spätere telemedizinische Befunderhebung. Die telemedizinischen Untersucher Dr. Basel Kharbot (BK) und PD Dr. Gerd Göstemeyer (GG) hatten zum Zeitpunkt der Befunderhebung eine Berufserfahrung von etwa 4 (BK, USc1) und 18 Jahren (GG, USc2). MR erhob 10 Monate nach den klinischen Untersuchungen ebenfalls telemedizinische Befunde (USc3) und befand sich während der klinischen sowie telemedizinischen Untersuchungen im klinischen Studienabschnitt. Die Codierung der verschiedenen Untersucher ist nachfolgend mit zugehörigen Initialen zur Übersicht dargestellt (Abb. 4).

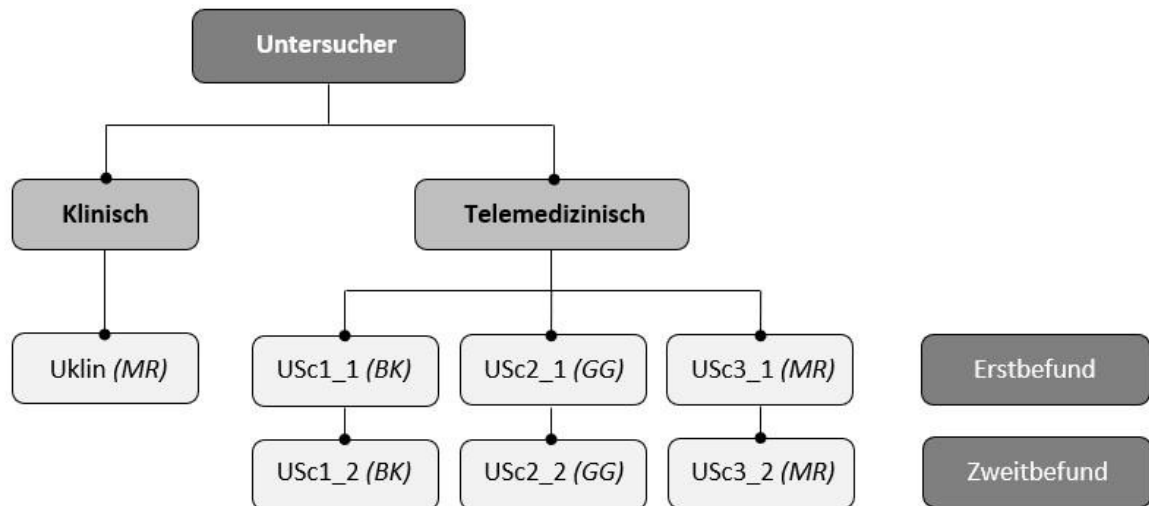


Abb. 4: Übersicht zur Codierung der klinischen und telemedizinischen Untersucher. Die beiden Untersucher Dr. Basel Kharbot (BK) und PD Dr. Gerd Göstemeyer (GG) erhoben anhand intraoraler 3D-Scans telemedizinische Befunde (USc1\_1 und USc2\_1). Mit einem Abstand von 10 Monaten wurde von Maike Riegel (MR) als ehemals klinischer Untersucher (Uklin) ebenfalls eine telemedizinische Befunderhebung (USc3\_1) durchgeführt. Nach einem Mindestabstand von 3 Wochen wurde ein telemedizinischer Zweitbefund von allen drei telemedizinischen Untersuchern bei zehn exemplarischen Patienten erhoben (USc1\_2, USc2\_2 und USc3\_2).

Durch einen Vergleich der Übereinstimmung zwischen den klinischen (Uklin) und den jeweiligen telemedizinischen Befunden (USc1\_1, USc2\_1 und USc3\_1) wurde die diagnostische Genauigkeit für jeden telemedizinischen Untersucher einzeln ermittelt. Zudem wurde die Interrater-Reliabilität durch Vergleiche der Übereinstimmung zwischen den telemedizinischen Befunden der unterschiedlichen Untersucher (USc1\_1 vs. USc2\_1, USc2\_1 vs. USc3\_1 und USc1\_1 vs. USc3\_1) erhoben. Mithilfe von Vergleichen der Übereinstimmung zwischen den beiden telemedizinischen Befunden (Erstbefund und Zweitbefund) zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (USc1\_1 vs. USc1\_2, USc2\_1 vs. USc2\_2 und USc3\_1 vs. USc3\_2) wurde die Intrarater-Reliabilität für jeden telemedizinischen Untersucher ermittelt.

## 4.2 Patienten

Als Patienten wurden ältere, pflegebedürftige Senioren ausgewählt, die Bewohner von vier verschiedenen Seniorenpflegezentren (SPZ) im Landkreis Havelland (Brandenburg) waren. Das Mindestalter betrug 65 Jahre. Alle an der Studie teilnehmenden Senioren wurden zuvor



bereits für eine vorangegangene Studie des TAILOHR-Projekts untersucht. Für die Teilnahme an der vorliegenden Studie musste bei den Senioren mindestens noch ein eigener Zahn in der Mundhöhle vorhanden sein. Die Patienten und deren betreuende Angehörige wurden vor den Untersuchungen über die Studieninhalte und -ziele aufgeklärt (Anhang, Kapitel 9.1, S. 81 ff.) und das Einverständnis zur Studienteilnahme schriftlich dokumentiert (Anhang, Kapitel 9.2, S. 88 f. und 9.3, S. 90 f.). Es erfolgte eine Pseudonymisierung der personenbezogenen Daten sowie eine vorherige Aufklärung hierzu gemäß der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO Art. 15–18 und 21) mit Ankündigung einer späteren Anonymisierung.

### **4.3 Kriterien der Befunderhebung**

Im Rahmen der klinischen und telemedizinischen Befunderhebung wurden kavitierte Kariesläsionen, fehlende Zähne und vorhandene Restaurationen detektiert sowie zusätzlich das Ausmaß dentaler Plaque beurteilt. Die vorliegende Studie wurde innerhalb des TAILOHR-Projekts durchgeführt, weshalb die Befunde in einem einheitlichen Befundbogen (Anhang, Kapitel 9.4, S. 92) erfasst wurden. Dabei wurden nicht alle erhobenen Befunde, sondern nur die gemäß der vorliegenden Studienzielsetzung benötigten ausgewertet. So wurde bei den klinischen Untersuchungen zusätzlich der Parodontale Screening Index (PSI) mithilfe einer WHO-Sonde erhoben und die Patienten hinsichtlich pathologischer Schleimhautveränderungen untersucht. Diese Parameter wurden jedoch nicht auf den 3D-Scans erfasst und daher im Rahmen dieser Studie nicht weiter berücksichtigt. Bei kariösen Läsionen wurde klinisch und telemedizinisch auf dem Befundbogen zwischen koronaler Karies und Wurzelkaries unterschieden, wobei die Wurzelkaries von W0 bis W2 gemäß ICDAS-II-Kriterien (Dikmen, 2015) bewertet wurde (Tab. 2).

Tab. 2: Einteilung der Bewertung von Wurzelkariesläsionen (nach Dikmen, 2015). Gemäß den ICDAS-II-Kriterien erfolgte in den klinischen und telemedizinischen Befunderhebungen eine Unterscheidung der Wurzelkariesläsionen in W0 – W2. Bei W0 lagen keine Hinweise auf eine Kavitation oder kariöse Veränderung der Wurzeloberfläche vor. War eine Kavitation vorhanden, wurde zwischen einem Ausmaß von kleiner 0,5 mm (W1) sowie größer 0,5 mm (W2) unterschieden.

<b>Einteilung der Wurzelkaries</b>	<b>Befundkriterien</b>
W0	Keine Kavitation
W1	Kavitation < 0,5 mm
W2	Kavitation > 0,5 mm

Koronale Kariesläsionen wurden als vorhanden (ICDAS Code 3 – 6) oder nicht vorhanden (ICDAS Code 0 – 2) gewertet. In dieser Proof-of-Concept-Studie wurden (im Sinne eines zahnärztlichen Screenings) lediglich kavitierte Läsionen (W1/W2 und ICDAS Code 3 – 6) bei der späteren Auswertung berücksichtigt, wobei das Ausmaß der Kavitation und die Lokalisation (koronale Karies/Wurzelkaries) nicht mehr unterteilt wurden. Fehlende Zähne und ersetzte Zähne wurden vermerkt, wobei auf dem Befundbogen zwischen Brückengliedern, herausnehmbar ersetzten Zähnen und Implantaten differenziert wurde. Bei Restaurationen wurde dort zudem zwischen Füllungen und Kronen unterschieden und dabei lediglich das Vorliegen je Zahn ohne Vermerk zu Material oder Zustand dokumentiert. Die Auswertung erfolgte später zu fehlenden Zähnen und Restaurationen im Allgemeinen. Die Mundhygiene wurde mithilfe des Geriatric Simplified Debris Index (GDI-S) nach MacEntee et al. (2007) erfasst. Der GDI-S wurde an allen Zähnen bukkal erhoben und folgte der Einteilung innerhalb einer 4-Punkte-Skala von 0 bis 3 (Abb. 5).



Abb. 5: Befundkriterien des Geriatric Simplified Debris Index (GDI-S nach MacEntee et al., 2007). Der Punktwert 0 entsprach völliger Freiheit von Belägen bzw. dentaler Plaque. Bei Punktwert 1 waren weiche Beläge, die bis zu 1/3 der bukkalen Fläche einnahmen oder intrinsische Verfärbungen (unabhängig von der Flächengröße) vorhanden. Für Punktwert 2 mussten über 1/3 und bis zu 2/3 der bukkalen Fläche von Belägen betroffen sein. Der Punktwert 3 entsprach Belägen, die über 2/3 der bukkalen Fläche bedeckten (MacEntee et al., 2007).

Um die Mundhygiene der Patienten zu bewerten, wurde der Mittelwert des GDI-S-Wertes aller vorhandenen Zähne errechnet. Dabei wurde hierbei ein Mittelwert von  $< 1,9$  als suffiziente Mundhygiene und einer  $\geq 1,9$  als insuffiziente Mundhygiene gewertet. Wurzelreste wurden einheitlich als (kavitierte) Karies mit einem GDI-S-Punkt von 3 vermerkt (MacEntee et al., 2007).

#### 4.4 Durchführung der klinischen Untersuchung und intraoralen 3D-Scans

Die klinischen Befunde und intraoralen 3D-Scans von Uclin wurden im Zeitraum vom 02.11.2019 bis 12.02.2020 vor Ort in den SPZ erhoben. Uclin wurde vor dem Einsatz an den Studienteilnehmern im Umgang mit dem TRIOS 4 instruiert und erprobte die Anwendung an sieben freiwilligen Testpersonen. Die Erhebung der klinischen Befunde sowie der intraoralen 3D-Scans erfolgte im Zimmer des jeweiligen Patienten in den Räumlichkeiten der SPZ. Die Untersuchung wurde zumeist im Sitzen oder bei bettlägerigen Patienten im Liegen durchgeführt. Die klinischen Untersuchungen wurden unter Nutzung einer Lupenbrille mit integriertem Licht (EyeMag Smart 2,5-fache Vergrößerung, Zeiss, Jena, Deutschland) und zahnärztlichem Grundbesteck aus zwei Spiegeln (TOPvision Gr. 5,

Hahnenkratt, Königsbach-Stein, Deutschland), einer Sonde (Aesculap DA410R, B. Braun SE, Melsungen, Deutschland) und einer Pinzette (Aesculap DA225R, B. Braun SE, Melsungen, Deutschland) durchgeführt. In einem einheitlichen Vorgehen wurden zuerst die klinischen Befunde mithilfe visuell-taktiler Diagnostik erhoben, dokumentiert und im Anschluss die intraoralen 3D-Scans angefertigt.

Zur Erhebung der intraoralen 3D-Scans wurde der IOS TRIOS 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) verwendet. Der TRIOS 4 wurde im März 2019 als neuer IOS, erstmalig mit integrierter fluoreszenzbasierter Kariesdiagnostikhilfe sowie erweiterten Softwareangeboten, von 3Shape auf den Markt gebracht (Mendel & 3Shape Communications, 2019). Im Rahmen dieser Studie wurde die Scanner-Einheit MOVE+ mit Kabelverbindung verwendet. Nachfolgend ist das verwendete Modell des Scanners abgebildet (Abb. 6).



Abb. 6: Verwendeter Intraoralscanner (IOS) Modell TRIOS 4 (3Shape). Die verwendete Ausführung MOVE+ umfasste das rollbare Cart-Gerät für die klinische Praxis, welches aus dem Computer, einem höhenjustierbaren Monitor und der Scanner-Einheit bestand (3Shape A/S, 2022).

Die intraoralen Aufsätze der Scanner-Einheit waren wechselbar. Durch eine mitgelieferte Kalibrierungshilfe mit Referenzfarben war die farbliche Erfassung der Scanner-Einheit kalibrierbar. Sobald das IOS-System auf dem Bildschirm zu einer erneuten Farbkalibrierung aufforderte, wurde der Scanner-Aufsatz abgenommen, die Kalibrierungshilfe aufgesetzt und der Kalibrierungsprozess über das Programm gestartet. Die intraoralen 3D-Scans wurden nach den Herstellerempfehlungen mit reduziertem Umgebungslicht nach entsprechendem Scanpfad (Abb. 7) erhoben.

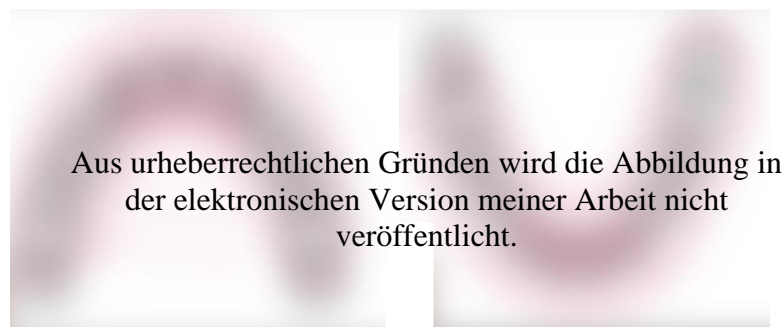


Abb. 7: Scanpfade für Ober- (links) und Unterkiefer (rechts) gemäß Herstellerempfehlung (3Shape [3Shape Training Videos], 2020). Zunächst wurden die okklusalen Flächen gescannt, wobei jeweils der gesamte Zahnbogen beginnend von links (Patientensicht) erfasst wurde. Im Frontzahnbereich wurden zusätzlich schwenkende Bewegungen nach vestibulär und oral durchgeführt, da die Inzisalflächen wenig Oberflächeninformationen enthalten. Anschließend wurden im Oberkiefer die vestibulären Flächen und zuletzt die palatinalen Flächen und der Gaumen erfasst. Im Unterkiefer wurde zuerst lingual und anschließend vestibulär gescannt.

Begonnen wurde mit einem intraoralen Scan von Ober- und Unterkiefer unter weißem Licht zur Erstellung des digitalen 3D-Modells. Anschließend wurde über den Scanner-Monitor die Kariesdiagnostikhilfe aktiviert und mit demselben Aufsatz ein erneuter Scan beider Kiefer unter blau-violetttem Licht (415 nm Wellenlänge) angefertigt. Nach Erhebung der Scans führte das IOS-System abschließend eine Nachbearbeitung der erhobenen Informationen durch, wobei aus den Scan-Daten ein digitales 3D-Modell generiert wurde und die fluoreszenzbasierte Kariesdiagnostikhilfe für die telemedizinische Befunderhebung zur Verfügung stand (Michou et al., 2021). Für die telemedizinische Befunderhebung wurden die 3D-Scans auf dem Monitor des TRIOS 4 betrachtet.

#### **4.5 Telemedizinische Befunderhebung**

Die telemedizinische Befunderhebung erfolgte auf Basis der digitalen intraoralen 3D-Scans durch zwei unabhängige Untersucher (USc1 und USc2) in zeitlicher und räumlicher Trennung von der klinischen Befunderhebung. Vor Beginn der telemedizinischen Befunderhebung wurden beide Untersucher im Umgang mit der Scanner-Software und den verfügbaren Einstellungen auf dem Monitor instruiert. Alle 3D-Scans wurden durch die beiden Untersucher (USc1\_1 und USc2\_1) evaluiert. In einem zeitlichen Abstand von 10 Monaten zu den klinischen Befunden erfolgte zudem eine telemedizinische Auswertung aller 3D-Scans durch dieselbe Person, die zuvor die Patienten klinisch untersucht hatte (USc3\_1). Mit einem zeitlichen Mindestabstand von 3 Wochen zur ersten telemedizinischen Evaluation der Scans erfolgte eine erneute Evaluation von zehn zufällig ausgewählten Scans durch alle drei telemedizinischen Untersucher (USc1\_2, USc2\_2 und USc3\_2).

Bei der Befunderhebung wurden die 3D-Scans auf dem Monitor des Scanners dargestellt und die Befunde auf dem einheitlichen Befundbogen (Anhang, Kapitel 9.4, S. 92) protokolliert. Die 3D-Scans konnten während der Befunderhebung beliebig gedreht, vergrößert und mit realitätsnahen Farben oder in monochromer Darstellung (beiges Farbspektrum) sowie unter Darstellung der Kariesdiagnostikhilfe von dem jeweiligen Untersucher betrachtet werden (Beispiele intraoraler 3D-Scans, Kapitel 5.1, S. 36 ff.). Für die telemedizinischen Befunde wurden dieselben Kriterien der Befunderhebung wie bei den klinischen Untersuchungen herangezogen.

Im Lücken- oder Restzahngebiss mit erschwelter Identifikationsmöglichkeit der Zahnposition aufgrund von möglichen Zahnwanderungen erfolgte ein Abgleich der Zahnposition mit dem klinischen Befund, sodass die dentalen Befunde der verschiedenen Untersucher denselben Zahnpositionen zugeordnet werden konnten. Der Abgleich wurde im Sinne der zentralen Fragestellung dieser Studie vorgenommen, welche vor allem die Übereinstimmung der dentalen Befunde und nicht die Identifikationsgenauigkeit von Zahnpositionen auf Basis von intraoralen 3D-Scans adressiert. Die telemedizinische Befunderhebung erfolgte in den Räumlichkeiten der Zahnklinik der Charité Berlin.

#### **4.6 Statistische Auswertung**

Die Ergebnisse wurden in Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) tabellarisch erfasst und die statistische Auswertung mit der Software IBM SPSS Statistics 27

(Statistical Package for the Social Sciences, International Business Machines Corporation - IBM, Armonk, USA) durchgeführt. Anhand von Kreuztabellen wurden Sensitivität, Spezifität und der positive bzw. negative Vorhersagewert der telemedizinischen Befunde gegenüber den klinischen Befunden als Referenz berechnet. Die Sensitivität und Spezifität wurde in Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) visualisiert und die Fläche unter den ROC-Kurven, die sogenannte Area Under the Curve (AUC), zur quantitativen Erfassung der Genauigkeit der telemedizinischen Befunde berechnet. Die Beurteilung der AUC-Werte erfolgte nach Janssen und Laatz (2017, S. 751) in akzeptabel (0,70 – 0,80), gut (0,81 – 0,90) und sehr gut ( $> 0,90$ ) (Tab. 3).

Als Maße der Zuverlässigkeit wurden mit einer Kappa-Statistik die Interrater-Reliabilität zwischen den Untersuchern sowie die Intrarater-Reliabilität der einzelnen Untersucher erfasst. Die Beurteilung der Kappa-Werte ( $\kappa$ -Werte) erfolgte gemäß der Einteilung nach Landis und Koch (1977) in mangelhaft ( $< 0,00$ ) bis sehr gut ( $\geq 0,81$ ) (Tab. 3).

Tab. 3: Beurteilung der Area Under the Curve (AUC nach Janssen & Laatz, 2017, S. 751) und der  $\kappa$ -Werte (nach Landis & Koch, 1977). Im Rahmen der statistischen Auswertung wurden die Ergebnisse zur AUC sowie der  $\kappa$ -Werte gemäß der aufgeführten Einteilung bewertet.

<b>AUC</b>	<b>Testgenauigkeit</b>
0,70 – 0,80	Akzeptabel
0,81 – 0,90	Gut
$> 0,90$	Sehr gut
<b><math>\kappa</math>-Werte</b>	<b>Grad der Übereinstimmung</b>
$< 0,00$	Mangelhaft
0,00 – 0,20	Gering
0,21 – 0,40	Mäßig
0,41 – 0,60	Moderat
0,61 – 0,80	Gut
0,81 – 1,00	Sehr gut

## 5 Ergebnisse

Insgesamt wurden 45 pflegebedürftige Senioren untersucht, von denen 43 Patienten (30 weiblich, 13 männlich) mit insgesamt 486 Zähnen (Mittelwert [SD]: 11 [9] Zähne je Patient) ausgewertet wurden. Ein Patient hat seine Einverständniserklärung nachträglich zurückgezogen. Bei einem weiteren Patienten musste die Untersuchung vor der Erfassung auswertbarer Daten abgebrochen werden, da eine ausreichende Mitwirkung an der Untersuchung psychisch und physisch nicht möglich war. Das Alter der 43 Patienten lag zwischen 65 und 95 Jahren (Mittelwert [SD]: 81 [8] Jahre).

### 5.1 Beispiele intraoraler 3D-Scans

Die erhobenen digitalen 3D-Scans konnten von den telemedizinischen Untersuchern bei der Befunderhebung in verschiedenen Ansichten betrachtet werden, die individuell verändert werden konnten. Über den Touchscreen-Monitor des Scanners konnten die digitalen 3D-Scans um 360 ° beliebig gedreht und aus allen Perspektiven betrachtet werden (Abb. 8 – 9).



Abb. 8: Frontalansicht eines Unterkiefers mit Darstellung der vestibulären Flächen der Restbezaehlung Regio 34, 33 und 43.



Abb. 9: Linguale Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 8. Das digitale 3D-Modell wurde über den Touchscreen-Monitor gedreht.

Zudem konnten die digitalen 3D-Scans von den telemedizinischen Untersuchern sowohl in realitätsnaher Farbdarstellung als auch in monochromer Darstellung (beiges Farbspektrum) betrachtet werden. Unter der realitätsnahen Farbdarstellung konnten Hinweise auf Kariesläsionen oder Restorationen durch farbliche Abweichungen evaluiert werden und unter monochromer Darstellung war die Oberflächenstruktur deutlicher zu erkennen (Abb. 10 – 13).





Abb. 10: Okklusal-palatinaler Ansicht eines Oberkiefers mit Teleskoprestorationen Regio 14, 13 und 23. Die Teleskoprestorationen sind in der realitätsnahen Farbdarstellung deutlich zu identifizieren, jedoch wirkt die Metalloberfläche durch Reflexionen beim Scanvorgang farblich inhomogen.

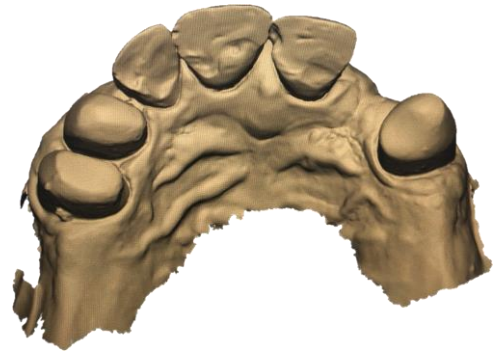


Abb. 11: Okklusal-palatinaler Ansicht desselben Oberkiefers wie Abb. 10 in monochromer Darstellung. Durch das beige Farbspektrum ist die glatte Oberflächenstruktur der Teleskoprestorationen deutlicher erkennbar.



Abb. 12: Distale Ansicht eines Oberkiefers mit kariöser Restbeziehung. An den endständigen Molaren 17 und 27 ist jeweils distal eine fortgeschrittene Wurzelkaries (W2) erkennbar, die von Plaque bedeckt ist (Pfeile).



Abb. 13: Distale Ansicht desselben Oberkiefers wie Abb. 12 in monochromer Darstellung. Die Tiefe der Wurzelkaries (W2) distal an 17 und 27 wird durch die monochrome Darstellung hervorgehoben (Pfeile).

Die verfügbare Kariesdiagnostikhilfe stellte Kariesläsionen in einer farblichen Codierung dar, wobei initiale Kariesläsionen in Gelb und moderate bis umfangreiche Läsionen in Rot abgebildet wurden. Weiße Stellen kennzeichneten Bereiche mit unzureichenden Scan-Daten. Bereiche ohne Hinweis auf Karies waren bei der Kariesdiagnostikhilfe zahnfarben dargestellt. Aufgrund abweichender Dichteigenschaften wurden von Plaque oder Zahnstein bedeckte Bereiche gelblich sowie Restaurationen und gingivale Anteile rötlich abgebildet

(Abb. 14 – 19). Bei ausgeprägter Plaque war die Beurteilung von darunterliegenden Kariesläsionen mit der Kariesdiagnostikhilfe zum Teil erschwert (Abb. 15 und 17).



Abb. 14: Mesial-exzentrische Ansicht eines Oberkiefers von vestibulär. An den mesialen Flächen der Zähne 13 und 12 ist vorhandene Plaque erkennbar und es besteht der Verdacht einer ausgeprägten Kariesläsion mit Kavitation an 12. Die Kariesläsion ist fast vollständig von Plaque bedeckt.



Abb. 15: Mesial-exzentrische Ansicht desselben Oberkiefers von vestibulär wie Abb. 14 mit Kariesdiagnostikhilfe. An den zahnfarbenen Flächen besteht kein Verdacht auf Karies. Die Plaque an den mesialen Flächen und die Karies an 12 werden gelblich dargestellt. Nur in den Kariesbereichen mit weniger Plaque wird die Kariesläsion rötlich dargestellt.

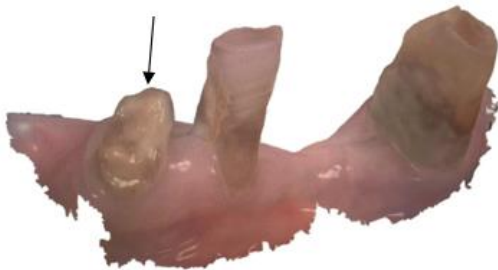


Abb. 16: Ansicht eines Unterkiefers von vestibulär mit kariöser Restbeziehung Regio 33, 42 und 43. Infolge parodontaler Zerstörung liegen die von Plaque bedeckten Wurzeloberflächen der Zähne 33 und 42 frei. Durch kariöse Zerstörung ist Regio 43 nur noch ein Wurzelrest vorhanden (Pfeil).

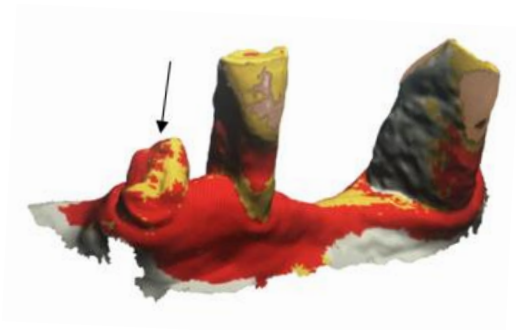


Abb. 17: Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 16 mit Kariesdiagnostikhilfe. Regio 43 ist die kariöse Zahnhartsubstanz in gelb-rot deutlich erkennbar (Pfeil). Aufgrund vorhandener Plaque sind kariöse Bereiche auf den Wurzeloberflächen der Zähne 33 und 42 nur schwer abzugrenzen. Regio 33 sind mesial weiße Bereiche mit unzureichenden Scan-Daten erkennbar. Die angrenzende Gingiva ist vorwiegend rot dargestellt.



Abb. 18: Okklusale Ansicht eines Unterkiefers mit Restaurationen Regio 37, 36, 46 und 47. Im Frontzahnbereich Regio 33 – 43 ist lingual Zahnstein erkennbar.



Abb. 19: Okklusale Ansicht desselben Unterkiefers wie Abb. 18 mit Kariesdiagnostikhilfe. Die Restaurationen Regio 37, 36, 46 und 47 sind aufgrund der Materialeigenschaften rot dargestellt. Der Zahnstein lingual in der Front ist gelb dargestellt. Die distalen Bereiche Regio 37 und 47 sind aufgrund unzureichender Scan-Daten weiß.

Die optische Erfassung mit dem Scanner wurde im Bereich von Metallrestorationen oder anatomisch schwer zugänglichen Bereichen teilweise erschwert. An speichelbedeckten Metallrestorationen haben Reflexionen gelegentlich den Scan beeinträchtigt. Unterschnitte oder distale Bereiche waren durch die Größe des Scanaufsatzes nicht immer für vollständige Scan-Daten erreichbar (Abb. 20 – 21).

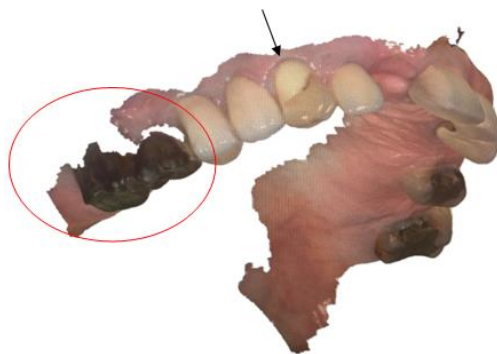


Abb. 20: Oberkiefer mit beeinträchtigter optischer Erfassung beim Scanvorgang. Die Restaurationen Regio 16 – 17 konnten vestibulär durch Reflexionen der Metalloberfläche und die beengten anatomischen Gegebenheiten nicht vollständig gescannt werden (rot umkreist). Regio 13 ist vestibulär zahnfarbenes Füllungsmaterial erkennbar (Pfeil).



Abb. 21: Unterkiefer mit beeinträchtigter optischer Erfassung beim Scanvorgang. Durch Unterschnitte und Reflexionen der Metallrestauration Regio 37 konnte die mesiale Fläche nicht vollständig gescannt werden (Pfeil).

Die Kalibrierung wurde gemäß den Systemaufforderungen regelmäßig durchgeführt. Dennoch wurden bei einzelnen Scans farbliche Abweichungen und Ungenauigkeiten durch weißliche oder verschwommene Farbgebung festgestellt (Abb. 22 – 23). Nach einer erneuten Kalibrierung des Scanners wurden bei darauffolgenden Scans keine erneuten Ungenauigkeiten beobachtet.



Abb. 22: Unterkiefer mit farblichen Ungenauigkeiten der angrenzenden Gingiva. Die weißliche Färbung der gingivalen Bereiche im 4. Quadranten (rot umkreist) war intraoral nicht vorhanden. Insgesamt wirkt der Scan weißlich getrübt.



Abb. 23: Oberkiefer mit farblichen Ungenauigkeiten im Frontzahnbereich. Der Scan wirkt insgesamt gelblich verfärbt. Farbsättigung und Farbkontrast sind geringer. An den vestibulären Flächen Regio 11 – 21 sind zudem farbliche Verzerrungen erkennbar (rot umkreist).

## 5.2 Genauigkeit der telemedizinischen Befunde

### 5.2.1 Karies

Bei der Kariesdetektion zeigten die telemedizinischen gegenüber den klinischen Befunden eine geringere mittlere Sensitivität (0,58) bei einer hohen mittleren Spezifität (0,97). In der nachfolgenden ROC-Kurve sind die Sensitivität und Spezifität für die verschiedenen telemedizinischen Untersucher aufgetragen (Abb. 24).

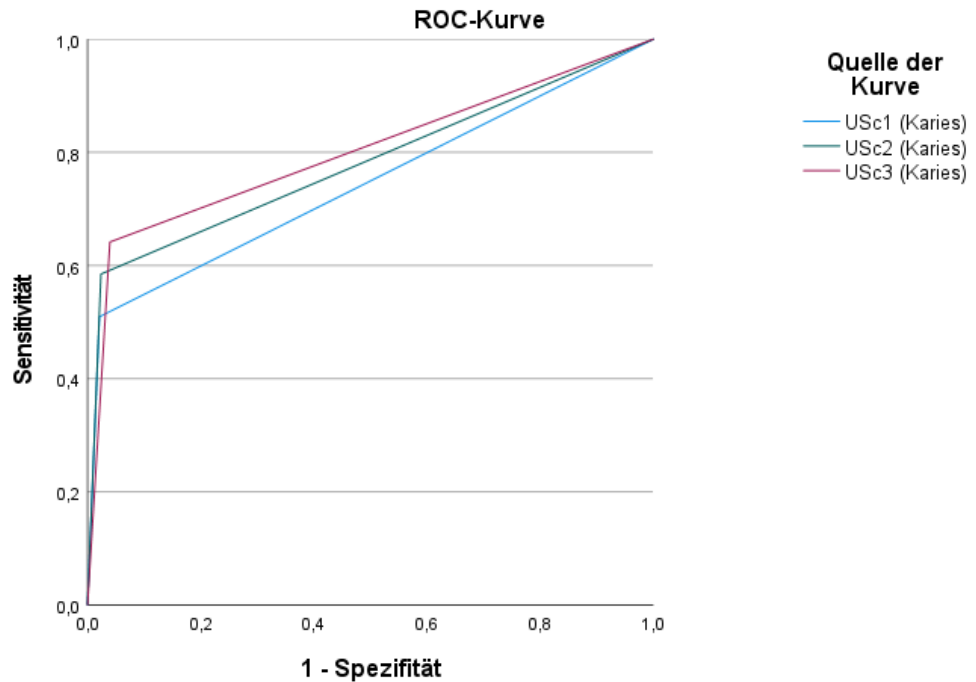


Abb. 24: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den teledizinischen Befunden (Karies). Die Genauigkeit der teledizinischen Kariesdetektion wurde gegenüber den klinischen Befunden (Uklin) ausgewertet. In der ROC-Kurve ist für die verschiedenen Untersucher (USc1 – USc3) die jeweilige Sensitivität (y-Achse) zur Spezifität (genauer: 1- Spezifität; x-Achse) aufgetragen. Der positive Ist-Zustand war „Karies“. Mit steigender Sensitivität verringert sich die Spezifität. Die Area Under the Curve (AUC) entspricht der Fläche unterhalb der Kurve und ist ein Übersichtsmaß zur Genauigkeit (Heinze, 2006).

Gemäß der AUC zur ROC-Kurve wurde bei der Kariesdetektion insgesamt eine akzeptable Genauigkeit (mittlere AUC = 0,77) der teledizinischen Befunde festgestellt. Die individuellen Ergebnisse der verschiedenen Untersucher variierten dabei wenig (Tab. 4).

Tab. 4: Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der teledizinischen Untersucher (Karies). In der Tabelle sind die Sensitivität, Spezifität und AUC für die verschiedenen Untersucher dargestellt. Die Spezifität war bei allen teledizinischen Untersuchern deutlich höher als die Sensitivität. Gemäß der AUC lag bei allen Untersuchern eine akzeptable Genauigkeit vor.

<b>Untersucher</b>	<b>Sensitivität</b>	<b>Spezifität</b>	<b>AUC</b>
USc1	0,51	0,98	0,74
USc2	0,59	0,98	0,78
USc3	0,64	0,96	0,80

Bei allen telemedizinischen Untersuchern wurde ein leicht höherer negativer Vorhersagewert (im Mittel: 0,89) gegenüber dem positiven Vorhersagewert (im Mittel: 0,85) beobachtet (Tab. 5).

Tab. 5: Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (Karies). Für jeden telemedizinischen Untersucher wurden anhand einer Kreuztabelle der positive und negative Vorhersagewert errechnet. Der positive Vorhersagewert beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass eine telemedizinisch erkannte Karies auch klinisch vorlag. Demgegenüber gibt der negative Vorhersagewert die Wahrscheinlichkeit an, dass ein kariesfreier Zahn aus den telemedizinischen Befunden auch klinisch kariesfrei war (Weiß, 2019). Der negative Vorhersagewert war bei allen Untersuchern etwas höher als der positive Vorhersagewert.

Scan	Klinisch	Uklin			Vorhersagewert	
		Karies	Keine Karies	Gesamt	Positiver	Negativer
USc1	Karies	54	8	62	0,87	0,88
	Keine Karies	52	372	424		
USc2	Karies	62	9	71	0,87	0,89
	Keine Karies	44	371	415		
USc3	Karies	68	15	83	0,82	0,91
	Keine Karies	38	365	403		

### 5.2.2 Fehlende Zähne

Bei den Ergebnissen zur Erfassung fehlender Zähne ist zu berücksichtigen, dass im starken Lücken- oder Restzahngebiss mit erschwerter Identifikationsmöglichkeit eine Kalibrierung auf die jeweilige Zahnposition erfolgte. Damit sollte ein Einfluss falscher Zahnzuordnungen auf die Genauigkeit der weiteren dentalen Befunde (Karies, Restauration, GDI-S und Mundhygiene) vermieden werden.

Die telemedizinischen Befunde zeigten bei der Detektion fehlender Zähne eine sehr gute Sensitivität (1,00) und Spezifität (1,00), welche in der nachfolgenden ROC-Kurve für die einzelnen Untersucher aufgetragen sind (Abb. 25).

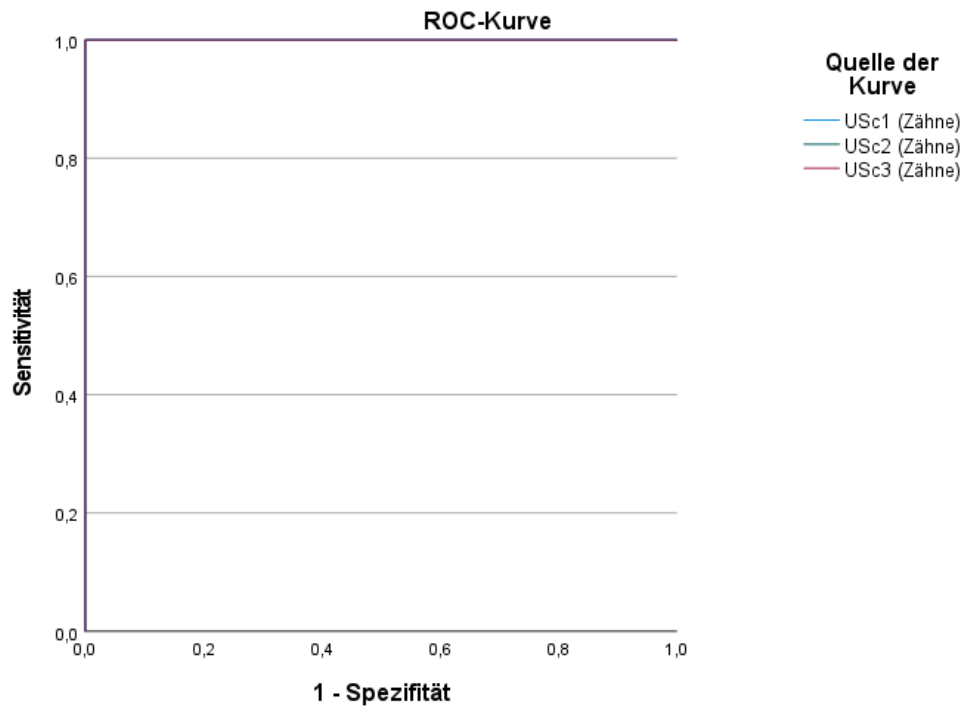


Abb. 25: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (fehlende Zähne). Anhand der klinischen Befunde (Uklin) wurde die Genauigkeit der telemedizinischen Befunde zur Erfassung fehlender Zähne bestimmt. Für die verschiedenen Untersucher (USc1 – USc3) ist die jeweilige Sensitivität (y-Achse) zur Spezifität (genauer: 1-Spezifität; x-Achse) aufgetragen. Der positive Ist-Zustand war „Zahn vorhanden“. Da die Sensitivität und Spezifität bei allen Untersuchern 1,00 entsprachen, verlaufen die Kurven direkt auf der y-Achse sowie parallel zur x-Achse auf Höhe der Sensitivität von 1,00. Bei allen Untersuchern liegt die größtmögliche Area Under the Curve (AUC) vor, welche der Fläche unterhalb der Kurve entspricht.

Die Genauigkeit der telemedizinischen Befunde zur Detektion fehlender Zähne war gemäß der AUC ausgezeichnet (mittlere AUC = 1,00), wobei die verschiedenen Untersucher keine individuellen Abweichungen zeigten (Tab. 6).

Tab. 6: Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (fehlende Zähne). Die Sensitivität, Spezifität und AUC zur Erfassung fehlender Zähne war bei allen Untersuchern sehr gut.

Untersucher	Sensitivität	Spezifität	AUC
USc1	1,00	1,00	1,00
USc2	1,00	1,00	1,00
USc3	1,00	1,00	1,00

Die positiven und negativen Vorhersagewerte zur Erfassung fehlender Zähne waren bei allen telemedizinischen Untersuchern ebenfalls 1,00 (Tab. 7).

Tab. 7: Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (fehlende Zähne). Die positiven und negativen Vorhersagewerte zur Erfassung fehlender Zähne waren bei allen Untersuchern sehr gut.

Scan	Klinisch	Uklin			Vorhersagewert	
		fehlend	vorhanden	Gesamt	Positiver	Negativer
USc1	fehlend	890	0	890	1,00	
	vorhanden	0	486	486		1,00
USc2	fehlend	890	0	890	1,00	
	vorhanden	0	486	486		1,00
USc3	fehlend	890	0	890	1,00	
	vorhanden	0	486	486		1,00

### 5.2.3 Restaurationen

Bei der Detektion von Restaurationen war die mittlere Sensitivität (0,93) etwas niedriger als die mittlere Spezifität (0,98). Die ROC-Kurven der verschiedenen Untersucher sind nachfolgend aufgeführt (Abb. 26).



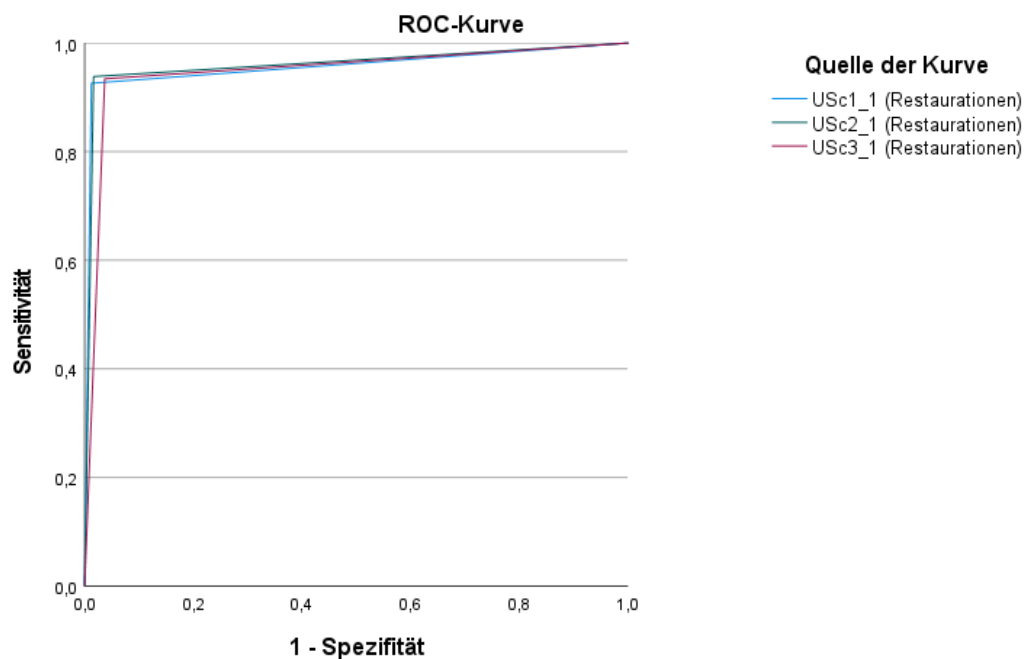


Abb. 26: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (Restaurationen). Mithilfe der klinischen Befunde (Uklin) wurde für jeden telemedizinischen Untersucher die Genauigkeit bei der Detektion von Restaurationen erfasst. In der ROC-Kurve ist für die verschiedenen Untersucher (USc1 – USc3) die jeweilige Sensitivität (y-Achse) zur Spezifität (genauer: 1- Spezifität; x-Achse) aufgetragen. Der positive Ist-Zustand war dabei „Restoration vorhanden“. Die Kurven der verschiedenen Untersucher zeigen nur geringe Abweichungen voneinander. Die zugehörige Fläche unter den einzelnen Kurven entspricht der jeweiligen Area Under the Curve (AUC).

Gemäß den errechneten AUC zeigte sich insgesamt eine sehr hohe Genauigkeit der telemedizinischen Befunde zur Detektion vorhandener Restaurationen (mittlere AUC = 0,96). Die individuellen Ergebnisse der Untersucher zeigten lediglich geringfügige Abweichungen (Tab. 8).

Tab. 8: Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (Restaurationen). Bei allen telemedizinischen Untersuchern wurde eine höhere Spezifität als Sensitivität beobachtet. Gemäß der AUC lag bei allen Untersuchern eine sehr gute Genauigkeit vor.

Untersucher	Sensitivität	Spezifität	AUC
USc1	0,93	0,99	0,96
USc2	0,94	0,98	0,96
USc3	0,93	0,96	0,95

Bei allen telemedizinischen Untersuchern zeigte sich bei der Detektion von Restaurationen ein höherer positiver Vorhersagewert (mittlerer positiver Vorhersagewert = 0,98) gegenüber dem negativen Vorhersagewert (mittlerer negativer Vorhersagewert = 0,94), wobei insgesamt eine hohe prädiktive Genauigkeit vorlag (Tab. 9).

Tab. 9: Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (Restaurationen). Bei allen telemedizinischen Untersuchern zeigte sich eine hohe prädiktive Genauigkeit zur Detektion von Restaurationen. Bei allen Untersuchern wurde ein höherer positiver Vorhersagewert als negativer Vorhersagewert beobachtet.

Scan	Klinisch	Uklin			Vorhersagewert	
		Restauration	Keine Restauration	Gesamt	Positiver	Negativer
USc1	Restauration	225	3	228	0,99	
	Keine Restauration	18	240	258		0,93
USc2	Restauration	228	4	232	0,98	
	Keine Restauration	15	239	254		0,94
USc3	Restauration	227	9	236	0,96	
	Keine Restauration	16	234	250		0,94

#### 5.2.4 Mundhygiene

Die telemedizinische Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene (durchschnittlicher GDI-S  $\geq 1,9$  = insuffizient /  $< 1,9$  suffizient) zeigte bei allen Untersuchern eine sehr hohe Spezifität (mittlere Spezifität = 0,99) bei einer geringen Sensitivität (mittlere Sensitivität = 0,54), was nachfolgend in ROC-Kurven aufgetragen wurde (Abb. 27).

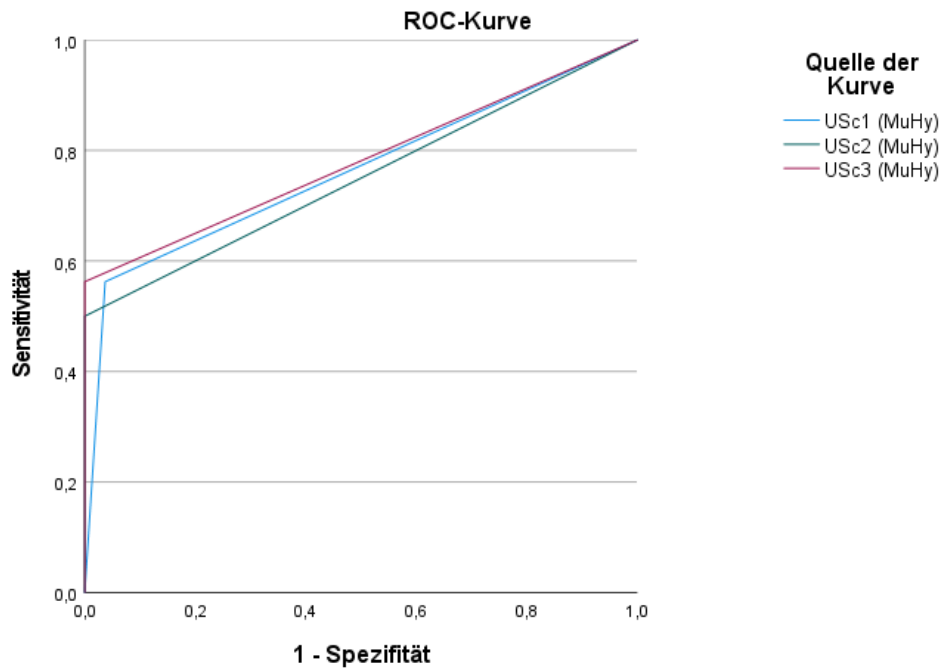


Abb. 27: Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve) zu den telemedizinischen Befunden (patientenbezogene Mundhygiene, MuHy). Die Genauigkeit der telemedizinischen Untersucher zur Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene (durchschnittlicher GDI-S  $\geq 1,9$  = insuffizient /  $< 1,9$  suffizient) wurde mithilfe der klinischen Befunde (Uklin) ermittelt. Für die verschiedenen Untersucher (USc1 – USc3) wurde die jeweilige Sensitivität (y-Achse) zur Spezifität (genauer: 1-Spezifität; x-Achse) aufgetragen. Der positive Ist-Zustand war dabei „insuffiziente Mundhygiene“. Die Fläche unter der Kurve entspricht der jeweiligen Area Under the Curve (AUC).

Insgesamt wurde anhand der AUC eine akzeptable Genauigkeit (mittlere AUC = 0,76) der telemedizinischen Befunde bei der Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene festgestellt. Zwischen den individuellen Ergebnissen der verschiedenen Untersucher zeigten sich geringe Abweichungen (Tab. 10).

Tab. 10: Sensitivität, Spezifität und Area Under the Curve (AUC) der telemedizinischen Untersucher (patientenbezogene Mundhygiene). Bei allen telemedizinischen Untersuchern wurden bei der Bewertung der Mundhygiene eine sehr hohe Spezifität und eine geringe Sensitivität beobachtet. Die Genauigkeit aller Untersucher war gemäß der AUC akzeptabel.

<b>Untersucher</b>	<b>Sensitivität</b>	<b>Spezifität</b>	<b>AUC</b>
USc1	0,56	0,96	0,76
USc2	0,50	1,00	0,75
USc3	0,56	1,00	0,78

Bei der patientenbezogenen Bewertung der Mundhygiene zeigten sich bei allen telemedizinischen Untersuchern ein hoher positiver Vorhersagewert (mittlerer positiver Vorhersagewert = 0,97) und ein geringerer negativer Vorhersagewert (mittlerer negativer Vorhersagewert = 0,78). Die Vorhersagewerte der Untersucher variierten nur geringfügig (Tab. 11).

Tab. 11: Positiver und negativer Vorhersagewert der telemedizinischen Untersucher (patientenbezogene Mundhygiene). Die telemedizinischen Untersucher besaßen alle eine hohe positive prädiktive Genauigkeit, wohingegen die negative prädiktive Genauigkeit geringer war.

Scan	Klinisch	Uklin			Vorhersagewert	
		Insuffizient	Suffizient	Gesamt	Positiver	Negativer
USc1	Insuffizient	9	1	10	0,90	
	Suffizient	7	26	33		0,79
USc2	Insuffizient	8	0	8	1,00	
	Suffizient	8	27	35		0,77
USc3	Insuffizient	9	0	9	1,00	
	Suffizient	7	27	34		0,79

### 5.3 Reliabilität der telemedizinischen Befunde

#### 5.3.1 Karies

Bei der Interrater-Reliabilität gegenüber Kariesläsionen konnte insgesamt eine gute Übereinstimmung (mittlerer  $\kappa = 0,73$ ) zwischen den telemedizinischen Untersuchern festgestellt werden, wobei das Maß der Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Untersuchern leicht variierte (Tab. 12).

Tab. 12:  $\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (Karies). Zur Erfassung der Übereinstimmung zwischen den verschiedenen telemedizinischen Untersuchern wurde jeweils der  $\kappa$ -Koeffizient bestimmt. Zwischen allen Untersuchern lag dabei eine gute Interrater-Reliabilität vor (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc2_1	0,71
USc1_1 vs. USc3_1	0,77
USc2_1 vs. USc3_1	0,71

Die Intrarater-Reliabilität zeigte insgesamt zwischen den zwei Befunden innerhalb der einzelnen telemedizinischen Untersucher eine gute Übereinstimmung (mittlerer  $\kappa = 0,79$ ). Die individuellen  $\kappa$ -Werte der verschiedenen telemedizinischen Untersucher variierten nur geringfügig (Tab. 13).

Tab. 13:  $\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (Karies). Anhand der telemedizinischen Befunde bei zehn Patienten, die nach einem Mindestabstand von 3 Wochen nochmals erhoben wurden, konnte die Intrarater-Reliabilität für jeden einzelnen Untersucher bestimmt werden. Die  $\kappa$ -Werte ergaben eine gute Übereinstimmung innerhalb der einzelnen Untersucher (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc1_2	0,79
USc2_1 vs. USc2_2	0,79
USc3_1 vs. USc3_2	0,78

### 5.3.2 Fehlende Zähne

Die Interrater-Reliabilität zeigte eine perfekte Übereinstimmung ( $\kappa = 1,00$ ) zwischen den telemedizinischen Untersuchern ohne individuelle Abweichungen (Tab. 14).

Tab. 14:  $\kappa$ -Werte der Interrater-Reliabilität (fehlende Zähne). Die Interrater-Reliabilität zur Erfassung fehlender Zähne war bei allen Untersuchern 1,00 und zeigte somit eine perfekte Übereinstimmung (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc2_1	1,00
USc1_1 vs. USc3_1	1,00
USc2_1 vs. USc3_1	1,00

Bei der Intrarater-Reliabilität (Tab. 15) zeigte sich ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den zwei Befunden der einzelnen telemedizinischen Untersucher ( $\kappa = 1,00$ ).

Tab. 15:  $\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (fehlende Zähne). Bei allen Untersuchern wurde jeweils zwischen dem Erst- und Zweitbefund zu zehn exemplarischen Patienten eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc1_2	1,00
USc2_1 vs. USc2_2	1,00
USc3_1 vs. USc3_2	1,00

### 5.3.3 Restaurationen

Entsprechend der erfassten Interrater-Reliabilität zur Detektion von Restaurationen war die Übereinstimmung unter den telemedizinischen Untersuchern sehr gut (mittlerer  $\kappa = 0,94$ ). Zwischen den verschiedenen Untersuchern variierte die Interrater-Reliabilität leicht (Tab. 16).

Tab. 16:  $\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (Restaurationen). Zwischen allen telemedizinischen Untersuchern wurde eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt, welche zwischen den verschiedenen Untersuchern nur leicht variierte (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc2_1	0,93
USc1_1 vs. USc3_1	0,95
USc2_1 vs. USc3_1	0,94

Die Intrarater-Reliabilität zwischen den wiederholten Befunden der telemedizinischen Untersucher war ebenfalls sehr gut (mittlerer  $\kappa = 0,96$ ). Das Maß der Intrarater-Reliabilität variierte leicht zwischen den verschiedenen telemedizinischen Untersuchern (Tab. 17).

Tab. 17:  $\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (Restaurationen). Innerhalb der einzelnen Untersucher war die Übereinstimmung jeweils sehr gut (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc1_2	0,93
USc2_1 vs. USc2_2	0,97
USc3_1 vs. USc3_2	0,97

### 5.3.4 Mundhygiene

Bei der Erfassung der patientenbezogenen Mundhygiene (durchschnittlicher GDI-S  $\geq 1,9 =$  insuffizient /  $< 1,9$  suffizient) zeigte die Interrater-Reliabilität der telemedizinischen Untersucher insgesamt eine gute Übereinstimmung (mittlerer  $\kappa = 0,72$ ). Die Interrater-Reliabilität zwischen den verschiedenen Untersuchern variierte dabei leicht (Tab. 18).

Tab. 18:  $\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (patientenbezogene Mundhygiene). Zwischen allen Untersuchern lag eine gute Interrater-Reliabilität bei der Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene vor (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc2_1	0,72
USc1_1 vs. USc3_1	0,66
USc2_1 vs. USc3_1	0,78

Die Intrarater-Reliabilität konnte für die patientenbezogene Bewertung der Mundhygiene aufgrund der kleinen Stichprobe ( $n = 10$ ) nicht ermittelt werden. Stattdessen wurde hierfür der zahnbezogene GDI-S herangezogen, wie nachfolgend dargestellt.

Die Interrater- und Intrarater-Reliabilität der telemedizinischen Untersucher wurde zusätzlich anhand der zahnbezogenen Bewertungen des GDI-S bestimmt. Dabei zeigte sich insgesamt eine geringere Interrater-Reliabilität als bei der patientenbezogenen Bewertung der Mundhygiene. Zwischen den verschiedenen Untersuchern war die mittlere Übereinstimmung des zahnbezogenen GDI-S moderat (mittlerer  $\kappa = 0,44$ ). Es zeigten sich hierbei Unterschiede in der Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Untersuchern. Die Übereinstimmung zwischen USc1 und USc2 war nur mäßig ( $\kappa_{[USc1_1 \text{ vs. } USc2_1]} = 0,36$ ). Die höchste Übereinstimmung wurde zwischen USc2 und USc3 ( $\kappa_{[USc2_1 \text{ vs. } USc3_1]} = 0,50$ ) beobachtet (Tab. 19).



Tab. 19:  $\kappa$ -Werte zur Interrater-Reliabilität (zahnbezogener GDI-S). Bei der Bewertung des zahnbezogenen GDI-S wurde eine geringere Interrater-Reliabilität als bei der patientenbezogenen Mundhygiene festgestellt. Während die Übereinstimmung zwischen USc1\_1 und USc2\_1 nur mäßig war, wurde zwischen den anderen Untersuchern eine moderate Übereinstimmung beobachtet (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc2_1	0,36
USc1_1 vs. USc3_1	0,46
USc2_1 vs. USc3_1	0,50

Die Intrarater-Reliabilität zum zahnbezogenen GDI-S der verschiedenen Untersucher zeigte insgesamt eine moderate Übereinstimmung (mittlerer  $\kappa = 0,60$ ). Hierbei variierte die Übereinstimmung unter den verschiedenen Untersuchern, wobei die Intrarater-Reliabilität von USc1 ( $\kappa = 0,68$ ) sowie USc3 ( $\kappa = 0,62$ ) jeweils gut und die von USc2 moderat ( $\kappa = 0,51$ ) war (Tab. 20).

Tab. 20:  $\kappa$ -Werte zur Intrarater-Reliabilität (zahnbezogener GDI-S). Die Übereinstimmung zwischen den zwei Befunden zu zehn exemplarischen Patienten variierte innerhalb der verschiedenen telemedizinischen Untersucher. Bei USc1 und USc3 wurde eine gute Intrarater-Reliabilität festgestellt, während diese bei USc2 eine moderate Übereinstimmung ergab (Landis & Koch, 1977).

<b>Untersucher</b>	<b><math>\kappa</math>-Wert</b>
USc1_1 vs. USc1_2	0,68
USc2_1 vs. USc2_2	0,51
USc3_1 vs. USc3_2	0,62

## **6 Diskussion**

Nach Stand der Literaturrecherche wurde mit dieser Proof-of-Concept-Studie erstmalig der klinische Einsatz eines IOS zur dentalen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren untersucht. Gemäß der zentralen Fragestellung konnten anhand der digitalen intraoralen 3D-Scans telemedizinische Befunde mit sehr guter Genauigkeit bei der Detektion von fehlenden Zähnen und Restaurationen erhoben werden, dahingegen zeigte sich bei der Kariesdetektion sowie den Bewertungen der Mundhygiene nur eine akzeptable Genauigkeit. Die mittlere Interrater-Reliabilität zwischen den verschiedenen telemedizinischen Untersuchern war hierbei gut (Karies und Mundhygiene) bis sehr gut (fehlende Zähne und Restaurationen). Zudem wurde eine mittlere Intrarater-Reliabilität innerhalb der einzelnen Untersucher von moderat (Mundhygiene), gut (Karies) und sehr gut (fehlende Zähne und Restaurationen) festgestellt.

### **6.1 Diskussion der Methodik**

#### **6.1.1 Patientenauswahl**

In der vorliegenden Studie wurde die klinische Anwendbarkeit eines IOS zur dentalen Befunderhebung ausschließlich bei pflegebedürftigen Senioren (Mindestalter: 65 Jahre) untersucht. Diese Patientengruppe stellt basierend auf aktuellen epidemiologischen Studien eine besonders vulnerable Gruppe dar, bei der sowohl eine höhere durchschnittliche Karieserfahrung als auch ein höherer Anteil vollständiger Zahnlosigkeit vorliegt (Jordan & Micheelis, 2016; Nitschke & Micheelis, 2016). Mit Eintritt in die Pflegebedürftigkeit wird oft eine größere Unterstützung bei täglichen Mundhygienemaßnahmen notwendig und die Gewährleistung einer regelmäßigen zahnmedizinischer Versorgung ist vielfach nur noch eingeschränkt möglich (Göstemeyer et al., 2019; Jordan, 2016; Nitschke & Micheelis, 2016). Während andere telemedizinische Ansätze mit intraoralen Videos oder Fotos zur Überwindung vorhandener Einschränkungen in der zahnmedizinischen Versorgung bei pflegebedürftigen Senioren bereits untersucht wurden (Bleiel et al., 2023; Queyroux et al., 2017), betrachten vorherige In-vivo-Studien zum Einsatz von IOS bei der dentalen Befunderhebung bislang vorwiegend jüngere Patienten ( $\leq 60$  Jahre) ohne Pflegebedarf (Doi et al., 2021; Michou et al., 2021; Steinmeier et al., 2020).

In der vorliegenden Arbeit wurden pflegebedürftige Senioren zwischen 65 und 95 Jahren mit unterschiedlichem Pflegegrad untersucht. Unter den insgesamt 43 untersuchten Patienten war ein deutlich höherer Anteil weiblicher Patienten vertreten (30 weibliche und

13 männliche). Hierbei kann auf Grundlage der vorliegenden Studienergebnisse nicht beurteilt werden, inwieweit das Geschlechterverhältnis in der Stichprobe möglicherweise auf einen höheren Anteil weiblicher Bewohner in den SPZ, einen geschlechtsspezifischen Einfluss auf die Bereitwilligkeit zur Studienteilnahme oder auf den Anteil vollständiger Zahnlosigkeit (studienpezifisches Ausschlusskriterium) zurückzuführen sein könnte. In einer vergleichbaren klinischen Studie bei pflegebedürftigen Senioren war ebenfalls ein höherer Anteil weiblicher Patienten (74 %) vertreten (Bleiel et al., 2023). Gemäß den Ergebnissen der DMS V zeigen Frauen innerhalb der älteren Senioren (75 – 100 Jahre) ohne Pflegebedarf einen signifikant höheren DMFT als Männer (Schiffner, 2016), jedoch liegen für ältere Senioren mit Pflegebedarf keine geschlechtsspezifischen Daten dazu vor.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der soziale Status der Patienten nicht ausgewertet. Aus neueren epidemiologischen Studien geht jedoch hervor, dass eine höhere Schulbildung bzw. ein höherer sozialer Status mit einer geringeren Prävalenz oraler Erkrankungen assoziiert ist (Jordan & Micheelis, 2016). Die bestehende Heterogenität (Alter, Bildungsabschluss, Pflegegrad etc.) innerhalb des Patientenkollektivs dieser Proof-of-Concept-Studie ermöglichte es, den klinischen Einsatz des IOS unter der zentralen Fragestellung an unterschiedlichen Patienten zu erproben. Innerhalb des Studiendesigns war dabei keine systematische epidemiologische Datenerhebung vorgesehen. Mögliche Einflussfaktoren hierzu wären daher in nachfolgenden Studien mit repräsentativen Stichproben zu evaluieren.

### **6.1.2 Klinische Befunderhebung und Durchführung der intraoralen 3D-Scans**

In der vorliegenden Studie war bei den Untersuchungen keine zahnärztliche Behandlungseinheit mit Luftpuster und Sauger verfügbar, da die Untersuchungen in den Räumlichkeiten der SPZ durchgeführt wurden. Verfügbare In-vivo-Studien zum Einsatz von IOS bei der dentalen Befunderhebung wurden hingegen zumeist in universitären Untersuchungsräumen durchgeführt, wo eine zahnärztliche Behandlungseinheit für Trocknung und Ausleuchtung der Mundhöhle verfügbar war (Doi et al., 2021; Michou et al., 2021; Steinmeier et al., 2020). Entstehende Reflexionen durch vorhandene Metallrestorationen sowie eine feuchte Zahnoberfläche könnten die optische Erfassung des IOS während der Erhebung der Scans beeinträchtigt haben (Kihara et al., 2020), wodurch ein Einfluss auf die Auswertbarkeit der 3D-Scans nicht auszuschließen ist. Andere aktuelle Studien haben zudem häufig eine vorherige Reinigung der untersuchten Zahnoberflächen vor Einsatz des IOS mit Fluoreszenztechnologie durchgeführt, was die Genauigkeit der

Kariesdiagnostikhilfe erhöhen sollte (Michou et al., 2020a; Michou et al., 2021). Im Studiendesign der vorliegenden Studie war die Bewertung der Mundhygiene jedoch Bestandteil der klinischen und der telemedizinischen Untersuchung, sodass vor Erhebung der klinischen Befunde und der intraoralen 3D-Scans keine professionelle Zahnreinigung durchgeführt wurde. Die Untersuchungen wurden dabei in den Patientenzimmern der SPZ ohne zahnärztliche Behandlungseinheit durchgeführt, um alltagsgetreue Pflegebedingungen der Senioren abzubilden. Vergleichbare zahnärztliche Untersuchungsbedingungen bei pflegebedürftigen Senioren in SPZ werden auch von anderen Autoren beschrieben (Bleiel et al., 2023; Queyroux et al., 2017).

In Anlehnung an den DMFT wurden in der statistischen Auswertung nur kavitierte Kariesläsionen berücksichtigt, da diese eine eindeutigere Befunderhebung ermöglichen und eine Indikation für zahnärztlichen Therapiebedarf darstellen. Zur Erkennung initialer Kariesläsionen (ICDAS Code 1 und 2) kann daher durch die vorliegende Studie keine Aussage gemacht werden. Eine separate Auswertung der Wurzelkaries in Bezug auf die Läsionsgröße (W1/W2) erfolgte gemäß der Zielsetzung dieser Studie nicht, da beide eine Indikation für zahnärztlichen Therapiebedarf darstellen (Kapitel 6.1.3, S. 57 ff.). Approximale Kariesläsionen wurden bei der Befunderhebung erfasst, sofern diese visuell-taktil erkennbar waren (z. B. fortgeschrittene Läsion, fehlende Nachbarzähne). In den Räumlichkeiten der SPZ war keine zusätzliche Erhebung von Bitewing-Röntgenaufnahmen möglich, welche als Goldstandard bei der Diagnostik approximaler Kariesläsionen gelten (Ortiz et al., 2020; Schaefer et al., 2018). Aufgrund dieser Limitation wurden möglicherweise nicht alle approximalen Kariesläsionen visuell-taktil erfasst.

Im Rahmen der Studie wurden die Befunde von nur einem klinischen Untersucher verwendet, um eine zusätzliche Belastung der pflegebedürftigen Patienten durch weitere Untersuchungen zu vermeiden. Da die klinischen Untersuchungen als Referenz zur Auswertung der Genauigkeit der telemedizinischen Befunde dienten, kann eine mögliche Verzerrung durch eine Falschbewertung des klinischen Untersuchers nicht vollständig ausgeschlossen werden. Aufgrund der weitgehend eindeutig definierten Auswertungskriterien (z. B. nur kavitierte Kariesläsionen, Restaurationen allgemein) ist dabei jedoch von einem geringen Verzerrungsrisiko auszugehen. Zudem wurden auch in anderen vergleichbaren Studien nur die Befunde eines klinischen Untersuchers verwendet (Bleiel et al., 2023; Daly et al., 2021; Doi et al., 2021; Michou et al., 2021).

### 6.1.3 Telemedizinische Befunderhebung

Aufgrund der Möglichkeiten, die intraoralen 3D-Scans zu drehen oder auch zu vergrößern, sowie durch weitere Auswahl der Farbdarstellung und der Kariesdiagnostikhilfe war eine telemedizinische Befunderhebung aus verschiedenen Perspektiven möglich. Andere telemedizinische Ansätze verwendeten häufig klassische Intraoralkameras (Pentapati et al., 2017; Queyroux et al., 2017) oder auch Smartphones (Bleiel et al., 2023) zur Aufnahme intraoraler Videos oder Fotos. Diese können zwar eine weitgehend realitätsgetreue Farbdarstellung der intraoralen Situation abbilden, jedoch wird die telemedizinische Befunderhebung durch die gewählte Perspektive zum Aufnahmezeitpunkt sowie eine 2D-Darstellung der intraoralen Situation limitiert (Steinmeier et al., 2020). So wurde bei der telemedizinischen Befunderhebung anhand intraoraler Fotos von perspektivisch bedingten Limitationen durch nicht einsehbare Bereiche berichtet (Bleiel et al., 2023). Die intraoralen 3D-Scans können daher eine genauere Betrachtung bei der telemedizinischen Befunderhebung ermöglichen.

Der klinische Untersucher hat im Rahmen der Studie ebenfalls eine telemedizinische Befunderhebung durchgeführt. Durch den zeitlichen Abstand von über 10 Monaten zwischen der klinischen und telemedizinischen Untersuchung sollte die vorherige klinische Befunderhebung keine relevanten Verzerrungen bei der telemedizinischen Untersuchung verursacht haben.

Zur Erfassung der Intrarater-Reliabilität erfolgte zudem eine erneute telemedizinische Befunderhebung mit einem zeitlichen Mindestabstand von 3 Wochen durch alle drei telemedizinischen Untersucher, sodass auch hierbei keine relevanten Verzerrungen bei der zweiten Befunderhebung angenommen werden. Der gewählte zeitliche Mindestabstand ist dabei ähnlich zu vergleichbaren Studien, bei denen der zeitliche Mindestabstand zwischen 10 Tagen (Daly et al., 2021), 2 Wochen (Michou et al., 2022) und 30 Tagen (Travassos Da Rosa Moreira Bastos et al., 2021) variiert.

Im Rahmen dieser Studie wurden in Anlehnung an den DMFT die telemedizinischen Befunde im Hinblick auf kavitierte Kariesläsionen, fehlende Zähne und vorhandene Restaurationen ausgewertet. Hierbei wurde in der statistischen Auswertung nicht weiter zwischen koronaler Karies und Wurzelkaries, der Kavitationsgröße vorhandener Wurzelkaries (W1/W2), ggf. vorhandenen prothetischen Versorgungen bei fehlenden Zähnen (Brücken, Implantate bzw. herausnehmbarer Zahnersatz) oder der Art der Restaurationen (Füllungen oder Kronen) differenziert. Mit dieser Proof-of-Concept-Studie

sollte die Anwendung eines IOS zur dentalen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren erprobt werden, wodurch der Einsatz telemedizinischer Screenings zur Feststellung eines möglichen Therapiebedarfs ermöglicht werden könnte. Kavitierte Kariesläsionen stellen unabhängig von der Lokalisation (koronale Karies / Wurzelkaries) oder der Kavitationsgröße (ICDAS Code 3 – 6; W1/W2) eine Indikation für zahnärztlichen Therapiebedarf dar. Für die zahnärztliche Entscheidungsfindung adäquater Therapiemaßnahmen (z. B. konservierend, prothetisch oder chirurgisch) bedarf es jedoch weiterführender Diagnostik (bspw. Vitalitätsprüfung, Perkussionstest und Röntgendiagnostik). Die weiterführende Diagnostik und die anschließenden zahnärztlichen Therapiemaßnahmen erfordern dabei eine direkte Betreuung durch zahnärztliches Personal unter adäquater räumlicher und materieller Ausstattung (z. B. Röntgengerät, Behandlungseinheit, zahnärztliche Instrumente und zahnmedizinische Materialien). Dadurch ergeben sich Limitationen für den Einsatz zahnärztlicher Telemedizin, sodass diese aktuell nur als Ergänzung zu klinischen Untersuchungsmethoden angesehen wird (Aquilanti et al., 2020; Bleiel et al., 2023; Gambino et al., 2014; Steinmeier et al., 2020).

Aufgrund bestehender Limitationen bei der Diagnostik approximaler Kariesläsionen wurden diese in der vorliegenden Studie möglicherweise nicht vollständig erfasst. Da keine Möglichkeit zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen zur weiteren Kariesdiagnostik in den SPZ gegeben war, sind möglicherweise bei der klinischen (visuell-taktilen) und telemedizinische Befundung proximale Kariesläsionen übersehen worden. Eine unterstützende Diagnostik durch NIR-LT, welche nach Bitewing-Röntgenaufnahmen die höchste Genauigkeit bei der Erfassung approximaler Kariesläsionen zeigen (Ortiz et al., 2020; Schlenz et al., 2022), war ebenfalls nicht möglich, da ein angekündigter IOS-Aufsatz mit NIR-LT durch den Hersteller bis zum Ende des Untersuchungszeitraums nicht lieferbar war. Es liegen jedoch bereits erste Untersuchungen von Michou et al. (2022) zum Einsatz dieser Technologie mit dem TRIOS 4 (3Shape) vor.

Die prothetische Versorgung der Patienten wurde unter der zentralen Fragestellung dieser Proof-of-Concept-Studie nicht eingehend untersucht. Ein telemedizinischer Ansatz auf Grundlage intraoraler Videos hierzu ist bereits veröffentlicht (Queyroux et al., 2017), jedoch sind zum aktuellen Zeitpunkt keine Studien mit IOS bekannt.

Der erfolgte Abgleich der Zahnposition bei der telemedizinischen Befunderhebung im starkem Lückengebiss oder bei geringer Restbezaehlung diente einer einheitlichen Zuordnung der weiteren dentalen Befunde (Karies, Restaurationen und Bewertung der Mundhygiene). Bei stark reduzierter Bezaehlung ist die Zuordnung aufgrund von möglichen

Zahnbewegungen (z. B. Kippungen, Aufwanderungen) ohne Röntgenbilder deutlich erschwert. Durch den Abgleich konnten Verzerrungen in den weiteren telemedizinischen Befunden vermieden werden, weshalb kein relevanter Einfluss auf die Erfassung eines möglichen Therapiebedarfs angenommen wird.

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **6.2.1 Vorteile und Limitationen beim Einsatz des IOS**

In der vorliegenden Studie wurde als IOS der TRIOS 4 (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) als rollbares Cart-Gerät verwendet (Abb. 6, S. 32), wofür barrierefreie Räumlichkeiten voraussetzend sind, die in allen SPZ gegeben waren. Bei Räumlichkeiten ohne Barrierefreiheit, z. B. bei häuslicher Pflege, ist der Scanner auch als portable Ausführungsvariante erhältlich.

Bei der klinischen Anwendung des IOS wurden teilweise patienten- und scannerbasierte Einschränkungen beim Scanvorgang beobachtet. Insgesamt erfordert das Scannen der Mundhöhle kognitive und körperliche Grundvoraussetzungen bei den Patienten. So müssen eine ausreichende Ansprechbarkeit und die Fähigkeit zur körperlichen Mitwirkung an der Untersuchung durch anhaltende Mundöffnung vorhanden sein. Diese Voraussetzungen sind allgemein auch für die klinische Befunderhebung notwendig, jedoch stellte sich der Scanvorgang insgesamt als zeitaufwendiger dar und beanspruchte die Patienten dadurch stärker. Für den Einsatz der Fluoreszenztechnologie als Diagnostikhilfe bei Oberflächenkaries waren insgesamt pro Kiefer je zwei Scanvorgänge notwendig, wobei zunächst ein Scan zur Erstellung des digitalen 3D-Modells und ein weiterer unter Einsatz der Fluoreszenztechnologie erfolgte. Bei notwendigen Wiederholungen der Scans erhöhte sich der Zeitaufwand. So führten vorhandene Einschränkungen der Nasenatmung einiger Patienten zum Beschlagen von Spiegel und Glasscheibe des Scanneraufsatzes, sodass der Scanvorgang teilweise unterbrochen wurde. Aufgrund der Möglichkeit, den Scanvorgang zwischenzeitlich zu pausieren, konnte dieser jedoch nach Reinigung des Scanneraufsatzes einfach fortgesetzt werden. Aufgrund der Größe des Scanaufsatzes ist zudem eine ausreichend weite Mundöffnung des Patienten während des Scanvorgangs notwendig. Einige Patienten empfanden den Scanvorgang, insbesondere in distalen Bereichen, dadurch unangenehmer als die klinische Befunderhebung. Bei einem Patienten musste die Untersuchung vor Erhebung auswertbarer Scans abgebrochen werden, da der Anblick des Scanaufsatzes und die Geräusche beim Scanvorgang eine starke Angstreaktion auslösten.

Der Scanvorgang in distalen Bereichen wurde von einigen Patienten nicht nur als unangenehm empfunden, sondern teilweise auch durch einen ausgeprägten Würgereflex erschwert. Einige distale Bereiche (v. a. dritte Molaren) oder Unterschnitte im Bereich von Brückengliedern konnten durch anatomische Limitationen und die Größe des Scanneraufsatzes teilweise nicht vollständig erfasst werden. Insbesondere bei eingeschränkter Mundöffnung des Patienten oder enger Lagebeziehung zum aufsteigenden Ast des Unterkiefers (Ramus mandibulae) konnten distale Zahnflächen der endständigen Molaren nicht immer gescannt werden. Allgemeine Limitationen durch anatomische Gegebenheiten in distalen Bereichen (v. a. dritte Molaren) oder Unterschnitte, welche die optische Erfassung mit dem IOS und damit die diagnostische Auswertung begrenzen, wurden bereits zuvor berichtet (Michou et al., 2021). Da diese Limitationen jedoch auch bei anderen intraoralen Kamerasystemen beschrieben wurden (Pentapati et al., 2017), sind sie nicht allein auf den Einsatz von IOS zurückzuführen.

Weiterhin war die intraorale Situation aufgrund scannerbasierter Einschränkungen nicht immer realitätsgetreu auf den 3D-Scans darstellbar. So wurde der Scan teilweise durch Lichtreflexionen an feuchten oder metallischen Oberflächen beeinträchtigt, was bereits in einer vorherigen telemedizinischen IOS-Studie beobachtet wurde (Steinmeier et al., 2020). Bei einer großen Schalllücke konnte der endständige, distal begrenzende Zahn bei einem Patienten nicht innerhalb eines Scanvorgangs gescannt werden, da die feuchte Schleimhaut unzureichende Informationen zur Orientierung des Systems bei der optischen Erfassung bot und zu einem Abbruch des Scanvorgangs führte. Daher mussten Zähne gelegentlich einzeln gescannt und in einer separaten Datei zu diesem Patienten gespeichert werden. Des Weiteren wurden bei Darstellung der 3D-Scans unter der Kariesdiagnostikhilfe auch Restaurationen, Plaque und Zahnstein sowie die angrenzende Gingiva gelb oder rot dargestellt, eine eindeutige Abgrenzung zu Kariesläsionen (v. a. bei Plaque) wurde so zum Teil erschwert. Daneben wurden bei einzelnen Patienten Abweichungen in der realitätsnahen Farbdarstellung der digitalen 3D-Scans festgestellt, obwohl das System noch keine Notwendigkeit einer erneuten Farbkalibrierung gemeldet hatte. Nach einer Farbkalibrierung mithilfe der vorgesehenen Kalibrierungshilfe konnten die Farbabweichungen jedoch behoben werden. Aufgrund der systembasierten Auflösung und softwarebedingten Nachbearbeitungen der Bildinformationen zeigten die digitalen 3D-Scans zudem häufig eine etwas hellere Farbgebung als am Patienten sowie teilweise verwaschene Konturen. In anderen telemedizinischen Studien mit IOS wurde ebenfalls von einer helleren



Farbdarstellung (Doi et al., 2021) sowie Limitationen durch Bildqualität und Farbdarstellung (Steinmeier et al., 2020) der 3D-Scans berichtet. Inwiefern die Farbdarstellung bzw. Auflösung der 3D-Scans einen Einfluss auf die Genauigkeit der telemedizinischen Befunde hatten, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden. Da vorhandene Plaque im zervikalen Bereich besser erkennbar war als auf den Glattflächen und die Mundhygiene telemedizinisch tendenziell besser bewertet wurde, können Auswirkungen auf die Genauigkeit nicht ausgeschlossen werden. Unabhängig von IOS wurde auch in einer telemedizinischen Studie mit einer klassischen Intraoralkamera von Schwierigkeiten bei der bildlichen Abbildung weicher Plaque berichtet (Pentapati et al., 2017), sodass diese Problematik nicht nur bei IOS beobachtet wurde. Der verwendete IOS (TRIOS 4, 3Shape, Kopenhagen, Dänemark) war zum Untersuchungszeitpunkt erst kürzlich auf dem Markt erschienen und stellte einen der modernsten IOS dar. In aktuellen Studien gibt es jedoch Hinweise auf mögliche Unterschiede bei der Genauigkeit der Kariesdiagnostikhilfen verschiedener IOS (Schlenz et al., 2022), die innerhalb der vorliegenden Studie nicht untersucht wurden.

Insgesamt führte die klinische Anwendung des IOS aufgrund der genannten patienten- sowie scannerbasierten Einschränkungen nicht bei allen Patienten zu optimalen Scanergebnissen und war bei einigen Patienten subjektiv mit einem erhöhtem Diskomfort verbunden. Generell war jedoch eine Erhebung intraoraler 3D-Scans für eine spätere telemedizinische Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren möglich. Auf Grundlage vorheriger Instruktionen und eines Trainings im Umgang mit dem IOS ist daher auch ein Einsatz durch geschultes Pflegepersonal in SPZ vorstellbar und wäre in nachfolgenden Studien zu erproben. Im Hinblick auf die hohen Investitionskosten durch den IOS, notwendigen Schulungen und Personalbereitstellung ist zudem eine mögliche Finanzierung unter Berücksichtigung von Zeitaufwand, Genauigkeit der Scans sowie Versorgungsqualität und möglichen Folgekosten zu prüfen. Inwieweit der telemedizinische Einsatz von IOS zur dentalen Befunderhebung innerhalb des Gesundheitssystems finanziert werden könnte, wäre in zukünftigen Studien zum Kosten-Nutzen-Verhältnis zu evaluieren.

### **6.2.2 Genauigkeit der telemedizinischen Befunde**

In der vorliegenden Studie variierte die Genauigkeit der erhobenen telemedizinischen Befunde in den verschiedenen Befundkategorien. Während bei Restaurationen und

fehlenden Zähnen eine sehr hohe Genauigkeit beobachtet wurde, zeigten sich bei kavitierten Kariesläsionen und den Bewertungen der Mundhygiene geringere Genauigkeiten.

Bei der telemedizinischen Detektion vorhandener Restaurationen lagen sowohl eine hohe Sensitivität als auch hohe Spezifität vor. Dementsprechend wurden hohe prädiktive Vorhersagewerte gegenüber Restaurationen ermittelt, auch wenn in den telemedizinischen Befunden nicht alle klinisch vorhandenen Restaurationen korrekt detektiert wurden. In einer anderen IOS-Studie wurde bei telemedizinischen Befunden eine höhere Genauigkeit gegenüber Restaurationen als gegenüber Kariesläsionen beobachtet, wobei durch zusätzliche Röntgenaufnahmen alle Restaurationen telemedizinisch korrekt erfasst werden konnten (Steinmeier et al., 2020). Ohne zusätzliche Röntgenaufnahmen konnten trotz hoher Genauigkeiten auch bei Steinmeier et al. (2020) nicht alle vorhandenen Restaurationen telemedizinisch korrekt detektiert werden, dies verhielt sich ähnlich wie bei den vorliegenden Studienergebnissen. In einer weiteren telemedizinischen Studie mit einer klassischen Intraoralkamera wurde zwischen den klinisch und telemedizinisch durchschnittlich erfassten Restaurationen (FT = Filled Teeth) kein signifikanter Unterschied festgestellt (Pentapati et al., 2017). Bei Pentapati et al. (2017) wurden dabei telemedizinisch tendenziell mehr Restaurationen erfasst als klinisch. Im Gegensatz dazu wurden in der vorliegenden Studie von allen Untersuchern telemedizinisch weniger Restaurationen detektiert, als klinisch vorhanden waren. Diese Abweichungen könnten auf Unterschiede im Studiendesign zurückzuführen sein, da die Untersuchungen von Pentapati et al. (2017) bei Kindern durchgeführt und intraorale Videos und teilweise zusätzliche Fotos einer klassischen Intraoralkamera verwendet wurden. Ob die Bildauflösung der intraoralen 3D-Scans (IOS) demnach einen Einfluss auf die Genauigkeit telemedizinischer Befunde hat, sollte daher in nachfolgenden Studien untersucht werden.

Bei der telemedizinischen Erfassung fehlender Zähne wurden in der vorliegenden Studie eine sehr hohe Sensitivität und sehr hohe Spezifität sowie entsprechend hohe prädiktive Vorhersagewerte festgestellt. Ähnlich zu den vorliegenden Studienergebnissen wurden auch von Pentapati et al. (2017) kein signifikanter Unterschied zwischen den telemedizinischen und klinischen Befunden bei der Erfassung fehlender Zähne (MT = Missing Teeth) unter Anwendung einer klassischen Intraoralkamera festgestellt. Fehlende Zähne können funktionelle Beeinträchtigungen verursachen und damit eine Indikation für prothetischen Versorgungsbedarf darstellen. Queyroux et al. (2017) konnten bereits hohe Genauigkeiten telemedizinischer Befunde zur Einschätzung der Kaufähigkeit und der prothetischen

Versorgung vorhandener Prothesen auf Grundlage endoskopischer, intraoraler Videos feststellen. Untersuchungen mit IOS sind hierzu jedoch bisher nicht bekannt, sodass die Genauigkeit entsprechender prothetischer Befunde anhand intraoraler 3D-Scans in nachfolgenden Studien zu evaluieren wäre.

In den aktuellen Studienergebnissen lag bei der telemedizinischen Detektion von kavitierten Kariesläsionen gemäß den AUC-Werten insgesamt nur eine akzeptable Genauigkeit vor. Diese war vorwiegend auf eine geringe Sensitivität zurückzuführen, während gleichzeitig eine hohe Spezifität vorlag. Dadurch war die prädiktive Genauigkeit der telemedizinischen Befunde bei kariösen Zähnen geringer als bei kariesfreien Zähnen, wobei alle Untersucher telemedizinisch weniger Kariesläsionen detektierten als klinisch erfasst wurden. In einem Review von Gimenez et al. (2015) wurde auch bei der rein visuellen Kariesdetektion die Tendenz zu einer höheren Spezifität gegenüber einer geringeren Sensitivität festgestellt, sodass diese nicht allein auf die telemedizinische Befunderhebung zurückzuführen ist. Während jedoch in vergleichbaren In-vivo-Studien mit IOS bei den telemedizinischen Kariesbefunden eine ähnliche oder auch geringere Spezifität (0,53 – 1,00) festgestellt wurden, war die Sensitivität (0,56 – 0,91) gegenüber den aktuellen Studienergebnissen häufig höher (Michou et al., 2021; Steinmeier et al., 2020). Auch in verfügbaren In-vitro-Studien mit IOS wurden im Unterschied zu den aktuellen Studienergebnissen eine vergleichbare oder geringere Spezifität (0,53 – 0,98), jedoch meist eine höhere Sensitivität (0,52 – 0,96) der telemedizinischen Kariesbefunde beobachtet (Michou et al., 2022; Schlenz et al., 2022). Insgesamt variiert die verwendete Kontrollmethode in den Studien dabei zwischen einer klinischen Untersuchung (Steinmeier et al., 2020), einer histologischen Untersuchung (Michou et al., 2021; Michou et al., 2022) sowie einer  $\mu$ -CT Untersuchung (Schlenz et al., 2022). Die In-vivo-Studien untersuchten im Gegensatz zur vorliegenden Studie zudem jüngere Patienten ohne Pflegebedarf und erhoben die intraoralen 3D-Scans in Anwesenheit einer zahnärztlichen Behandlungseinheit (Michou et al., 2021; Steinmeier et al., 2020) sowie teilweise nach vorheriger professioneller Zahnreinigung (Michou et al., 2021). Demnach hätten in der vorliegenden Studie bestehende Einschränkungen der pflegebedürftigen Patienten zu einem höherem dentalen Plaquebefall geführt und vorhandene Kariesläsionen dadurch möglicherweise optisch verdecken haben können. Diese Überlegung könnte die geringere Sensitivität in den telemedizinischen Befunden begründen, da alle Untersucher dieser Studie telemedizinisch weniger Kariesläsionen detektierten als

klinisch erfasst wurden. Ein möglicher Einfluss vorhandener Plaque auf die Genauigkeit telemedizinischer Kariesbefunde wäre daher in nachfolgenden Studien noch zu evaluieren. Die vorliegenden Studienergebnisse zur telemedizinischen Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene zeigten insgesamt nur eine akzeptable Genauigkeit. Dabei wiesen die telemedizinischen Befunde eine höhere prädiktive Genauigkeit bei der Erfassung insuffizienter Mundhygiene als bei der Erfassung suffizienter Mundhygiene auf. Insgesamt wurde die Mundhygiene der Patienten telemedizinisch tendenziell besser bewertet, d. h., es wurde weniger Plaque erfasst als klinisch. Der zahnbezogene GDI-S wurde für die Genauigkeit der telemedizinischen Befunde nicht herangezogen, da für die Diagnosestellung und Therapieplanung des jeweiligen Patienten die individuelle Mundhygienefähigkeit und weniger die Übereinstimmung zahnbezogener Einzelwerte entscheidend ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen dabei im Gegensatz zu einer vorherigen IOS-Studie von Doi et al. (2021), in welcher telemedizinisch höhere Plaque-Werte als direkt visuell erfasst wurden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Doi et al. (2021) die dentale Plaque zuvor angefärbt und eine rein visuelle Diagnostik ohne zusätzliche taktile Sondierung durchgeführt hatten, was die abweichenden Studienergebnisse erklären könnte. Auch in der telemedizinischen Studie von Bleiel et al. (2023) wurde tendenziell mehr Plaque erfasst als bei klinischen Untersuchungen, wobei die Befunderhebung jedoch anhand intraoraler Fotos erfolgte. Bei Steinmeier et al. (2020) wurde das Vorhandensein von Plaque und Zahnstein in den telemedizinischen Befunden anhand intraoraler 3D-Scans eines IOS sowohl über- als auch unterschätzt, sodass die verfügbaren Studienergebnisse diesbezüglich variieren und daraus weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden kann. Inwiefern die Bildauflösung und das Anfärben der dentalen Plaque die Genauigkeit telemedizinischer Befunde beeinflusst, wäre ebenfalls zukünftig näher zu untersuchen.

### **6.2.3 Reliabilität der telemedizinischen Befunde**

Bei der Reliabilität der telemedizinischen Befunde zeigten die Ergebnisse der verschiedenen Befundkategorien eine ähnliche Tendenz wie die Ergebnisse zur Genauigkeit. Restaurationen und fehlende Zähne wurden dabei mit einer deutlich höheren Inter- und Intrarater-Reliabilität als Karies und dentale Plaque detektiert.

Die telemedizinischen Befunde zur Detektion von Restaurationen zeigten insgesamt eine sehr gute Interrater-Reliabilität zwischen den verschiedenen Untersuchern sowie eine sehr gute Intrarater-Reliabilität innerhalb der einzelnen Untersucher. Auch die Erfassung

fehlender Zähne zeigte eine sehr gute Interrater- und Intrarater-Reliabilität. Bereits in einer vorherigen telemedizinischen Studie wurde eine stark signifikante, positive Korrelation zwischen der telemedizinischen und klinischen Erfassung von Restaurationen (FT = Filled Teeth) und fehlenden Zähnen (MT = Missing Teeth) anhand von intraoralen Videos mit einer klassischen Intraoralkamera bei Kindern beobachtet (Pentapati et al., 2017). Demnach ist die telemedizinische Erfassung von Restaurationen und fehlenden Zähnen sowohl unter Einsatz einer klassischen Intraoralkamera bei Kindern als auch eines IOS bei pflegebedürftigen Senioren mit einer sehr guten Reliabilität möglich. Bisher sind jedoch keine weiteren telemedizinischen Studien hierzu bekannt, sodass weiterer Forschungsbedarf besteht.

Bei der Kariesdetektion zeigten sich in den vorliegenden Studienergebnissen eine geringere Interrater- und Intrarater-Reliabilität, die jedoch noch einer guten Übereinstimmung entsprechen. Bereits zuvor wurde eine gute Reliabilität ( $\kappa = 0,714$ ) zwischen klinischen und telemedizinischen Kariesbefunden bei Kindern anhand intraoraler Videos beobachtet (Pentapati et al., 2017). Bei Michou et al. (2020a) wurde sogar eine sehr gute Intrarater-Reliabilität ( $\kappa > 0,84$ ) telemedizinischer Kariesbefunde mit einem prototypischen IOS unter Anwendung von Fluoreszenztechnologie in vitro festgestellt. In einer anderen Studie von Michou et al. (2022) wurde unter Einsatz eines IOS mit integrierter NIR-LT bei telemedizinischen Kariesbefunden anhand intraoraler 3D-Scans hingegen nur eine moderate bis gute Interrater-Reliabilität ( $\kappa = 0,57 - 0,63$ ) bei einer sehr guten Intrarater-Reliabilität ( $\kappa > 0,80$ ) beobachtet. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Michou et al. (2022) ausschließlich proximale Kariesläsionen unter Einsatz von NIR-LT untersuchten und keine Fluoreszenztechnologie verwendeten, wodurch die Vergleichbarkeit zu den aktuellen Studienergebnissen eingeschränkt ist. In einer Studie von Schlenz et al. (2022) zeigten sich Unterschiede in der Reliabilität telemedizinischer Kariesbefunde bei Einsatz verschiedener IOS an bleibenden Zähnen in vitro. Gegenüber der Kontrolle durch  $\mu$ -CT zeigte sich dabei insgesamt eine höhere Reliabilität bei okklusalen Kariesläsionen ( $\kappa = 0,37 - 0,70$ ) als bei approximalen Kariesläsionen ( $\kappa = 0,18 - 0,45$ ), wobei der Planmeca Emerald S insgesamt die besten Ergebnisse unter den IOS erzielte (Schlenz et al., 2022). Insgesamt sind bisher nur wenige Studien zur Reliabilität telemedizinischer Kariesbefunde vorhanden, wobei die verfügbaren Ergebnisse meist auf eine gute Reliabilität hindeuten. Für zusätzliche Evidenz und zur Analyse möglicher Auswirkungen durch die Verwendung unterschiedlicher IOS-Modelle bedarf es weiterer Studien.

Auch die Interrater-Reliabilität zur Bewertung der patientenbezogenen Mundhygiene zeigte insgesamt eine gute Übereinstimmung. Da die kleine Stichprobe ( $n = 10$ ) der wiederholten Befunde keine Bestimmung der Intrarater-Reliabilität zur patientenbezogenen Mundhygiene zuließ, wurde hierzu der zahnbezogene GDI-S herangezogen. Unter Betrachtung des zahnbezogenen GDI-S zeigte sich jedoch nur eine moderate Übereinstimmung bei der Interrater- und der Intrarater-Reliabilität. Bleiel et al. (2023) berichten dagegen von einer guten Interrater-Reliabilität ( $ICC_{\text{Oberkiefer}} = 0,87$ ;  $ICC_{\text{Unterkiefer}} = 0,84$ ) zwischen den beiden telemedizinischen Untersuchern bei der Bewertung vestibulärer Plaque anhand intraoraler Smartphone-Fotos. Bei Pentapati et al. (2017) lag insgesamt zwischen dem telemedizinisch und klinisch erfassten Zahnstein ebenfalls eine gute Reliabilität ( $\kappa = 0,76$ ) vor. Bei beiden Studien wurden klassische Intraoralkameras anstatt eines IOS verwendet, wodurch die Vergleichbarkeit limitiert ist. Derzeit sind keine Studien mit IOS zur Reliabilität telemedizinischer Bewertungen der Mundhygiene bekannt, sodass in diesem Bereich weiterer Forschungsbedarf besteht.

## 7 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Proof-of-Concept-Studie wurde der klinische Einsatz eines IOS mit integrierter Fluoreszenztechnologie zur telemedizinischen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren untersucht. Dabei wurden die Genauigkeit und Reliabilität telemedizinischer Befunde auf Grundlage digitaler intraoraler 3D-Scans gegenüber der konventionellen visuell-taktilen Untersuchung betrachtet.

Allgemein konnte mit dieser Studie gezeigt werden, dass die klinische Anwendung eines IOS bei pflegebedürftigen Senioren durch einen Untersucher mit wenig Vorerfahrung möglich ist, sodass auch ein Einsatz durch geschultes Pflegepersonal in SPZ denkbar wäre. Bei der Erhebung intraoraler 3D-Scans wurden jedoch verschiedene patienten- und scannerbasierte Einschränkungen beobachtet, welche einen Einsatz des IOS limitieren. So sind während des Scanvorgangs eine ausreichende Mundöffnung und Mitwirkung der Patienten unabdingbar. Diesbezüglich muss der vorhandene individuelle Pflegebedarf berücksichtigt werden.

Auf Grundlage der intraoralen 3D-Scans konnten telemedizinische Befunde mit sehr guter Genauigkeit und Reliabilität für die Erfassung von Restaurationen und fehlenden Zähnen erhoben werden. Dagegen wurden kavitierte Kariesläsionen und die Mundhygiene nur mit akzeptabler Genauigkeit und einer guten (Karies und patientenbezogene Mundhygiene) bis moderaten (zahnbezogene Mundhygiene) Reliabilität telemedizinisch erfasst, woraus sich Limitationen für den klinischen Einsatz ergeben. Dabei stellen die geringe Sensitivität bei kariösen Zähnen (0,58) und insuffizienter Mundhygiene (0,54) eine besondere Problematik für die Abschätzung eines zahnärztlichen Therapiebedarfs dar. Hierdurch besteht das Risiko, dass notwendige Interventionen zur Verbesserung der Mundhygiene oder konservierende Therapien nicht rechtzeitig eingeleitet werden. Daher ist ein telemedizinischer Einsatz des IOS bei pflegebedürftigen Senioren aktuell nur als zusätzliches Screening in Betracht zu ziehen, ohne die klinische Untersuchung zu ersetzen. Mögliche Auswirkungen vorhandener Plaque auf die Genauigkeit der telemedizinischen Kariesbefunde sollten in nachfolgenden Studien durch eine vorherige Zahnreinigung evaluiert werden. Um die zahnärztliche Versorgung pflegebedürftiger Senioren mithilfe telemedizinischer Ansätze zu verbessern sowie eine notwendige Akzeptanz des (zahn-)medizinischen Personals, der Patienten und Angehörigen zu ermöglichen, ergibt sich daher die Notwendigkeit von Daten aus weiteren klinischen Studien.

## 8 Literaturverzeichnis

Abduo, J. & Elseyoufi, M. (2018). Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 26(3), 101–121. [https://doi.org/10.1922/EJPRD\\_01752Abduo21](https://doi.org/10.1922/EJPRD_01752Abduo21)

Akarsu, S. & Karademir, S. A. (2018). In Vitro Comparison of ICDAS And DIAGNOdent Pen in The Diagnosis and Treatment Decisions of Non-Cavitated Occlusal Caries. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 20(3), 67–81.  
<https://doi.org/10.15517/ijds.2018.34896>

Alabdullah, J. H. & Daniel, S. J. (2018). A Systematic Review on the Validity of Teledentistry. *Telemedicine and e-Health*, 24(8), 639–648.  
<https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0132>

Amornvit, P., Rokaya, D. & Sanohkan, S. (2021). Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *BioMed Research International*, 2021, 1–10.  
<https://doi.org/10.1155/2021/2673040>

Aquilanti, L., Santarelli, A., Mascitti, M., Procaccini, M. & Rappelli, G. (2020). Dental Care Access and the Elderly: What Is the Role of Teledentistry? A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 9053.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17239053>

Aswani, K., Wankhade, S., Khalikar, A. & Deogade, S. (2020). Accuracy of an intraoral digital impression: A review. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 20(1), 27–37.  
[https://doi.org/10.4103/jips.jips\\_327\\_19](https://doi.org/10.4103/jips.jips_327_19)

Bachmann, H. & Theel, M. (Hrsg.). (2021). *Die deutschen APA-Richtlinien: Basierend auf der 7. Auflage (2019) des offiziellen APA-Publication-Manuals*. Scribbr. Zuletzt abgerufen am 02. März 2022, von <https://www.scribbr.de/zitieren/handbuch-apa-richtlinien/>



Bleiel, D., Rott, T., Scharfenberg, I., Wicht, M. J. & Barbe, A. G. (2023). Use of smartphone photos to document the oral care status of nursing home residents. *Gerodontology*, 40(2), 244–250. <https://doi.org/10.1111/ger.12650>

Blomstrand, L., Sand, L. P., Gullbrandsson, L., Eklund, B., Kildal, M. & Hirsch, J. M. (2012). Telemedicine—A Complement to Traditional Referrals in Oral Medicine. *Telemedicine and e-Health*, 18(7), 549–553. <https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0207>

Böhm Da Costa, C., da Silva Peralta, F. & Ferreira De Mello, A. L. S. (2020). How Has Teledentistry Been Applied in Public Dental Health Services? An Integrative Review. *Telemedicine and e-Health*, 26(7), 945–954. <https://doi.org/10.1089/tmj.2019.0122>

Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung [BiB]. (2004). *Bevölkerung: FAKTEN – TRENDS – URSACHEN – ERWARTUNGEN DIE WICHTIGSTEN FRAGEN* (Sonderheft der Schriftenreihe des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung, 2. überarbeitete Auflage). Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung beim Statistischen Bundesamt. Zuletzt abgerufen am 10. März 2022, von [https://www.bib.bund.de/Publikation/2004/pdf/Bevoelkerung-Fakten-Trends-Ursachen-Erwartungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bib.bund.de/Publikation/2004/pdf/Bevoelkerung-Fakten-Trends-Ursachen-Erwartungen.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

Daly, S., Seong, J., Parkinson, C. R., Newcombe, R. G., Claydon, N. C. A. & West, N. X. (2021). A proof of concept study to confirm the suitability of an intra oral scanner to record oral images for the non-invasive assessment of gingival inflammation. *Journal of Dentistry*, 105, 103579. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103579>

Daniel, S. J. & Kumar, S. (2014). Teledentistry: A Key Component in Access to Care. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 14, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2014.02.008>

Dikmen, B. (2015). Icdas II criteria (international caries detection and assessment system). *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 49(3), 63–72. <https://doi.org/10.17096/jiufd.38691>

Doi, K., Yoshiga, C., Kobatake, R., Kawagoe, M., Wakamatsu, K. & Tsuga, K. (2021). Use of an intraoral scanner to evaluate oral health. *Journal of Oral Science*, 63(3), 292–294. <https://doi.org/10.2334/josnusd.21-0048>

Estai, M., Kanagasingam, Y., Huang, B., Checker, H., Steele, L., Kruger, E. & Tennant, M. (2016). The efficacy of remote screening for dental caries by mid-level dental providers using a mobile teledentistry model. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 44(5), 435–441. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12232>

Fiedler, C., Klüsener, S. & Sulak, H. (2018). *Bevölkerung in Deutschland* (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, Hrsg.; S. 1–8, erschienen als Beilage zur Geographischen Rundschau 11/2018). Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB). Zuletzt abgerufen am 10. März 2022, von [https://www.bib.bund.de/Publikation/2018/pdf/Bevoelkerung-in-Deutschland.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bib.bund.de/Publikation/2018/pdf/Bevoelkerung-in-Deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

Fiorillo, L. (2019). Oral Health: The First Step to Well-Being. *Medicina*, 55(10), 676. <https://doi.org/10.3390/medicina55100676>

Flores, A. P. d. C., Lazaro, S. A., Molina-Bastos, C. G., Guattini, V. L. d. O., Umpierre, R. N., Gonçalves, M. R. & Carrard, V. C. (2020). Teledentistry in the diagnosis of oral lesions: A systematic review of the literature. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(7), 1166–1172. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa069>

Fournier, G., Savall, F., Galibourg, A., Gély, L., Telmon, N. & Maret, D. (2020). Three-dimensional analysis of bitemarks: A validation study using an intraoral scanner. *Forensic Science International*, 309, 110198. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110198>

Gambino, O., Lima, F., Pirrone, R., Ardizzone, E., Campisi, G. & di Fede, O. (2014). A teledentistry system for the second opinion. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2014*, 1378–1381. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943856>

Gimenez, T., Piovesan, C., Braga, M. M., Raggio, D. P., Deery, C., Ricketts, D. N., Ekstrand, K. R. & Mendes, F. M. (2015). Visual Inspection for Caries Detection: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Dental Research*, 94(7), 895–904. <https://doi.org/10.1177/0022034515586763>

Göstemeyer, G., Baker, S. R. & Schwendicke, F. (2019). Barriers and facilitators for provision of oral health care in dependent older people: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, 23, 979–993. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02812-4>

Göstemeyer, G., Riegel, M., Kharbot, B., Paris, S. & Schwendicke, F. (2020). Präsentation 13: Genauigkeit und Reliabilität intraoraler 3D Scans zur Erfassung zahnbezogener Befunde bei pflegebedürftigen Senioren. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift (DZZ) - Mitgliederzeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.*, 75(5), D23–D24. Zuletzt abgerufen am 20. November 2023, von [https://www.online-dzz.de/fileadmin/user\\_upload/media/Abstract\\_05\\_2020\\_Komplett.pdf](https://www.online-dzz.de/fileadmin/user_upload/media/Abstract_05_2020_Komplett.pdf)

Heinze, G. (2006). *Erfassung, Beschreibung und Visualisierung von medizinischen Daten* [Skriptum]. Academia. Zuletzt abgerufen am 10. Juli 2022, von [https://www.researchgate.net/profile/Georg\\_Heinze/publication/268001047\\_Erfassung\\_Beschreibung\\_und\\_Visualisierung\\_von\\_medizinischen\\_Daten/links/56d30ef508ae059e376121d8/Erfassung-Beschreibung-und-Visualisierung-von-medizinischen-Daten.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Georg_Heinze/publication/268001047_Erfassung_Beschreibung_und_Visualisierung_von_medizinischen_Daten/links/56d30ef508ae059e376121d8/Erfassung-Beschreibung-und-Visualisierung-von-medizinischen-Daten.pdf)

Irving, M., Stewart, R., Spallek, H. & Blinkhorn, A. (2018). Using teledentistry in clinical practice as an enabler to improve access to clinical care: A qualitative systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 24(3), 129–146. <https://doi.org/10.1177/1357633x16686776>

Janssen, J. & Laatz, W. (2017). *Statistische Datenanalyse mit SPSS: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests* (9., überarbeitete & erweiterte Auflage). Springer Gabler.

Jedliński, M., Mazur, M., Grocholewicz, K. & Janiszewska-Olszowska, J. (2021). 3D Scanners in Orthodontics—Current Knowledge and Future Perspectives—A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1121. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031121>

Jordan, A. R. (2016). Krankheitslasten verschieben sich ins höhere Lebensalter – DMS V im Focus: Morbiditätskompression. *Zahnärztliche Mitteilungen (zm)*, 106(22 A), 50–51.

Jordan, A. R. & Micheelis, W. (2016). Kernergebnisse aus der DMS V. In Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) (Hrsg.), *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)* (Bd. 35, S. 29–32). Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV GmbH.

Jordan, A. R., Krois, J., Schiffner, U., Micheelis, W. & Schwendicke, F. (2019). Trends in caries experience in the permanent dentition in Germany 1997–2014, and projection to 2030: Morbidity shifts in an aging society. *Scientific Reports*, 9, 5534. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41207-z>

Jordan, A. R., Stark, H., Nitschke, I., Micheelis, W. & Schwendicke, F. (2021). Epidemiological trends, predictive factors, and projection of tooth loss in Germany 1997–2030: part I. missing teeth in adults and seniors. *Clinical oral investigations*, 25(1), 67–76. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03266-9>

Kapila, Y. L. (2021). Oral health's inextricable connection to systemic health: Special populations bring to bear multimodal relationships and factors connecting periodontal disease to systemic diseases and conditions. *Periodontology 2000*, 87(1), 11–16. <https://doi.org/10.1111/prd.12398>

Kihara, H., Hatakeyama, W., Komine, F., Takafuji, K., Takahashi, T., Yokota, J., Oriso, K. & Kondo, H. (2020). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(2), 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.010>

Kopycka-Kedzierawski, D. T. & Billings, R. J. (2013). Comparative Effectiveness Study to Assess Two Examination Modalities Used to Detect Dental Caries in Preschool Urban Children. *Telemedicine and e-Health*, 19(11), 834–840.

<https://doi.org/10.1089/tmj.2013.0012>

Koseoglu, M., Kahramanoglu, E. & Akin, H. (2021). Evaluating the Effect of Ambient and Scanning Lights on the Trueness of the Intraoral Scanner. *Journal of Prosthodontics*, 30(9), 811–816. <https://doi.org/10.1111/jopr.13341>

Kramme, R. (2004). Telemedizin. In *Wörterbuch Technische Medizin* (S. 435–436). Springer-Verlag.

Kravitz, N. D., Groth, C., Jones, P. E., Graham, J. W. & Redmond, W. R. (2014). Intraoral digital scanners. *Journal of Clinical Orthodontics: JCO*, 48(6), 337–347.

Kudiyirickal, M. G. & Pappachan, J. M. (2015). Diabetes mellitus and oral health. *Endocrine*, 49(1), 27–34. <https://doi.org/10.1007/s12020-014-0496-3>

Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.

López, R., Smith, P. C., Göstemeyer, G. & Schwendicke, F. (2017). Ageing, dental caries and periodontal diseases. *Journal of Clinical Periodontology*, 44(18), 145–152.

<https://doi.org/10.1111/jcpe.12683>

MacEntee, M, Wyatt, C. C. L., Beattie, B. L., Paterson, B., Levy Milne, R., McCandless, L. & Kazanjian, A. (2007). Provision of mouth-care in long-term care facilities: an educational trial. *Community dentistry and oral epidemiology*, 35(1), 25–34.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2007.00318.x>

Mandall, N. A., O'Brien, K. D., Brady, J., Worthington, H. V. & Harvey, L. (2005). Teledentistry for screening new patient orthodontic referrals. Part 1: A randomised controlled trial. *British Dental Journal*, 199(10), 659–662.

<https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4812930>

Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G. & Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*, 17(1), 149.

<https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>

Mariño, R., Tonmukayakul, U., Manton, D., Stranieri, A. & Clarke, K. (2016). Cost-analysis of teledentistry in residential aged care facilities. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 22(6), 326–332. <https://doi.org/10.1177/1357633x15608991>

Marois, G., Muttarak, R. & Scherbov, S. (2020). Assessing the potential impact of COVID-19 on life expectancy. *PLOS ONE*, 15(9), e0238678.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238678>

Martin, C. B., Chalmers, E. V., McIntyre, G. T., Cochrane, H. & Mossey, P. A. (2015). Orthodontic scanners: what's available? *Journal of Orthodontics*, 42(2), 136–143.

<https://doi.org/10.1179/1465313315y.0000000001>

Mendel, B. F. & 3Shape Communications. (2019). *Mit der dualen Karies-Diagnostikhilfe setzt der 3Shape TRIOS 4 neue Standards in der intraoralen Scantechnologie* [Pressemeldung]. Zuletzt abgerufen am 24. März 2022, von <https://www.3shape.com/-/media/press-releases/2019/mit-der-dualen-karies-diagnostikhilfe-setzt-der-3shape-trios-4-neue-standards-de.pdf>

Michou, S., Benetti, A. R., Vannahme, C., Hermannsson, P. G., Bakhshandeh, A. & Ekstrand, K. R. (2020a). Development of a Fluorescence-Based Caries Scoring System for an Intraoral Scanner: An in vitro Study. *Caries Research*, 54(4), 324–335.

<https://doi.org/10.1159/000509925>

Michou, S., Vannahme, C., Ekstrand, K. R. & Benetti, A. R. (2020b). Detecting early erosive tooth wear using an intraoral scanner system. *Journal of Dentistry*, *100*, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103445>

Michou, S., Lambach, M. S., Ntovas, P., Benetti, A. R., Bakhshandeh, A., Rahiotis, C., Ekstrand, K. R. & Vannahme, C. (2021). Automated caries detection in vivo using a 3D intraoral scanner. *Scientific Reports*, *11*(1), 21276. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00259-w>

Michou, S., Vannahme, C., Bakhshandeh, A., Ekstrand, K. R. & Benetti, A. R. (2022). Intraoral scanner featuring transillumination for proximal caries detection. An in vitro validation study on permanent posterior teeth. *Journal of Dentistry*, *116*, 103841. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103841>

Najafipour, H., Malek Mohammadi, T., Rahim, F., Haghdoost, A. A., Shadkam, M. & Afshari, M. (2013). Association of Oral Health and Cardiovascular Disease Risk Factors “Results from a Community Based Study on 5900 Adult Subjects”. *ISRN Cardiology*, *2013*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2013/782126>

Namakian, M., Subar, P., Glassman, P., Quade, R. & Harrington, M. (2012). In-person versus "virtual" dental examination: congruence between decision-making modalities. *Journal of the California Dental Association*, *40*(7), 587–595.

Nishikawa-Pacher, A. (2022). Research Questions with PICO: A Universal Mnemonic. *Publications (Basel)*, *10*(3), 21. <https://doi.org/10.3390/publications10030021>

Nitschke, I. & Micheelis, W. (2016). Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Älteren Senioren mit Pflegebedarf. In Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) (Hrsg.), *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)* (Bd. 35, S. 557–578). Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV GmbH.

Ortiz, M. I. G., de Melo Alencar, C., de Paula, B. L. F., Magno, M. B., Maia, L. C. & Silva, C. M. (2020). Accuracy of near-infrared light transillumination (NILT) compared to bitewing radiograph for detection of interproximal caries in the permanent dentition: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 98, 103351.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103351>

Pentapati, K. C., Mishra, P., Damania, M., Narayanan, S., Sachdeva, G. & Bhalla, G. (2017). Reliability of intra-oral camera using teledentistry in screening of oral diseases – Pilot study. *The Saudi Dental Journal*, 29(2), 74–77.

<https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.03.002>

Queyroux, A., Saricassapian, B., Herzog, D., Müller, K., Herafa, I., Ducoux, D., Marin, B., Dantoine, T., Preux, P. M. & Tchalla, A. (2017). Accuracy of Teledentistry for Diagnosing Dental Pathology Using Direct Examination as a Gold Standard: Results of the Tel-e-dent Study of Older Adults Living in Nursing Homes. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(6), 528–532. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.12.082>

Rahman, N., Nathwani, S. & Kandiah, T. (2020). Teledentistry from a patient perspective during the coronavirus pandemic. *British Dental Journal*, 229(3).

<https://doi.org/10.1038/s41415-020-1919-6>

Rocca, M. A., Kudryk, V. L., Pajak, J. C. & Morris, T. (1999). The Evolution of a Teledentistry System Within the Department of Defense. In *Proceedings of the AMIA Symposium* (S. 921–924). American Medical Informatics Association.

Sangalli, L., Savoldi, F., Dalessandri, D., Bonetti, S., Gu, M., Signoroni, A. & Paganelli, C. (2021). Effects of remote digital monitoring on oral hygiene of orthodontic patients: a prospective study. *BMC Oral Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01793-9>

Sawase, T. & Kuroshima, S. (2020). The current clinical relevancy of intraoral scanners in implant dentistry. *Dental Materials Journal*, 39(1), 57–61.

<https://doi.org/10.4012/dmj.2019-285>



Schaefer, G., Pitchika, V., Litzemberger, F., Hickel, R. & Kühnisch, J. (2018). Evaluation of occlusal caries detection and assessment by visual inspection, digital bitewing radiography and near-infrared light transillumination. *Clinical Oral Investigations*, 22(7), 2431–2438. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2512-0>

Schiffner, U. (2016). Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Älteren Senioren (75- bis 100-Jährige) – Karies und Erosionen. In Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) (Hrsg.), *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)* (Bd. 35, S. 475–502). Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV GmbH.

Schlenz, M. A., Schupp, B., Schmidt, A., Wöstmann, B., Baresel, I., Krämer, N. & Schulz-Weidner, N. (2022). New Caries Diagnostic Tools in Intraoral Scanners: A Comparative In Vitro Study to Established Methods in Permanent and Primary Teeth. *Sensors*, 22(6), 2156. <https://doi.org/10.3390/s22062156>

Schwendicke, F., Krois, J., Schiffner, U., Micheelis, W. & Jordan, A. R. (2018). Root caries experience in Germany 1997 to 2014: Analysis of trends and identification of risk factors. *Journal of Dentistry*, 78, 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.08.013>

Schwendicke, F., Nitschke, I., Stark, H., Micheelis, W. & Jordan, R. A. (2020). Epidemiological trends, predictive factors, and projection of tooth loss in Germany 1997–2030: part II. Edentualism in seniors. *Clinical Oral Investigations*, 24, 3997-4003.

Sirintawat, N., Leelaratrungruang, T., Poovarodom, P., Kiattavorncharoen, S. & Amornsettachai, P. (2021). The Accuracy and Reliability of Tooth Shade Selection Using Different Instrumental Techniques: An In Vitro Study. *Sensors*, 21(22), 7490. <https://doi.org/10.3390/s21227490>

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2019, 27. Juni). *BEVÖLKERUNG IM WANDEL – Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung* [Pressemeldung]. Zuletzt abgerufen am 02. Januar 2021, von [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pressebroschuer e-bevoelkerung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pressebroschuer e-bevoelkerung.pdf?__blob=publicationFile)

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2020). *Altersaufbau der Bevölkerung 2019 - im Vergleich zu 1990* [Diagramm (Alterspyramide)]. Destatis - Statistisches Bundesamt. Zuletzt abgerufen am 01. Januar 2021, von

[https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/\\_Grafik/\\_Statisch/demografischer-wandel-altersaufbau.png?\\_\\_blob=poster](https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/_Grafik/_Statisch/demografischer-wandel-altersaufbau.png?__blob=poster)

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2021). *Lebenserwartung bei Geburt - in Jahren* [Diagramm]. Destatis - Statistisches Bundesamt. Zuletzt abgerufen am 02. Januar 2021, von

[https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Bevoelkerung/2021/\\_Statisch/20210709-sterbefaelle-lebenserwartung-deutschland.png?\\_\\_blob=poster](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Grafiken/Bevoelkerung/2021/_Statisch/20210709-sterbefaelle-lebenserwartung-deutschland.png?__blob=poster)

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2022). *Sterbefälle und Lebenserwartung: Entwicklung der Lebenserwartung in Deutschland - seit 1871/1881*. Destatis - Statistisches Bundesamt. Zuletzt abgerufen am 01. Juli 2023, von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/sterbetafel.html>

Steinmeier, S., Wiedemeier, D., Hämmerle, C. H. F. & Mühlemann, S. (2020). Accuracy of remote diagnoses using intraoral scans captured in approximate true color: a pilot and validation study in teledentistry. *BMC Oral Health*, 20(1), 266.

<https://doi.org/10.1186/s12903-020-01255-8>

Suese, K. (2020). Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dental Materials Journal*, 39(1), 52–56. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-224>

Sürme, K., Kara, N. B. & Yilmaz, Y. (2020). *In Vitro* Evaluation of Occlusal Caries Detection Methods in Primary and Permanent Teeth: A Comparison of CarieScan PRO, DIAGNOdent Pen, and DIAGNOcam Methods. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 38(2), 105–111. <https://doi.org/10.1089/photob.2019.4686>

Tassoker, M., Ozcan, S. & Karabekiroglu, S. (2019). Occlusal Caries Detection and Diagnosis Using Visual ICDAS Criteria, Laser Fluorescence Measurements, and Near-Infrared Light Transillumination Images. *Medical Principles and Practice*, 29(1), 25–31. <https://doi.org/10.1159/000501257>

Tonetti, M. S., Bottenberg, P., Conrads, G., Eickholz, P., Heasman, P., Huysmans, M.-C., López, R., Madianos, P., Müller, F., Needleman, I., Nyvad, B., Preshaw, P. M., Pretty, I., Renvert, S., Schwendicke, F., Trombelli, L., van der Putten, G.-J., Vanobbergen, J., West, N., Young, A. & Paris, S. (2017). Dental caries and periodontal diseases in the ageing population: call to action to protect and enhance oral health and well-being as an essential component of healthy ageing – Consensus report of group 4 of the joint EFP/ORCA workshop on the boundaries between caries and periodontal diseases. *Journal of Clinical Periodontology*, 44(18), 135–144. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12681>

Torres-Pereira, C. C., Morosini, I. D. A. C., Possebon, R. S., Giovanini, A. F., Bortoluzzi, M. C., Leão, J. C. & Piazzetta, C. M. (2013). Teledentistry: Distant Diagnosis of Oral Disease Using E-Mails. *Telemedicine and e-Health*, 19(2), 117–121. <https://doi.org/10.1089/tmj.2012.0087>

Travassos Da Rosa Moreira Bastos, R., Teixeira Da Silva, P. & Normando, D. (2021). Reliability of qualitative occlusal tooth wear evaluation using an intraoral scanner: A pilot study. *PLOS ONE*, 16(3), e0249119. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249119>

Weiß, C. (2019). *Basiswissen Medizinische Statistik* (7., vollständig überarbeitete Auflage). Springer.

Winkler, J. & Gkantidis, N. (2020). Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58075-7>

World Health Organization (WHO). (2005). *CONSTITUTION OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION*. WHO - World Health Organization. Zuletzt abgerufen am 9. Januar 2021, von <https://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf>

Zimmermann, M. (2017). *Am Zahn der Zeit: Digitale dentale Diagnostik mit Intraoralscannern*. ZWP online. Zuletzt abgerufen am 21. Juni 2022, von <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/digitale-zahnmedizin/grundlagen/am-zahn-der-zeit-digitale-dentale-diagnostik-mit-intraoralscannern>

Zimmermann, M., Mehl, A., Mörmann, W. H. & Reich, S. (2015). Intraoral scanning systems - a current overview. *International journal of computerized dentistry*, 18(2), 101–129.

3Shape A/S. (2022). *3Shape TRIOS MOVE - Das flexible Setup für Ihren TRIOS*. 3Shape. Zuletzt abgerufen am 24. März 2022, von <https://www.3shape.com/de/trios-move>

3Shape [3Shape Training Videos]. (2020, 27. Oktober). *3Shape TRIOS Scan Strategy Full Arch* [Video]. YouTube. Zuletzt abgerufen am 26. März 2022, von <https://www.youtube.com/watch?v=IGzf9qkztMo&feature=youtu.be>

## 9 Anhang

### 9.1 Studieninformation



CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

CharitéCentrum 3 | CBF | Alßmannshäuser Straße 4-6 | 14197 Berlin  
Leiter: Prof. Dr. Sebastian Paris



Abt. Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Leiter der Studie:  
Oberarzt PD Dr. Falk Schwendicke

Studienverantwortlicher  
Dr. Gerd Göstemeyer

Tel.: (+49) 30 450 562 328  
Fax: (+49) 30 450 562 932  
E-Mail: gerd.goestemeyer@charite.de

30.07.19

## Studieninformation

### “TAILOHR”

**Entwicklung, Evaluation und Implementierung eines Interventionspaketes zur  
Verbesserung der Mundgesundheit älterer Patienten in der Langzeitpflege**

(Tailoring, evaluating and implementing an intervention for improving oral health of  
elderly residents of long-term care facilities)

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

hiermit möchten wir ihnen die Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie anbieten. Die Studie wird durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der abteilungsübergreifenden Arbeitsgruppe Alterszahnmedizin (Leiter PD Dr. Falk Schwendicke) der Charité-Universitätsmedizin Berlin, in den Räumlichkeiten Ihrer Pflegeeinrichtung durchgeführt.

### **Zweck der Studie**

Die Mundgesundheit bei älteren, pflegebedürftigen Patientinnen und Patienten ist häufig nicht in vollem Maße zufriedenstellend. Dies kann schwerwiegende Folgen haben: neben Einschränkungen in der Lebensqualität, können Defizite bei der Mundgesundheit zu einem erhöhten Risiko für die Entstehung von potenziell lebensbedrohlichen Lungenentzündungen und/oder zu Mangelernährung führen. Die Hauptgründe für diese Situation sind zum einen eine reduzierte Effektivität von selbst oder durch das Pflegepersonal durchgeführten Mundhygienemaßnahmen. Zum anderen ist der Zugang zu einer regelmäßigen Kontrolle und Behandlung durch zahnmedizinisches Fachpersonal im Alter oft erschwert.

Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist es, ein Interventionspaket zu entwickeln, durch das die Mundgesundheit von pflegebedürftigen, älteren Patientinnen und Patienten nachhaltig verbessert werden kann. Hierzu sollen unter anderem (Mund)gesundheitsbezogene Daten bei Pflegeheimbewohnerinnen und -bewohnern der Wohn- und Pflegezentrum Havelland GmbH erfasst werden. Im Einzelnen werden folgende Daten erhoben:

Durch Befragung:

- Genereller Gesundheitszustand und eingenommene Medikamente
- Bildungsgrad und Mundpflegeverhalten
- Allgemeine Lebensqualität und Mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität
- Selbst wahrgenommene Mundtrockenheit und selbst wahrgenommene Einschränkungen beim Essen

Durch Untersuchung:

- Zustand der Zähne, des Zahnfleisches und ggf. des Zahnersatzes erfasst durch eine klinische Untersuchung und über einen Digitalscan
- Klinische Anzeichen von Mundtrockenheit
- Funktionelle Einschränkungen, die die Durchführung von Mundhygienemaßnahmen und/oder die zahnmedizinische Betreuung erschweren
- Kaufunktionstest

Mit Hilfe dieser Daten soll erfasst werden, welche Mundgesundheitsbezogenen Probleme bestehen und in welchem Ausmaß diese die Kaufunktion und die Lebensqualität der untersuchten Patientinnen und Patienten einschränken. Durch Befragungen von verschiedenen am Pflegeprozess beteiligten Personen soll zudem untersucht werden, welche Hürden bei der Durchführung von Prozessen, die der Mundgesundheit der Pflegeheimbewohner dienen, im Pflegealltag bestehen. Anhand dieser Daten soll unter

Miteinbeziehung verschiedener Experten ((Alters-)Zahnmediziner, Geriater, Pflegewissenschaftler, Psychologen, Implementierungsforscher) ein im Pflegealltag umsetzbares Interventionspaket zur Verbesserung der Mundgesundheit entwickelt werden.

#### **Ablauf und Dauer der Teilnahme**

Die Erhebung der Daten (Befragung und Untersuchung) dauert etwa 1 Stunde und findet an einem einmaligen Termin in Ihrem Pflegeheim statt. Falls gewünscht kann die Datenerhebung auch auf mehrere, entsprechend kürzere Termine verteilt werden.

#### **Mögliche Risiken**

Keine bekannt.

#### **Nutzen und Nachteile**

Durch die Untersuchung erhalten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie umfassende Informationen über ihre Mundgesundheit. Gegebenenfalls hier festgestellte Probleme können Sie für eine entsprechende Behandlung an Ihre behandelnden Zahnärztinnen und Zahnärzte weitergeben. Weiterhin leisten Sie durch Ihre Teilnahme einen wertvollen Beitrag für die klinische Forschung zur Verbesserung der Mundgesundheit bei älteren, pflegebedürftigen Patientinnen und Patienten.

Für die Untersuchung benötigen wir in etwa 1 Stunde Ihrer Zeit. Weitere potenzielle Nachteile entstehen für Sie nicht.

#### **Versicherungsschutz**

Für diese Studie wurde keine spezielle Versicherung für die Patienten abgeschlossen. Im Rahmen der Studie werden keine Interventionen getestet, sondern lediglich Untersuchungen und Befragungen durchgeführt. Die an der Studie beteiligten Mitarbeiter/-innen der Charité sind durch eine Betriebshaftpflichtversicherung gegen Haftungsansprüche, welche aus ihrem schuldhaften Verhalten resultieren könnten, versichert.

#### **Informationen zum Datenschutz**

Die Daten, die im Rahmen Ihrer Studienteilnahme erhoben werden, unterliegen den gesetzlichen Regelungen zur ärztlichen Schweigepflicht und dem Datenschutzrecht und diese werden eingehalten. Die Daten werden ausschließlich zu Zwecken dieser Studie verwendet.

Die für die Studie wichtigen Daten werden in pseudonymisierter Form gespeichert und ausgewertet.



*Pseudonymisierung ist die Verarbeitung personenbezogener Daten in einer Weise, dass die personenbezogenen Daten ohne Hinzuziehung zusätzlicher Informationen nicht mehr einer spezifischen betroffenen Person zugeordnet werden können. Diese zusätzlichen Informationen werden dabei gesondert aufbewahrt und unterliegen technischen und organisatorischen Maßnahmen, die gewährleisten, dass die personenbezogenen Daten nicht einer identifizierten oder identifizierbaren natürlichen Person zugewiesen werden.*

*Durch Ihre Unterschrift auf der Einwilligungserklärung erklären Sie sich damit einverstanden, dass die Studienärzte/-innen und deren Mitarbeiter/-innen Ihre personenbezogenen Daten zum Zweck der o. g. Studie erheben und verarbeiten dürfen. Personenbezogene Daten sind z. B. Ihr Name, Geburtsdatum, Anschrift und Ihre Studiendaten die während der Teilnahme an der Studie zweckgebunden erhoben wurden.*

Auf den Pseudonymisierungsschlüssel haben nur der Studienleiter oder von ihm autorisierte Personen Zugriff.

Die Daten sind gegen unbefugten Zugriff gesichert. Eine Repseudonymisierung erfolgt nur soweit es aus Gründen, die in der Studiendurchführung liegen, zwingend notwendig ist bzw. wenn Sie Ihre Studienteilnahme widerrufen.

Sobald es nach dem Forschungs- oder Statistikzweck möglich ist, werden die personenbezogenen Daten anonymisiert.

*Anonymisierung ist das Verändern personenbezogener Daten in der Weise, dass die betroffene Person nicht mehr oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Kosten- oder Zeitaufwand identifiziert werden kann. Bitte beachten Sie, dass eine Löschung der Daten nach einer Anonymisierung nicht mehr möglich ist.*

Die während der Studie erhobenen Daten werden nach Studienabschluss für 10 Jahre aufbewahrt und danach datenschutzgerecht vernichtet.

Die Daten werden ausschließlich zu Zwecken dieser Studie verwendet. Sie haben das Recht, vom Verantwortlichen für die Datenverarbeitung bzw. seinem Vertreter Auskunft über die von Ihnen gespeicherten personenbezogenen Daten zu verlangen. Ebenfalls



können Sie die Berichtigung unzutreffender Daten sowie die Löschung der Daten oder die Einschränkung der Verarbeitung der Daten verlangen.

Im Einzelnen stehen Ihnen folgende Rechte zu:

- **Recht auf Auskunft, Art. 15 DS-GVO**  
Sie haben das Recht auf Auskunft über die Sie betreffenden gespeicherten personenbezogenen Daten.
- **Recht auf Berichtigung, Art. 16 DS-GVO**  
Wenn Sie feststellen, dass unrichtige Daten zu Ihrer Person verarbeitet werden, können Sie Berichtigung verlangen. Unvollständige Daten müssen unter Berücksichtigung des Zwecks der Verarbeitung vervollständigt werden.
- **Recht auf Löschung, Art. 17 DS-GVO**  
Sie haben das Recht, die Löschung Ihrer Daten zu verlangen, wenn bestimmte Löschründe vorliegen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn diese zu dem Zweck, zu dem sie ursprünglich erhoben oder verarbeitet wurden, nicht mehr erforderlich sind.
- **Recht auf Einschränkung der Verarbeitung, Art. 18 DS-GVO**  
Sie haben das Recht auf Einschränkung der Verarbeitung Ihrer Daten. Dies bedeutet, dass Ihre Daten zwar nicht gelöscht, aber gekennzeichnet werden, um ihre weitere Verarbeitung oder Nutzung einzuschränken.
- **Recht auf Widerspruch gegen unzumutbare Datenverarbeitung, Art. 21 DS-GVO**  
Sie haben grundsätzlich ein allgemeines Widerspruchsrecht auch gegen rechtmäßige Datenverarbeitungen, die im öffentlichen Interesse liegen, in Ausübung öffentlicher Gewalt oder aufgrund des berechtigten Interesses einer Stelle erfolgen.

Der Verantwortliche für die studienbedingte Erhebung personenbezogener Daten ist:

Dr. Gerd Göstemeyer  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Aßmannshäuser Str. 4-6  
14197 Berlin  
E-Mail: [gerd.goestemeyer@charite.de](mailto:gerd.goestemeyer@charite.de)  
Tel.: +49 30 450 562 328

Sollte der Verantwortliche für die studienbedingte Erhebung personenbezogener Daten Ihnen nicht weiterhelfen können, haben Sie die Möglichkeit auch mit der Stabsstelle Datenschutz der Charité Kontakt aufzunehmen (Tel.: +49 30 450 580 016 oder E-Mail: [datenschutz@charite.de](mailto:datenschutz@charite.de)).

Unabhängig davon, dass es Ihnen auch freisteht, gerichtliche Hilfe in Anspruch zu nehmen, haben Sie das Recht auf Beschwerde bei einer Aufsichtsbehörde, wenn Sie der Ansicht sind, dass die Verarbeitung Ihrer Daten datenschutzrechtlich nicht zulässig ist. Hierzu können Sie sich beispielsweise an folgende Behörde wenden:

Berliner Beauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit  
Friedrichstraße 219, 10969 Berlin  
E-Mail: [mailbox@datenschutz-berlin.de](mailto:mailbox@datenschutz-berlin.de)  
Tel.: +49 30 13889-0

### **Freiwilligkeit/Rücktritt**

Die Teilnahme an der Studie erfolgt freiwillig. Falls Sie teilnehmen wollen, bitten wir Sie, die beiliegende Einwilligungserklärung zu unterschreiben. Sie können diese Einwilligungserklärung jederzeit schriftlich oder mündlich ohne Angabe von Gründen widerrufen, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen. Bei einem Widerruf wenden Sie sich bitte an die Studienleitung oder das Sie behandelnde Personal. Bei einem Widerruf können Sie entscheiden, ob die von Ihnen studienbedingt erhobenen Daten gelöscht werden sollen oder weiterhin für die Zwecke der Studie verwendet werden dürfen. Beachten Sie, dass Daten, die bereits in wissenschaftliche Auswertungen eingeflossen sind oder Daten, die bereits anonymisiert wurden, nicht mehr auf Ihren Wunsch gelöscht / vernichtet werden können.

**Kurzfristige Information:**

---

---

**Sonstige Fragen:**

---

---

Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an:

Dr. Gerd Göstemeyer  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Aßmannshäuser Str. 4-6  
14197 Berlin  
Deutschland  
gerd.goestemeyer@charite.de  
+49 30 450 562 328

**Unterschrift des Studienleiters**

---

(PD Dr. Falk Schwendicke)

## 9.2 Einverständniserklärung Patienten



CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

CharitéCentrum 3 | CBF | Alßmannshäuser Straße 4-6 | 14197 Berlin



Abt. Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
Leiter: Univ.-Prof. Dr. Sebastian Paris

Studienleiter  
Oberarzt PD Dr. Falk Schwendicke

Studienverantwortlicher  
Dr. Gerd Göstemeyer

Tel. 00 49 (0) 30 450 562328  
Fax 00 49 (0) 30 450 562932  
E-Mail: gerd.goestemeyer@charite.de

7. Oktober 2023

### Einwilligungserklärung

für die Teilnahme an der Studie:

#### “TAILOHR”

#### Entwicklung, Evaluation und Implementierung eines Interventionspaketes zur Verbesserung der Mundgesundheit älterer Patienten in der Langzeitpflege

(Tailoring, evaluating and implementing an intervention for improving oral health of elderly  
residents of long-term care facilities)

Hiermit erkläre ich

.....  
Vorname                      Name                      Geburtsdatum

dass ich durch Herrn/Frau .....  
(Name des Studienarztes / der Studienärztin)

mündlich und schriftlich über die wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen der o.g. Studie informiert wurde und ausreichend Gelegenheit hatte, meine Fragen mit dem Studienarzt/der Studienärztin zu klären.

Mir wurde verbindlich zugesichert, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne nachteilige Folgen für mich zurückziehen und einer Weiterverarbeitung meiner Daten widersprechen und ihre Vernichtung verlangen kann.

Ich habe eine Kopie der schriftlichen Studieninformation und der Einwilligungserklärung mit Versions-Datum 30.07.2019 erhalten.

**Ich erkläre, dass ich freiwillig bereit bin, an der wissenschaftlichen Studie teilzunehmen.**

**Ich erkläre mich damit einverstanden,**

- 1. dass meine für den Zweck der o.g. Studie nötigen personenbezogenen Daten durch die Studienärztin erhoben und pseudonymisiert aufgezeichnet und verarbeitet werden, auch auf elektronischen Datenträgern;**
- 2. dass die Studienergebnisse in anonymer Form, die keinen Rückschluss auf meine Person zulässt, veröffentlicht werden**
- 3. dass mein(e) zuständige(r) Zahnärztin/Zahnarzt über meine erhobenen intraoralen Befunde informiert wird.**

Berlin, den

.....  
Unterschrift des/der Teilnehmers/in

---

**Hiermit erkläre ich, den/die Teilnehmer/in am ..... über Wesen, Bedeutung und Risiken der o.g. Studie mündlich und schriftlich aufgeklärt, alle Fragen beantwortet und ihm/ihr eine Kopie der Studieninformation und der Einwilligungserklärung übergeben habe.**

Berlin, den

.....  
Name                                  Unterschrift des aufklärenden Studienarztes

### 9.3 Einverständniserklärung Betreuungsbevollmächtigte



CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

CharitéCentrum 3 | CBF | Alßmannshäuser Straße 4-6 | 14197 Berlin



Abt. Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
Leiter: Univ.-Prof. Dr. Sebastian Paris

Studienleiter  
Oberarzt PD Dr. Falk Schwendicke

Studienverantwortlicher  
Dr. Gerd Göstemeyer

Tel. 00 49 (0) 30 450 562328  
Fax 00 49 (0) 30 450 562932  
E-Mail: gerd.goestemeyer@charite.de

7. Oktober 2023

## Einwilligungserklärung

für die Teilnahme an der Studie:

### “TAILOHR”

**Entwicklung, Evaluation und Implementierung eines Interventionspaketes zur  
Verbesserung der Mundgesundheit älterer Patienten in der Langzeitpflege**

(Tailoring, evaluating and implementing an intervention for improving oral health of elderly residents of long-term care facilities)

Hiermit erkläre ich

.....  
Vorname                      Name                      Geburtsdatum

in meiner Funktion als gesetzliche(r) Betreuungsbevollmächtigte (r) für

.....  
Vorname                      Name                      Geburtsdatum

dass ich durch Herrn/Frau .....  
(Name des Studienarztes / der Studienärztin)

mündlich und schriftlich über die wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen der o.g. Studie informiert wurde und ausreichend Gelegenheit hatte, meine Fragen mit dem Studienarzt bzw. der Studienärztin zu klären.



Mir wurde verbindlich zugesichert, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne nachteilige Folgen für mich bzw. die oben genannte Person unter meiner Betreuung zurückziehen und einer Weiterverarbeitung der erhobenen Daten widersprechen und ihre Vernichtung verlangen kann.

Ich habe eine Kopie der schriftlichen Studieninformation und der Einwilligungserklärung mit Versions-Datum 30.07.2019 erhalten.

**Ich erkläre, dass ich im Namen der oben genannten unter meiner Betreuung stehenden Person, mein Einverständnis gebe, an der wissenschaftlichen Studie teilzunehmen.**

**Ich erkläre mich damit einverstanden,**

**1. dass die für den Zweck der o.g. Studie nötigen personenbezogenen Daten durch die Studienärztin erhoben und pseudonymisiert aufgezeichnet und verarbeitet werden, auch auf elektronischen Datenträgern;**

**2. dass die Studienergebnisse in anonymer Form, die keinen Rückschluss auf meine Person zulässt, veröffentlicht werden**

**3. dass der für der/die für die unter meiner Betreuung stehende Person zuständige Zahnärztin/Zahnarzt über den erhobenen intraoralen Befunde informiert wird.**

Berlin, den

.....  
Unterschrift des/der Betreuungsbevollmächtigten des/der Teilnehmers/in

---

**Hiermit erkläre ich, den/die Betreuungsbevollmächtigte(n) des/der Teilnehmers/in am .....** über Wesen, Bedeutung und Risiken der o.g. Studie mündlich und schriftlich aufgeklärt, alle Fragen beantwortet und ihm/ihr eine Kopie der Studieninformation und der Einwilligungserklärung übergeben habe.

Berlin, den

.....  
Name                      Unterschrift des aufklärenden Studienarztes

## 9.4 Befundbogen

# Untersuchung

## Befund (OK)

D (Karies), M (fehlend), F (gefüllt), W (0=keine Kavitation, 1=Kavitation<0,5 mm, 2=Kavitation>0,5 mm), GDI-S (nur bukkal erhoben; 0=keine Beläge, 1=weiche Beläge ≤1/3 der Bukkalfläche oder Vorhandensein intrinsischer Verfärbungen (unabhängig von Flächengröße), 2=weiche Beläge >1/3 bis ≤2/3 der Bukkalfläche, 3=weiche Beläge >2/3 der Bukkalfläche), BG (Brückenglied), K (Krone), H (herausnehmbar ersetzter Zahn), I (Implantat), PSI (Parodontaler Screening Index), MSH (Mundschleimhautbefund: pathologische Auffälligkeiten notieren)

Zahn	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
Karies																
Fehlt																
Füllung																
W (0-2)																
GDI (0-3)																
K																
BG																
H																
I																
PSI																
MSH																

# Untersuchung

## Befund (UK)

D (Karies), M (fehlend), F (gefüllt), W (0=keine Kavitation, 1=Kavitation<0,5 mm, 2=Kavitation>0,5 mm), GDI-S (nur bukkal erhoben; 0=keine Beläge, 1=weiche Beläge ≤1/3 der Bukkalfläche oder Vorhandensein intrinsischer Verfärbungen (unabhängig von Flächengröße), 2=weiche Beläge >1/3 bis ≤2/3 der Bukkalfläche, 3=weiche Beläge >2/3 der Bukkalfläche), BG (Brückenglied), K (Krone), H (herausnehmbar ersetzter Zahn), I (Implantat), PSI (Parodontaler Screening Index), MSH (Mundschleimhautbefund: pathologische Auffälligkeiten notieren)

Zahn	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
Karies																
Fehlt																
Füllung																
W (0-2)																
GDI (0-3)																
K																
BG																
H																
I																
PSI																
MSH																



## 10 Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Maike Marisa Riegel, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *„Klinische Anwendung eines intraoralen 3D-Scanners zur dentalen Befunderhebung bei pflegebedürftigen Senioren - Clinical application of an intraoral 3D-scanner for dental assessment regarding elderly people in need of care“* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

## 11 Anteilserklärung an erfolgten Publikationen

Maike Marisa Riegel hatte folgenden Anteil an der nachfolgenden Publikation:

Göstemeyer, G., Riegel, M., Kharbot, B., Paris, S. & Schwendicke, F. (2020). Präsentation 13: Genauigkeit und Reliabilität intraoraler 3D Scans zur Erfassung zahnbezogener Befunde bei pflegebedürftigen Senioren. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift (DZZ) - Mitgliederzeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.*, 75(5), D23–D24.

Datenerhebung mit klinischer Untersuchung (visuell-taktile Diagnostik) und Anfertigung der intraoralen 3D-Scans als Grundlage der telemedizinischen Befunderhebung (inkl. der exemplarischen Abbildungen in der Präsentation bzw. dem Poster) sowie die Dokumentation aller erhobenen Befunde. Aufgrund des gewählten Zeitabstandes im Studiendesign waren zum Zeitpunkt der Publikation noch nicht alle Befunde erhoben. Nach Abschluss der Befunderhebungen erfolgte daher für die vorliegende Dissertation eine erneute statistische Auswertung aller erhobenen Daten durch die Promovierende. Die in der Publikation vorgestellten Teilergebnisse weichen dementsprechend von denen in der vorliegenden Dissertation ab.

---

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

---

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

## **12 Lebenslauf**

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

## 13 Vollständige Publikationsliste

Göstemeyer, G., Riegel, M., Kharbot, B., Paris, S. & Schwendicke, F. (2020). Präsentation 13: Genauigkeit und Reliabilität intraoraler 3D Scans zur Erfassung zahnbezogener Befunde bei pflegebedürftigen Senioren. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift (DZZ) - Mitgliederzeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.*, 75(5), D23–D24. Zuletzt abgerufen am 20. November 2023, von [https://www.online-dzz.de/fileadmin/user\\_upload/media/Abstract\\_05\\_2020\\_Komplett.pdf](https://www.online-dzz.de/fileadmin/user_upload/media/Abstract_05_2020_Komplett.pdf)

## 14 Danksagungen

Meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Gerd Göstemeyer danke ich vielmals für das Vertrauen und die Möglichkeit, diese spannende Fragestellung bearbeiten zu können. Während dieser Zeit hatte er stets ein offenes Ohr für meine Fragen und Ideen. Seine vertrauensvolle Unterstützung und Begleitung haben mir auf diesem Weg viel bedeutet.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Falk Schwendicke für seine Unterstützung und die Betreuung meiner Promotionsarbeit bedanken. Als Projektleiter hat er zudem das TAILOHR-Projekt erst möglich gemacht und damit die Grundlage für diese Untersuchungen geschaffen.

Ein großer Dank gilt zudem Herrn Dr. Basel Kharbot, der sich viel Zeit für eine telemedizinische Befunderhebung genommen hat. Dadurch hat er entscheidend zur Erarbeitung und Umsetzung dieser Promotionsarbeit beigetragen.

Weiter möchte ich Herrn Prof. Dr. Sebastian Paris als Leiter der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventivzahnmedizin sowie als wissenschaftlicher Centrumsleiter des CC3 danken. Mit seinem Engagement für die wissenschaftliche Forschung ermöglicht er die Realisierung von Projekten wie diesem.

Auch bei Herrn Dr. Joachim Krois, Frau Julia Gassner und Frau Theresa Laukamp bedanke ich mich vielmals für ihre Mitarbeit an diesem Projekt und für ihre gesamte Unterstützung.

Für die vielen Stunden, in denen wir zusammen gelacht, Probleme gelöst und uns gegenseitig Halt gegeben haben, geht ein großes Dankeschön an Frau Sarina Rolle und Herrn Georg Stolzenberger.

Ein besonderer Dank gilt nicht zuletzt meiner gesamten Familie: meinen Eltern Iris und Andreas, Birte und Nick, meinen Großeltern, Erik und Maiky sowie insbesondere Okke. Danke, dass ihr immer an mich geglaubt, mich liebevoll unterstützt und begleitet habt.

## 15 Bescheinigung Statistik



Charité | Orale Diagnostik, Digitale Zahnheilkunde und Versorgungsforschung  
Charité CC03 | A&Mannhauser Str. 4-6 | 14197 Berlin

**Name, Vorname:** Riegel, Maike

**Emailadresse:** maike.riegel@charite.de

**Matrikelnummer:** 223240

**PromotionsbetreuerIn:** PD Dr. Gerd Göstemeyer

**Promotionsinstitution / Klinik:** Charité Zahnklinik

### Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau *Maike Riegel* bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 15.12.2019
- Termin 2: 08.06.2020

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Erfassung der Zielparame<sup>ter</sup>
- Ermitteln der interexaminären und intraexaminären Reproduzierbarkeit
- Erstellen der ROC-Kurven

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 19.10.20      Name des Beraters/ der Beraterin: Prof. Falk Schwendicke

\_\_\_\_\_  
Unterschrift BeraterIn, Institutsstempel

CHARITÉ –  
UNIVERSITÄTSMEDIZIN  
BERLIN

Körperschaft des öffentlichen Rechts  
Gliederkörperschaft der Freien Universität  
Berlin, der Humboldt-Universität  
zu Berlin und des Berliner Instituts  
für Gesundheitsforschung

Charitéplatz 1 | 10117 Berlin  
Telefon +49 30 450 50  
www.charite.de

Berlin, 01.10.20

ABTEILUNG FÜR ORAL  
DIAGNOSTIK, DIGITALE  
ZAHNHEILKUNDE UND  
VERSORGUNGSFORSCHUNG

DIREKTOR  
Prof. Dr. Falk Schwendicke

A&Mannhauser Str. 4-6  
14197 Berlin

Telefon +49 30 450 662556  
Fax +49 30 450 7562556  
falk.schwendicke@charite.de  
www.charite.de



GUTES-TUN.CHARITE.DE