

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische
Operationen
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Drei Jahrzehnte Implantate eines Herstellers in einer Praxis – retrospektive Analyse
zu Überleben, Knochenabbau und periimplantären Parametern

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Carolin Misseri
aus Münster

Mainz, 2026

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Dr. P. Kämmerer

2. Gutachter: Prof. Dr. K. M. Lehmann

Tag der Promotion: 05. August 2026

Nachnutzungslizenz:

Namensnennung, keine Bearbeitung (CC-BY-ND-4.0)

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
1. Einleitung / Ziel der Dissertation	1
2. Literaturdiskussion	3
2.1 Implantateinheilung und Implantatoberflächen.....	3
2.1.1 TPS (Titan-Plasma-Spray).....	4
2.1.2 SLA®.....	5
2.1.3 SLActive®	5
2.2 Einfluss von patient*innenabhängigen und periimplantären Faktoren.....	5
2.3 Prothetische Einflussfaktoren.....	10
3. Material und Methoden	11
3.1 Studiendesign	11
3.1.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	12
3.2 Patient*innendaten	13
3.2.1 Alter / Geschlecht / Nikotinkonsum	13
3.2.2 Allgemeinerkrankungen	14
3.2.3 Parodontale Erkrankung und Recall-Intervall.....	15
3.3 Implantatbezogene Daten	16
3.3.1 Implantatdesign.....	16
3.3.2 Implantationsregion.....	20
3.3.3 Verweildauer der Implantate / Explantationen	22
3.3.4 Augmentative Verfahren	24
3.4 Periimplantäre Parameter	26
3.4.1 Entzündungszeichen (Bleeding on Probing / Suppuration)	26
3.4.2 Sondierungstiefen (mesial / distal).....	27
3.4.3 Gingivale Rezessionen und fixierte Gingiva.....	31
3.4.4 Röntgenlogischer Knochenabbau	32
3.5 Prothetische Versorgung.....	35
3.5.1 Klassifikation des prothetischen Befundes.....	35
3.5.2 Art der prothetischen Versorgung und Befestigung der Suprakonstruktionen	36
3.5.3 Prothetische Komplikationen.....	37

3.6 Statistische Methoden.....	38
4. Ergebnisse.....	41
4.1 Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit	41
4.2 Hypothesenprüfung.....	55
4.2.1 Haupthypothese	55
4.2.2 Explorative Hypothesen	57
4.3 Implantatverluste vs. Implantate in situ unter Berücksichtigung klinischer und implantatbezogener Parameter	74
5. Diskussion	76
5.1 Studiendesign	76
5.2 Hypothesenauswertung.....	76
5.2.1 Haupthypothese	77
5.2.2 Explorative Hypothesen	79
5.3 Patientenbezogene Daten	84
5.4 Implantatbezogene und periimplantäre Daten.....	86
5.5 Prothetik	87
5.6 Überlebensrate und Risiken für Implantatverlust.....	89
5.7 Schlussfolgerung zur deskriptiven Statistik.....	90
6. Zusammenfassung.....	90
7. Literaturverzeichnis	94
8. Anhang	111
9. Danksagung.....	122
10. Tabellarischer Lebenslauf.....	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flowchart der Auswahlkriterien	13
Abbildung 2: Deskriptive Statistik, Auflistung der Allgemein-Erkrankungen bezogen auf die Implantatanzahl in situ.....	15
Abbildung 3: Deskriptive Statistik, Verteilung der Prophylaxe-Intervalle bezogen auf die Implantatzahl	16
Abbildung 4: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantatdurchmesser bezogen auf die Implantatzahl	19
Abbildung 5: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantatlängen bezogen auf die Implantatzahl.....	20
Abbildung 6: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate im Oberkiefer aufgeteilt auf die Regio	21
Abbildung 7: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate im Unterkiefer aufgeteilt auf die Regio	22
Abbildung 8: Deskriptive Statistik, mesial gemessene Sondierungstiefen in Millimetern an den Implantaten BL und TL	28
Abbildung 9: Deskriptive Statistik, distal gemessene Sondierungstiefen in Millimetern an den Implantaten BL und TL	30
Abbildung 10: Deskriptive Statistik, Vergleich der distal und mesial gemessenen Sondierungstiefen in Millimetern bei BL- und TL-Implantaten.....	30
Abbildung 11: Deskriptive Statistik, Verteilung der vorhandenen Rezessionen mit Millimeter-Angabe bezogen auf die Implantatzahl.....	32
Abbildung 12: Deskriptive Statistik, jeweilige Anzahl der Implantate mit röntgenologischem Knochenabbau in Millimetern	34
Abbildung 13: Kaplan-Meier-Überlebenswahrscheinlichkeit	41
Abbildung 14: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Alters der Patient*innen.....	42
Abbildung 15: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Nikotinstatus der Patient*innen	44
Abbildung 16: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der parodontalen Vorerkrankung der Patient*innen	45
Abbildung 17: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Geschlechts der Patient*innen	46
Abbildung 18: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Bone-Level-Implantatsystems.....	47

Abbildung 19: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Tissue-Level-Implantatsystems.....	48
Abbildung 20: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Implantatdurchmessers	49
Abbildung 21: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der Implantatlänge.....	51
Abbildung 22: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Recall-Verhaltens	53
Abbildung 23: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der Kieferregion	54
Abbildung 24: Geschätzter röntgenologischer Knochenabbau an BL- vs. TL-Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	57
Abbildung 25: Geschätzte Taschentiefen mesial in mm bei TL RN-S, RN-SP und WN-S, WN-SP Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall.....	59
Abbildung 26: Geschätzte Taschentiefen distal in mm bei Tissue-Level RN und WN Standard und Standard Plus Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	60
Abbildung 27: Geschätzte mesiale Taschentiefen in mm bei Bone-Level und Tissue-Level Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	62
Abbildung 28: Geschätzte distale Taschentiefen in mm bei Bone-Level und Tissue-Level Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	63
Abbildung 29: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für eine Rezession für TL- vs. BL-Implantate, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kredibilitätsintervall	65
Abbildung 30: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für fixierte Gingiva, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kredibilitätsintervall.....	66
Abbildung 31: Geschätzter Knochenabbau innerhalb der Bone-Level Implantatreihe bezogen auf die Kiefer, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	68
Abbildung 32: Geschätzter Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level Implantaten (Typ RC und NC), Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	69
Abbildung 33: Geschätzter Knochenabbau bei Tissue-Level Standard vs. Standard Plus, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall	71
Abbildung 34: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für Blutungen BL- vs. TL-Implantate, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kredibilitätsintervall	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistik, Altersverteilung auf Implantat- und Patient*innenebene	14
Tabelle 2: Deskriptive Statistik, Recall-Intervall in Monaten bezogen auf Implantat- und Patient*innenebene	16
Tabelle 3: Deskriptive Statistik, Anzahl der BL-Implantate auf Implantat- und Patient*innenebene	18
Tabelle 4: Deskriptive Statistik, Anzahl der TL-Implantate auf Implantat- und Patient*innenebene	18
Tabelle 5: Übersicht über das Implantatsystem mit den unterschiedlichen Implantattypen Tissue-Level und Bone-Level.....	19
Tabelle 6: Deskriptive Statistik, Aufteilung der Implantate auf die Kiefer auf Implantat- und Patient*innenebene	20
Tabelle 7: Deskriptive Statistik, Verweildauer der Implantate	22
Tabelle 8: Deskriptive Statistik, tabellarische Darstellungen der Implantatverluste auf Patient*innen- und Implantatebene	24
Tabelle 9: Deskriptive Statistik, Anzahl der Augmentationen auf Implantatebene	25
Tabelle 10: Deskriptive Statistik, Anzahl der Sinuslift-Operationen auf Implantatebene.....	25
Tabelle 11: Deskriptive Statistik, Aufteilung der Häufigkeit der unterschiedlichen Augmentationsmaterialien und deren prozentuale Verteilung bezogen auf die Implantatzahl	26
Tabelle 12: Deskriptive Statistik, Anzahl der Blutungen bei Sondieren bezogen auf das Implantatsystem BL vs. TL	26
Tabelle 13: Deskriptive Statistik, Anzahl der Suppuration bezogen auf das Implantatsystem BL vs. TL	27
Tabelle 14: Deskriptive Statistik, Anzahl der Suppuration bezogen auf das TL-Implantatsystem	27
Tabelle 15: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) unabhängig vom Implantat-Typ	28
Tabelle 16: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) an Tissue-Level Implantaten	29
Tabelle 17: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) bei Bone-Level-Implantaten	29
Tabelle 18: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) unabhängig vom Implantat-Typ	30
Tabelle 19: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) an Tissue-Level Implantaten	31
Tabelle 20: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) bei Bone-Level-Implantaten	31

Tabelle 21: Deskriptive Statistik, fixierte Gingiva an TL-Implantaten bezogen auf Standard und Standard Plus.....	32
Tabelle 22: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) unabhängig vom Implantattyp.....	33
Tabelle 23: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) an Tissue-Level Implantaten.....	34
Tabelle 24: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level	35
Tabelle 25: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level bezogen auf die Kiefer	35
Tabelle 26: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate bezogen auf den prothetischen Befund auf Implantat- und Patient*innenebene	36
Tabelle 27: Tabellarische Übersicht über die Art der prothetischen Versorgung (festsitzend / herausnehmbar).....	36
Tabelle 28: Deskriptive Statistik, Verteilung der Häufigkeiten verwendeter prothetischer Versorgung der Implantate mit prozentualem Anteil bezogen auf Implantat- und Patient*innenebene	37
Tabelle 29: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von fünf Jahren	42
Tabelle 30: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Alter von > 60 Jahren	43
Tabelle 31: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Alter zwischen 30-60 Jahren	43
Tabelle 32: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Patient*innen ohne Nikotinkonsum und mit Nikotinkonsum	44
Tabelle 33: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Patient*innen ohne und mit parodontaler Erkrankung	45
Tabelle 34: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Frauen und Männern.....	46
Tabelle 35: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei RC- und NC-Bone-Level-Implantaten.....	47
Tabelle 36: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei RN-S- und RN-SP-TL-Implantaten	48
Tabelle 37: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei WN-S- und WN-SP-TL-Implantaten	49
Tabelle 38: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 3,3 mm	50

Tabelle 39: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 4,1 mm	50
Tabelle 40: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 4,8 mm	50
Tabelle 41: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 6-8 mm.....	51
Tabelle 42: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 10-12 mm.....	52
Tabelle 43: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 14-16 mm.....	52
Tabelle 44: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Recall-Intervall von 12-24 Monaten.....	53
Tabelle 45: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Recall-Intervall von 3-6 Monaten.....	54
Tabelle 46: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren ohne Recall-Intervall.....	54
Tabelle 47: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bezogen auf die Kiefer	55
Tabelle 48: Robustes LMM Knochenabbau BL-Implantate vs. TL-Implantate	56
Tabelle 49: Robustes LMM Taschentiefe mesial Tissue-Level-Implantate	58
Tabelle 50: Robustes LMM Taschentiefe mesial Tissue-Level-Implantate	60
Tabelle 51: Robustes LMM Taschentiefe mesial BL-Implantate vs. TL-Implantate	61
Tabelle 52: Robustes LMM, distale Taschentiefen BL-Implantate vs. TL-Implantate	63
Tabelle 53: Binär logistische Regression, Rezessionen TL-Implantat vs. Bone-Level-Implantat	64
Tabelle 54: Binär logistische Regression, fixierte Gingiva TL-Implantat S/SP	66
Tabelle 55: Robustes LMM Knochenabbau Bone-Level Implantate bezogen auf die Kiefer	67
Tabelle 56: Robustes LMM Knochenabbau Bone-Level Implantate bezogen auf NC und RC	69
Tabelle 57: Robustes LMM Knochenabbau Tissue-Level Implantate (S vs. SP).....	70
Tabelle 58: Ergebnis des Post-hoc-Tests mit p-Werten für Tissue-Level-Implantate	70
Tabelle 59: Binär logistische Regression, BOP BL vs. TL.....	72
Tabelle 60: Binär logistische Regression, Pus BL vs. TL	73
Tabelle 61: Binär logistische Regression, Pus TL (RNS, RNSP, WNS, WNSP).....	74
Tabelle 62: Deskriptive Statistik und p-Werte, tabellarischer Vergleich der Implantate in situ und der Explantation hinsichtlich patient*innen- und implantatspezifischer Risikofaktoren für Implantatverlust.....	76

1. Einleitung / Ziel der Dissertation

Zahnverlust ist multifaktoriell und kann einzelne oder auch mehrere Zähne betreffen. Die häufigste Ursache in der zweiten Lebenshälfte stellt die parodontale Erkrankung, eine chronische Entzündung des Zahnhalteapparats dar (Bruckmann et al., 2006). Ist ein Zahn verloren, stellt sich die Frage des Zahnersatzes. Mit dieser Fragestellung befassten sich bereits die Mayas circa 600 nach Christus, indem sie Muschelschalen als Zahnersatz in Extraktionsalveolen einbrachten (Gross et al., 2021). Anfang des 19. Jahrhunderts stellte Giuseppangelo Fonzi künstliche Keramikzähne her, die dann mit metallischen Stiften verschmolzen wurden und zur intraradikulären Retention zur Wiederherstellung des Gebisses dienten (Arango Santander et al., 2010). Frühe Berichte beschreiben das Einsetzen eines Implantatröhrchens aus Gold in eine frische Extraktionsstelle (Gupta et al., 2025). Erst 1965 wurden durch P.-L. Brånemark die ersten Titan-Implantate in einem zahnlosen Kiefer verwendet (Li and Brånemark, 2017). Aufgrund der nachgewiesenen entstandenen Verbindung von lebenden Knochenzellen und der Titanoberfläche entstand der Begriff der Osseointegration (Li and Brånemark, 2017). Als anfänglich verwendete enossale Implantate prägte Leonard Linkow als amerikanischer Zahnarzt in den 1960er Jahren den Begriff der Blattimplantate, ursprünglich für extrem flache Kieferkämme mit Verlust der bukkalen / labialen Knochenplatte entwickelt (Linkow et al., 2016). Allerdings sind die in der horizontalen Dimension sehr schmalen Implantate aufgrund fehlender Stabilität bei ungünstiger Belastung stark bruchgefährdet. Nach Angaben des Herstellers führte die Firma Straumann® (Basel, Schweiz) im Jahr 1974 erstmals ein einzeitiges Hohlzylinderimplantat aus Titan ein und legte damit den Grundstein für das heutige Implantatsystem. Mittlerweile gibt es schätzungsweise ungefähr 25 Implantathersteller mit > 100 unterschiedlichen Implantatsystemen (Oshida et al., 2010). Die stetige Weiterentwicklung der Implantatformen (Gewinde, Hohlzylinder, schraubenförmig, konisch, zylindrisch usw.) können seitens der Behandlerin, des Behandlers eine wissenschaftlich fundierte Entscheidung erschweren. Daher soll diese Arbeit die zukünftige Entscheidungsfindung bezüglich der Wahl geeigneter Implantatsysteme unterstützen. Aufbauend auf diese Entwicklungen befasst sich die vorliegende Dissertation mit dem Langzeiterfolg von Implantaten eines einzelnen Implantatherstellers (Straumann, Basel, Schweiz) über einen Untersuchungszeitraum von ca. 30 Jahren hinsichtlich periimplantärer Parameter. Der Fokus lag dabei auf der Analyse der Unterschiede innerhalb eines einzelnen Implantatsystems unter alltäglichen Praxisbedingungen. Dabei wurde der Einfluss des Implantatdesigns (Tissue-Level vs. Bone-Level), die unterschiedlichen Halspartien bei Tissue-Level-Implantaten (Standard vs. Standard Plus) und Implantatvarianten (RN, WN, RC, NC), klinische Parameter, wie zum Beispiel Sondierungstiefe, Rezessionen, Blutung auf Sondieren und Pus, als auch röntgenologischer Knochenabbau in Abhängigkeit von

patient*innenbezogenen Faktoren (u.a. Alter, Geschlecht, Nikotinkonsum) und der prothetischen Versorgung der Implantate analysiert. Ziel dabei war es die Implantate auf Langlebigkeit zu untersuchen und Einflussfaktoren unter alltäglichen Behandlungsbedingungen zu ermitteln. Dabei war zu prüfen, welches Implantatsystem (BL / TL) sich im Praxisalltag langfristig bewähren kann und welche Risikofaktoren dabei eine Rolle spielen. Implantatverluste sollten dabei auf unterschiedliche Risikokonstellationen geprüft und die Überlebenswahrscheinlichkeiten durch Kaplan-Meier-Analysen ermittelt werden. Obwohl die meisten Studien von guten klinischen Ergebnissen für verschiedene Implantatsysteme berichteten, gingen wenige davon über einen Untersuchungszeitraum von 20 Jahren hinaus. Viele dieser Studien belaufen sich auf Beobachtungen der Überlebensraten bis zu 10 Jahren (Moraschini et al., 2015, Howe et al., 2019, Kupka et al., 2024). Entscheidend für die Bewertung der Langlebigkeit der Implantate ist ein langer Beobachtungszeitraum. Daher leistet diese Arbeit mit einem Nachuntersuchungszeitraum von ca. 30 Jahren, trotz des retrospektiven Studiendesigns und methodischer Einschränkungen, einen wichtigen Beitrag um Langzeitergebnisse unter realen Praxisbedingungen zu veranschaulichen und bietet eine unmittelbare Relevanz für den Alltag niedergelassener Zahnärzt*innen. Um die Forschungsfragen zu beantworten wurden in der vorliegenden Arbeit folgende zehn Hypothesen geprüft. Dabei wurde eine primäre Hypothese definiert und neun weitere explorative Hypothesen zur Identifikation weiterer Risikofaktoren untersucht.

Primäre Hypothese

- Weisen Bone-Level-Implantate im Vergleich zu Tissue-Level-Implantaten einen geringeren röntgenologischen Knochenabbau auf? **(H1)**

Explorative Hypothesen

- Weisen Standard-Implantate höhere Sondierungstiefen auf, als Standard-Plus Implantate? **(H2)**
- Ist bei TL-Implantaten die Sondierungstiefe (mesial / distal) geringer als bei BL-Implantaten? **(H3)**
- Liegen bei TL-Implantaten höhere Rezessionen vor als bei BL-Implantaten? **(H4)**
- Liegt bei TL-WN-Implantaten (S / SP) häufiger fixierte Gingiva vor als bei TL-RN-Implantaten (S / SP)? **(H5)**
- Weisen BL-Implantaten im Oberkiefer einen signifikant höheren Knochenverlust als im Unterkiefer auf? **(H6)**
- Haben BL-Implantate vom Typ NC einen höheren Knochenverlust als vom Typ RC? **(H7)**
- Zeigen die Standard Plus-Varianten (RN & WN) generell weniger Knochenverlust als die Standard-Implantate (RN & WN)? **(H8)**

- Zeigen BL-Implantate häufiger BOP und Pus als TL-Implantate? (H9)
- Ist die Inzidenz von Pus bei Standard-Implantaten höher als bei Standard-Plus-Implantaten? (H10)

2. Literaturdiskussion

2.1 Implantateinheilung und Implantatoberflächen

Eine erfolgreiche Implantateinheilung setzt eine Osseointegration voraus. Unter Osseointegration versteht man den unmittelbaren Verbund zwischen vitalem Knochengewebe und der Implantatoberfläche ohne interponiertes Bindegewebe. Damit es zu einer Osseointegration kommen kann, ist eine biokompatible Oberfläche des Implantates notwendig. Die Implantatstabilität nach Insertion setzt sich aus der Primär- und Sekundärstabilität zusammen. Dabei kommt es im Laufe der Zeit zu einem Umbau der Primärstabilität in die sekundäre. Ein entscheidender Faktor für eine Osseointegration stellte die Oberfläche der Implantate dar, wobei eine Mikrorauheit das Verhalten der knochenbildenden Zellen an der Grenzfläche zwischen Knochen und Implantat beeinflussen kann (Dehghanpour and Rouhi, 2025). Eine andere, ältere Studie zeigte ebenfalls einen direkten Zusammenhang der Oberflächenbeschaffenheit und der initialen Gewebereaktion. Dabei zeigten sich bessere Ergebnisse bei der Zellanheftung, Anheftungsstärke, der Zellproliferation und Synthese von Proteinen der Osteoblasten bei mikrostrukturierten Oberflächen (Fillies et al., 2005). Für eine ausreichende Primärstabilität nehmen nicht nur die Oberflächenbeschaffenheit, sondern auch die Knochendichte und Operationstechnik eine entscheidende Rolle ein (Tabassum et al., 2009). Dabei ist die Höhe des Drehmoments bei Implantatinserterion um eine ausreichende Primärstabilität zu erhalten nicht klar definiert (Greenstein and Cavallaro, 2017). Vielmehr ist das verwendete Drehmoment vom Implantatsystem und den unterschiedlichen Implantatformen abhängig (Staedt et al., 2017). Für die hier verwendete Implantatreihe wird laut Herstellerangaben ein Eindrehmoment bei Implantatinserterion von ≥ 35 Ncm empfohlen (Straumann, 2024). Bezogen auf die Implantatüberlebensrate zeigte eine Metaanalyse allerdings keinen signifikanten Zusammenhang zwischen hohem (≥ 50 Ncm), normalem und niedrigem (< 50 Ncm) Drehmoment (Lemos et al., 2021). Um ein stabiles Implantat und einen notwendigen Knochen-Implantat-Kontakt (BIC = Bone Implant Contact) zu erreichen ist die Aufrechterhaltung einer ausreichenden Knochenmasse und -dichte wichtig (Pai et al., 2018). Studien, die sich mit der Grenzfläche zwischen Implantat und Knochen auseinandergesetzt haben, zeigten schon früh einen Zusammenhang der Oberflächenbeschaffenheit und Modifikation des Implantats mit der Osseointegration (Puleo und Nanci, 1999). Nach Implantatinserterion entsteht zunächst ein Weich- und Hartgewebetrauma. Es kommt zu Fibrinanlagerungen und der Gefäßneubildung,

der Neoangiogenese. Knochenneubildung wird dabei unterschieden in Distanzosteogenese und Kontaktosteogenese. Die Distanzosteogenese beschreibt die Hartgewebsneubildung ausgehend vom Lagerknochen zur Implantatoberfläche, die Kontaktosteogenese die Knochenneubildung ausgehend von der Implantatoberfläche zum Lagerknochen (Davies, 2003). Die Sekundärstabilität entsteht im weiteren Verlauf der Wundheilungsphase durch beide Formen der Osteogenese. Anders als bei der primären Stabilität, bei der Knochenqualitäten, Implantatdurchmesser und Insertionstorque (IT) durchaus eine Rolle spielen, scheinen diese bei der sekundären Stabilität nur eine geringe Rolle einzunehmen (Gómez-Polo et al., 2016). Bei geringem natürlichem Knochenangebot kann durch Augmentation oder Sinuslift-Operation ein vorhandener Defekt ausgeglichen werden. Durch eine Membran, im Rahmen der gesteuerten Knochenregeneration (GBR), kann zusätzlich das Einwandern von Epithel- und Bindegewebszellen in den augmentierten Defekt verhindert werden. Die volumenstabile Defektfüllung in Verbindung mit einer zelldichten Abdeckung und der Stabilisierung des Blutkoagels ermöglicht den osteokonduktiven Prozess. Das Knochenersatzmaterial dient dabei als Gerüst für osteogene Zellen und fördert die osteoblastische Differenzierung (Tapety et al., 2004).

In der Geschichte der Entwicklung der Implantate ist eine kontinuierliche Optimierung der Oberflächentopografie zu erkennen. Durch Beschichtung, Sandstrahlen und Säureätzung der Oberflächen ergab sich ein Vorteil bei der Verankerung im Knochen und ein größerer Knochen-Implantat-Kontakt gegenüber glatten Strukturen (Cochran, 2000). Im weiteren Verlauf werden die einzelnen Modifikationen der Implantatoberflächen näher beschrieben. Der Einfluss der verschiedenen Oberflächen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate zeigt sich anhand von unterschiedlichen Studien. Dabei wird eine geringe Überlebensrate von 88 % bei TPS-Implantaten nach 23,5 Jahren ermittelt (Becker et al., 2016), wohingegen Implantate mit einer SLA-Oberfläche nach 10 Jahren noch eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 99,7 % aufwiesen (van Velzen et al., 2015).

2.1.1 TPS (Titan-Plasma-Spray)

Bei diesem additiven Verfahren wird eine Plasmaschicht aus Titan im flüssigen Zustand auf die Implantatoberfläche aufgesprüht. Durch den Abkühlungsvorgang entsteht ein unebenes Muster, wodurch die Oberfläche vergrößert wird. Die Einführung einer rauen Oberfläche ermöglichte unter bestimmten klinischen Bedingungen die Verwendung kürzerer Implantate (6-8 mm) sowie eine Verkürzung der Einheilzeit auf etwa drei Monate (Buser et al., 2000). Die plasmagesprühten Titanimplantate mit großer Körnung wiesen allerdings nur eine mittlere Knochen-Implantat-Grenzfläche auf, wobei ein größerer Knochenkontakt bei sandgestrahlten und säurebehandelten Oberflächen erzielt werden konnte (Buser et al., 1991).

2.1.2 SLA®

SLA steht für „Sand-blasted, Large-grit, Acid-etched“. Dabei handelt es sich zunächst um eine sandgestrahlte Titanoberfläche, wodurch eine Makrorauheit entsteht. Anschließend wird durch eine Säureätzung die Oberfläche so abgetragen, dass eine Mikrorauheit entsteht. Anders als bei dem Titan-Plasma-Spray Verfahren handelt es sich bei der SLA-Technik um ein subtraktives Verfahren. Mit dieser 1998 und 1999 entwickelten Oberflächenbeschaffenheit konnte die Einheilzeit bis zur Implantatbelastung halbiert werden (Scacchi et al., 2000). Ein Vergleich der Überlebensraten von Implantaten, die mit SLA- bzw. TPS-Oberflächen versehen waren, zeigte eine bessere Prognose der SLA-Oberfläche auf (De Boever et al., 2009).

2.1.3 SLActive®

Bei SLActive-Oberflächen, entsteht eine chemische Aktivität der Implantatoberfläche durch zusätzliche Nachbehandlung durch Spülen unter Stickstoff und anschließende Lagerung in Kochsalzlösung zum Schutz vor Luft und Atmosphäre (Wennerberg et al., 2011). Dabei entsteht eine hydrophile Nanostruktur. Ist eine Oberfläche hydrophil spricht man von einem Kontaktwinkel $> 0^\circ$ und $< 90^\circ$. Je kleiner der Winkel, desto höher ist die Benetzbarkeit des Festkörpers mit einer Flüssigkeit. Bei der SLActive-Modifikation besteht ein anfänglicher Kontaktwinkel von 0° im Vergleich zur hydrophoben Oberfläche des SLA-Systems von etwa 140° (Rupp et al., 2006). Dieses Prinzip wird bei der temporären Hydrophilie der SLActive-Oberfläche genutzt, indem es eine Stabilisierung des Blutkoagulums im Wundbereich ermöglicht (Schwarz et al., 2007). Das Blut kann durch die hydrophile Eigenschaft der Implantatoberfläche diese besser benetzen und somit nicht nur die Wundheilung, sondern auch die Osseointegration fördern (Rupp et al., 2018).

2.2 Einfluss von patient*innenabhängigen und periimplantären Faktoren

Alter / Geschlecht

Implantationen bei noch nicht abgeschlossenem Knochenwachstum können zu Positionsänderungen der Implantate führen (Elagib et al., 2023). Im adoleszenten Alter kann es aufgrund einer frühzeitigen Insertion von dentalen Implantaten zu Infrapositionen sowie ästhetischen und funktionellen Einbußen kommen (Kearns et al., 1999). Ebenso kann es durch dislozierte Implantate zu Okklusionsstörungen kommen (Khan et al., 2025). Ursächlich hierfür ist eine ankylotische Einheilung des Implantates in einen Kiefer mit noch stattfindendem Knochenwachstum und die fehlende Vorhersagbarkeit der vertikalen Knochenentwicklung. Unabhängig vom Alter erhalten Faktoren wie körperliche und kognitive Fähigkeiten sowie der gesundheitliche Zustand der Patient*innen besondere Gewichtung. Die Fähigkeit zu einer

adäquaten Hygiene an den Implantaten hängt von der manuellen Geschicklichkeit ab, die durch bestimmte Erkrankungen eingeschränkt sein kann, wie zum Beispiel Morbus Parkinson oder Erkrankungen des rheumatoiden Formenkreises. Diese Komorbiditäten können mit der Höhe des Alters zunehmen (Schimmel et al., 2017). Eine Kohortenstudie zeigte ebenfalls Zusammenhänge von Implantatverlusten und einem jüngeren Alter. Dabei war der Zusammenhang zu frühem Implantatversagen für das jüngere Alter und Risiken für ein spätes Implantatversagen bei älteren Patient*innen zu sehen (Staedt et al., 2020). Ein weiterer Zusammenhang für den frühen Implantatverlust konnte durch eine aktuelle retrospektive Studie zwischen einem jungen Alter, dem männlichen Geschlecht und gleichzeitigem Nikotinkonsum dargestellt werden (Nyland et al., 2024). Das Risiko eines Implantatverlustes bezogen auf das Geschlecht ist laut einer aktuellen deskriptiven Studie aus dem Jahr 2025 bei Männern signifikant höher als bei Frauen (Tobias et al., 2025). Eine ältere finnische Studie zeigte ebenfalls eine höhere Verlustrate bei Männern (3,1 %) als bei Frauen (2,3 %) innerhalb eines Untersuchungszeitraums von 18 Jahren (Antalain et al., 2013).

Gesundheitliche Risikofaktoren

Für den Langzeiterfolg spielen nicht nur das Knochenangebot, die Qualität des Knochens oder die Oberflächenbeschaffenheit der Implantate eine Rolle. Durch Abschätzung des Risikoprofils durch anamnestische Untersuchungen der Patient*innen, lassen sich im Vorfeld Risiken bei der Einheilung und Primärstabilität minimieren. Dazu gehören allgemeine Erkrankungen wie zum Beispiel Diabetes mellitus, Autoimmunerkrankungen und Osteoporose (Heimes et al., 2023).

a) Diabetes mellitus

Eine Vergleichsarbeit zwischen Nicht-Diabetikern und Diabetikern vom Typ II zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Implantatstabilität nach Insertion in der Frühphase nach 3 Monaten für Implantate mit einem geringen Durchmesser (Diehl et al., 2022). Ebenso konnten auch nach einem Jahr unter Belastung der Implantate keine Komplikationen im Vergleich zwischen normo- und glykämischen Patient*innen berichtet werden (Friedmann et al., 2021). Eine systemische Literaturrecherche, die sich mit dem Thema Zahnimplantate bei Patient*innen mit Diabetes mellitus beschäftigte, zeigte zwar langfristig höhere Verlustraten und häufigeres Auftreten von Periimplantitis bei schlecht eingestelltem glykämischen Status, was aber unter Einhaltung bestimmter Kautelen keine Kontraindikation darstellte (Wagner et al., 2022). Trotz der teilweise ausreichenden Ergebnisse hinsichtlich der Implantatstabilität bei schlecht eingestelltem Diabetes mellitus sollte aufgrund der Korrelation zwischen der Stoffwechselerkrankung und dem Schweregrad einer Periimplantitis oder Parodontitis auf eine

Einstellung des Blutzuckerwertes und Kontrolle der Mundhygiene nicht verzichtet werden (Enteghad et al., 2024).

b) Antiresorptiva

Viele Allgemeinerkrankungen können die Chirurgin oder den Chirurgen vor Herausforderungen stellen. Dasselbe gilt für Patient*innen unter Immunsuppression oder knochenstabilisierender Therapie mit Bisphosphonaten oder Denosumab. Unter Bisphosphonattherapie besteht ein um 65,3 % höheres Risiko für ein Implantatversagen im Vergleich zu einem nicht medikamentös kompromittierten Kollektiv (Sulaiman et al., 2023). Dabei wird davon ausgegangen, dass eine medikamentenassoziierte Kieferosteonekrose die Hauptursache für ein Implantatversagen darstellt, wobei eine Periimplantitis als Auslöser diskutiert wird (Li and Leung, 2024). Andere Studien zeigen wiederum keinen Zusammenhang zwischen der Einnahme von antiresorptiven Medikamenten und einem höheren Risiko für Implantatversagen (Ali et al., 2025; Otto et al., 2023). Aufgrund der kontroversen Datenlage ist eine umfangreiche und gründliche anamnestische Untersuchung und individuelle Risikoeinschätzung daher vor jeder Implantation unbedingt erforderlich, wie in der aktuellen S3-Leitlinie der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) „Antiresorptiva-assoziierte Kiefernekrosen (AR-ONJ)“ beschrieben wird (DGZMK, 2018).

c) Strahlentherapie

Der langfristige Erfolg von Implantaten kann durch systemische Begleiterkrankungen beeinflusst werden. Dabei zeigten sich je nach Art der Grunderkrankung unterschiedliche Auswirkungen auf die Langlebigkeit der Implantate. Eine Studie mit einer Studienpopulation im Alter von ≥ 75 Jahren zeigte zum Beispiel eine hohe Implantatüberlebensrate bei Patient*innen mit Herz-Kreislauf-Erkrankung, Diabetes Typ II und Parkinson auf, wohingegen Patient*innen mit einer Krebserkrankung die strahlentherapiert wurde, eine geringe Überlebensrate der Implantate zeigten (Schimmel et al., 2018). Den negativen Einfluss einer Strahlentherapie auf die Überlebensrate der Implantate bestätigt auch eine aktuelle Untersuchung aus dem Jahr 2022. Insbesondere stellte eine Radiatio im Kopf-Hals-Bereich ein erhöhtes Risiko für ein Implantatversagen dar, vor allem in Kombination mit Augmentationen (Schiegnitz et al., 2022).

d) Immunsuppression

Laut der aktuellen S3-Leitlinie der DGZMK "Dentale Implantate bei Patienten mit Immundefizienz" liegen für Patient*innen mit bestehender Immunsuppression (HIV, Chemotherapie bei unterschiedlichen Krebserkrankungen oder Sjögren-Syndrom) keine ausreichenden Evidenzen vor, die auf eine signifikant erhöhte Verlustrate im Vergleich zu

Patient*innen ohne Immundefizienz hinweisen und daher eine individuelle Risikoeinschätzung notwendig ist (DGZMK, 2019).

e) Osteoporose

Ebenso konnte bei Patient*innen mit einer Osteoporose-Erkrankung durch eine systematische Übersichtsarbeit und Metaanalyse zwar kein signifikanter Unterschied in der Überlebensrate der Implantate im Vergleich zu Patient*innen ohne Osteoporose festgestellt werden, allerdings war diese mit einem erhöhten Knochenverlust assoziiert (Lemos et al., 2023). Generell stellte Osteoporose keine Kontraindikation für das Inserieren von Zahnimplantaten dar, es sollte jedoch eine sorgfältige und individuelle Planung erfolgen (Shibli et al., 2025).

Nikotinkonsum

Laut einer durch das Robert-Koch-Institut (RKI) durchgeführten Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell“ (GEDA 2019/2020 – EHIS) bezüglich des Rauchverhaltens und der Passivrauchbelastung Erwachsener rauchen 24 % der Frauen und 33,9 % der Männer ab 18 Jahren, wobei ab 65 Jahren, unabhängig vom Geschlecht, die Frequenz abnahm (Starker et al., 2022). Nikotinabusus hat viele negative Effekte auf den Zustand der oralen Hart- und Weichgewebe, bedingt durch die Vielzahl der enthaltenen Stoffe mit kanzerogener und zelltoxischer Wirkung. So kommt es unter anderem zu einem signifikanten Verlust des parodontalen Attachments, der mit erhöhter Dosis und Dauer des Konsums ansteigt. Zusätzlich steigt das relative Risiko für Knochenabbau um das 2- bis 3,5-fache (Geisel, 2011). Bei Raucher*innen konnte außerdem eine schmalere keratinisierte Schleimhaut und ein höheres Risiko für periimplantäre Erkrankungen festgestellt werden (Şahin, 2023). Bezogen auf das Implantatüberleben hat der Konsum von Nikotin insbesondere bei höherer Dosis, negativen Einfluss und stellt ein signifikant höheres Risiko für Implantatverlust dar (Stiller et al., 2024).

Parodontal- und periimplantäre Risikofaktoren

Laut der DGParo (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie) ist die Parodontitis eine der häufigsten chronischen Erkrankungen weltweit und Schätzungen zufolge sind circa zehn Millionen Menschen in Deutschland an einer schweren Parodontitis erkrankt. Die sechste deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS 6, April 2025) zeigt eine hohe Parodontitis-Prävalenz bei jüngeren Erwachsenen (35- bis 44-Jährige) von 17,5 %, Seniorinnen und Senioren (65- bis 74-Jährige) von 52,7 % für das Stadium III und IV (Eickholz et al., 2025). Parodontitis ist eine entzündliche Erkrankung des Zahnhalteapparates ausgelöst durch eine mikrobielle Fehlbesiedlung. Anders als bei einer Zahnfleischentzündung, also der Gingivitis, sind bei der Parodontitis der Alveolarknochen, das Desmodont (= Wurzelhaut), der Wurzelzement und das

Zahnfleisch betroffen. Ein Unterschied zwischen der Periimplantitis und der Parodontitis besteht in der Anatomie des Faserapparates. Der natürliche Zahn hat einen Desmodontalspalt in dem Fasern, Blutgefäße und Nerven Geflechte verlaufen. Aufgrund der Osseointegration fehlt dieser Spalt an einem Implantat und die umliegenden Fasern weisen einen anderen Verlauf auf (Deschner and Hagner, 2023). Weitere Aspekte die in der Literatur diskutiert werden sind Unterschiede auf mikrobiologischer Ebene und eine mögliche Fremdkörperreaktion am Implantat, die einen Knochenverlust verursachen kann (Wiegrefe und Güntsch, 2018). Eine bakterielle Besiedlung kann allerdings nicht nur am natürlichen Zahn auftreten, sondern auch an der Implantatoberfläche entstehen (Laugisch et al., 2011). Man spricht von einer periimplantären Mukositis, wenn lediglich das periimplantäre Weichgewebe entzündet ist, also wenn Blutungen, Suppuration, Rötung oder Schwellung ohne zusätzlichen röntgenologischen Knochenverlust vorliegen. Ist in dieser Kombination auch der umliegende Knochen betroffen und eine Zunahme der Sondierungstiefen nachweisbar, spricht man von einer Periimplantitis (Renvert et al., 2018). Dabei geht man von Sondierungswerten ≥ 6 mm und Knochenverlust von ≥ 3 mm aus (Deschner and Hagner, 2023). Höhere Anfälligkeiten für eine Mukositis und Periimplantitis zeigte eine prospektive Langzeit-Kohortenstudie bei Patient*innen mit einer behandelten generalisierten aggressiven Parodontitis (Swierkot et al., 2012). Bezogen auf den Implantaterfolg zeigt sich, dass eine der häufigsten (Spät-) Komplikationen die periimplantäre Entzündung bei Patient*innen mit früherer Parodontitis darstellt (Stein and Kämmerer, 2020). Dabei ist entscheidend den Unterschied zwischen frühem Knochenverlust nach Insertion und einer echten Periimplantitis als Spätkomplikation hervorzuheben (Albrektsson et al., 2017). Neben einer parodontalen Vorerkrankung stellen viele weitere Faktoren, wie Rauchen, geringer Restzahnbestand (< 16 Zähne), Implantatfehlstellung, Plaque, Brückenkonstruktion gegenüber Einzelkronen und Trauma als Ursache des Zahnverlustes gegenüber Karies, ein erhöhtes Risiko für eine Periimplantitis dar (Romandini et al., 2021). Eine präimplantologische Risikoeinschätzung und Behandlung zum Zweck der Keimreduktion beim Vorliegen einer parodontalen Erkrankung ist daher besonders wichtig.

Mundhygiene und Nachsorge

Laut der Empfehlung der EFP (European Federation of Periodontology) S3-Leitlinie „Treatment of Stage I-III Periodontitis“ sollte ein Nachsorgezeitraum von 3 bis maximal 12 Monaten nicht überschritten werden und auf die vorliegende parodontale Erkrankung und das individuelle Risikoprofil angepasst sein (Sanz et al., 2020). Bei mittelschwerer bis fortgeschrittener Parodontitis empfiehlt ein Review-Artikel ein Recall-Intervall von 2-4 Monaten (Trombelli et al., 2020). Daher sollten Patient*innen mit einem hohen Risikoprofil engmaschiger kontrolliert und kürzere Intervalle gewählt werden. Bei adäquater Mundhygiene

und geringen Risikofaktoren der Patient*innen können längere Intervalle von 6 bis 12 Monaten (halbjährlich, jährlich) sinnvoll sein. Außerdem konnte gezeigt werden, dass bei Patient*innen ab einem Alter von 60 Jahren und Vorliegen eines Diabetes mellitus das Risiko, eine Periimplantitis zu entwickeln durch die Teilnahme an professioneller Prophylaxe um 20 % sank (Rekawek et al., 2021). Zu diesem Ergebnis kam auch eine systematische Übersichtsarbeit, die sich mit der Wirksamkeit und Frequenz der unterstützenden Erhaltungstherapie bei Patient*innen mit bereits therapierter Periimplantitis beschäftigte. Es zeigte sich, dass es durch eine regelmäßige Nachsorge bei Patient*innen mit bereits behandelter Periimplantitis zu einer Stabilisierung des periimplantären Gewebes kam. Allerdings konnte kein genauer Rückschluss auf die Häufigkeit der Prävention und damit kein genaues Behandlungsprotokoll angenommen werden (Stiesch et al., 2023). Ebenso findet sich kein Einheitsintervall für die optimale Behandlung der periimplantären Mukositis (Armitage and Xenoudi, 2016).

Periimplantäre gingivale Verhältnisse

Die fixierte Gingiva übernimmt mehrere Funktionen. Zum einen bildet sie eine widerstandsfähige Barriere gegen das Eindringen von Keimen und schützt so das Weichgewebe vor Infektionen. Zum anderen stabilisiert und schützt sie das Weichgewebe vor mechanischen Reizen und verringert dadurch das Risiko einer Rezessionsbildung. Sie trägt darüber hinaus auch zum ästhetischen Erscheinungsbild bei. Ein ausreichend breites Band fixierter periimplantärer Gingiva ist besonders essentiell für den dauerhaften Erhalt des Implantates und des umliegenden Gewebes (Grischke et al., 2019). Zwar zeigten systematische Übersichten multiple Auswirkungen einer reduzierten Breite der keratinisierten periimplantären Gingiva, wie zum Beispiel erhöhte Biofilmbildung, Weichgewebsentzündungen und Rezessionen, definierten dabei aber keine klare Mindestbreite (Sanz et al., 2022). Eine neuere Studie empfiehlt jedoch, u.a. aufgrund von reduziertem Risiko für Plaque-Akkumulation, BOP und Knochenverlust, eine Breite der fixierten Gingiva von ≥ 2 mm (Zhang et al., 2025).

2.3 Prothetische Einflussfaktoren

Implantatgetragene Prothetik

Der Wunsch nach feststehendem Zahnersatz und eine möglichst naturgetreue Nachahmung der Ausgangssituation stehen für einige Patient*innen an oberster Stelle. Das Zusammenspiel von Funktionalität und Ästhetik sowie eine optimale Reinigungsfähigkeit ist für eine zufriedenstellende Versorgung zu berücksichtigen. Grundsätzlich umfasst die Implantatprothetik ein breites Versorgungsspektrum. Dabei kann grundlegend in feststehenden (wie z.B. Einzelkronen, Brückenkonstruktionen) und herausnehmbaren (wie z.B. implantatgetragenen Teleskopprothesen, Locatorprothesen) Zahnersatz unterschieden

werden. Insgesamt lassen sich gute klinische Ergebnisse mit wenigen Komplikationen mit beiden Behandlungsformen erzielen (Graf et al., 2023). Werden weitspannige Rehabilitationen angestrebt, kommt es durch die Suprakonstruktion zu einer Verblockung der Implantate. Unter bestimmten klinischen Bedingungen kann auch eine Verblockung von benachbarten Einzelimplantaten sinnvoll sein (Al-Juboori et al., 2024). Bei kurzen Implantaten aufgrund von geringem Knochenangebot oder bei langen prothetischen Aufbauten kann durch fehlende Verblockung das Risiko eines Implantatversagens steigen (Yi et al., 2023).

Befestigung der Suprakonstruktion

Es hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, ob eine Suprakonstruktion verschraubt oder zementiert wird. Der erste wichtige Faktor ist die Neigung des Implantates und die damit verbundene Einschubrichtung. Eine stärkere Neigung, hauptsächlich im Unterkieferseitenzahn- oder dem ästhetisch relevanten Oberkieferfrontzahnbereich, kann die Versorgung mit geraden Abutments unter Umständen sogar unmöglich machen und die Verwendung spezieller abgewinkelter Aufbauten erfordern (Margossian et al., 2020). Verschraubte Lösungen werden bei stärkeren Schrägstellungen unter Umständen sogar unmöglich, weil die Schrauböffnung im sichtbaren Bereich oder auf der Oralfläche der Restauration zu liegen käme. In diesen Fällen muss zementiert werden. Ein weiterer Faktor ist der interokklusale Abstand, der die Höhe des verwendeten Abutments bestimmt. In Fällen mit engen Interdentalräumen oder flächigen Approximalkontakten bieten zementierte Versorgungen Vorteile, da sie geringere Anforderungen an die Passung stellen und intraoral leichter eingegliedert werden können. Verschraubte Suprakonstruktionen haben dagegen den großen Vorteil der Abnahmefähigkeit und die Möglichkeit der Reparatur bei eventuellen prothetischen Komplikationen, wie Abplatzen (Chipping) der Keramik oder Lockerung der Schraube. Darüber hinaus gibt es beim Verschrauben keine Zementüberschüsse, die sich auf der Implantatoberfläche ablagern und dort Entzündungen hervorrufen können (Fiorillo et al., 2024). Eine Studie, die sich mit dem Zusammenhang von überschüssigem Zement und periimplantären Erkrankungen auseinandergesetzt hat, zeigt, dass überschüssiger Zement in den meisten Fällen mit Anzeichen einer periimplantären Erkrankung in Verbindung gebracht werden kann (Wilson, 2009).

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign

In der privaten Gemeinschaftspraxis Dres. med. dent. Braß, Steffens & Kollegen, Dentalpro in Ingelheim am Rhein wurden innerhalb eines Insertionszeitraumes von 30 Jahren Titanimplantate der Firma Straumann, die im Zeitraum von 1992 bis 2022 inseriert wurden, retrospektiv untersucht. Das Implantatsystem gliedert sich auf in Implantate auf

Weichgewebeniveau, den Tissue-Level-Implantaten (Regular Neck und Wide Neck) und auf Knochenniveau, den Bone-Level-Implantaten (Narrow Cross-Fit und Regular Cross-Fit). Die jeweiligen Bone- und Tissue-Level-Implantate wurden in den Längen von 6 bis 16 mm und den Durchmessern von 3,3 mm, 4,1 mm und 4,8 mm verwendet. Durch die retrospektive Auswertung der Daten innerhalb der klinischen Routineuntersuchung über einen Zeitraum von ca. einem Jahr war keine berufsrechtliche Beratung durch die Ethik-Kommission erforderlich (Antragsnummer: 2023-17383-retrospektiv). Die Namen der Patient*innen wurden durch eine Kodierung unkenntlich gemacht. In der Studie wurden ausschließlich vorhandene Röntgenbilder untersucht und keine invasiven Messmethoden angewandt. Weitere Informationen konnten den Patientenkarteen entnommen werden. Es erfolgte keine Weitergabe personenbezogener Daten an Dritte.

3.1.1 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien

Es wurden ausschließlich Implantate von der Firma Straumann untersucht, die von den Oralchirurgen Herrn Dr. med. dent. Michael Braß und Herrn Dr. med. dent. Peter Steffens inseriert wurden. Die prothetische Versorgung fand ebenfalls durch die weiteren Behandler*innen der Praxis Dentalpro statt.

Ausschlusskriterien

Von der Studie ausgeschlossen wurden extern gesetzte und prothetisch versorgte Implantate. Außerdem ausgeschlossen waren minderjährige Patient*innen. Patient*innen, bei denen Implantate ($n = 21$) entfernt werden mussten, wurden nicht in die statistische Auswertung aufgenommen (Abb. 1). Diese wurden deskriptiv berichtet und in der Überlebenszeitanalyse aufgegriffen. Außerdem von der Studie ausgeschlossen wurde die Implantatserie der BLX- und BLT-Implantate. Kurze Implantate, wie das Standard Plus Short (SPS)-Implantat mit einer Länge von 4 mm und sehr lange Implantate von 18 mm wurden ebenfalls im Vorfeld ausgeschlossen. Außerdem nicht in das Studiendesign aufgenommen waren Implantate mit einem Durchmesser von weniger als 3,3 mm ($\varnothing = 2,9$ mm), das Narrow Neck Crossfit-System (NNC).

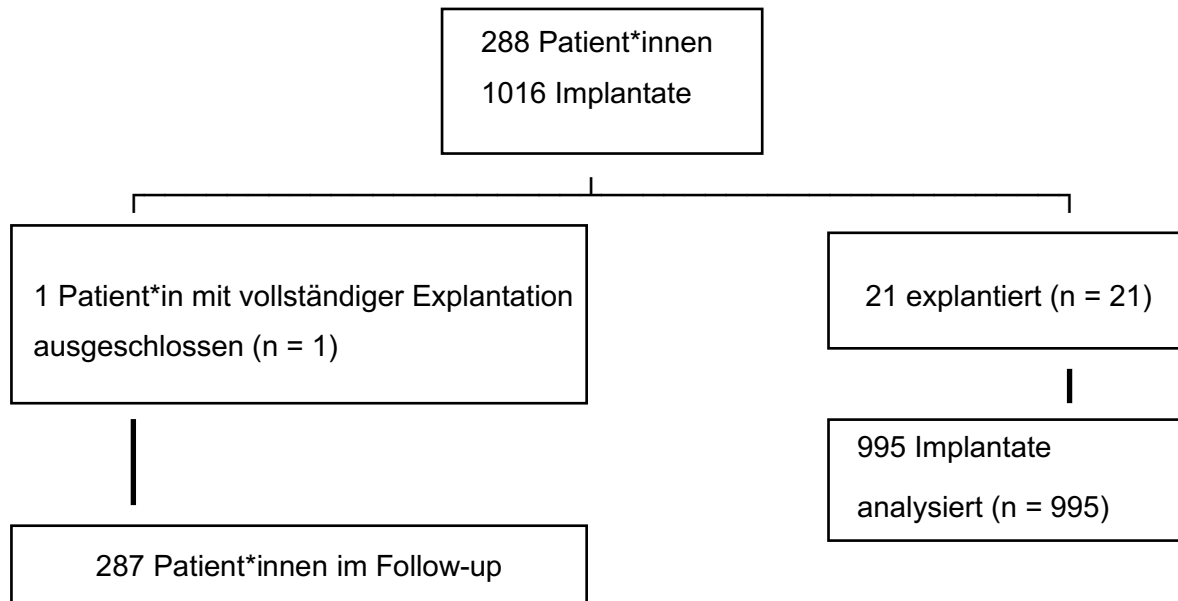


Abbildung 1: Flowchart der Auswahlkriterien

3.2 Patient*innendaten

3.2.1 Alter / Geschlecht / Nikotinkonsum

Das aktuelle Alter der Patient*innen wurde durch das Geburtsdatum zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung anhand der Patient*innenkartei ermittelt. Dabei wurden Patient*innen unter 18 Jahren ausgeschlossen. Das jeweilige Geschlecht wurde ebenfalls anhand der Kartei ausgewertet. Aufgrund der Korrelation zwischen Nikotinkonsum und Implantat-Einheilung, allgemeiner Wundheilung und Implantatverlusten erfasste diese Studie anhand des Anamnesebogens den Raucherstatus des gesamten Patient*innenkollektives. Berücksichtigt wurden allerdings nicht die Dosisabhängigkeit oder die Dauer des Konsums, also die pack years (Packungsjahre).

Bei einer Stichprobengröße von insgesamt $n = 287$ Patient*innen ergab sich ein Durchschnittsalter von 66,36 Jahren ($\pm 11,33$ Jahren). Die jüngste Patientin war 36 Jahre alt und die älteste Patientin hatte ein Alter von 91 Jahren. Dabei waren 25 % der Proband*innen jünger als 59 Jahre und 25 % älter als 75 Jahre. Auf Implantatebene beliefen sich die Ergebnisse auf ein Durchschnittsalter von 69,62 Jahren ($\pm 10,2$ Jahren) (Tab. 1). Die Geschlechterverteilung bei insgesamt $n = 287$ Patient*innen belief sich auf $n = 111$ Männer und $n = 176$ Frauen. Das macht eine prozentuale Verteilung von 38,7 % Männern und 61,3 % Frauen. Von den insgesamt $n = 995$ Implantaten ergab sich eine Verteilung von $n = 378$ (38 %) Implantaten, die bei Männern und $n = 617$ (62 %) Implantaten, die bei Frauen inseriert wurden. Von den insgesamt 287 Patient*innen sind 15 (5,2 %) aktive Raucher*innen. Von insgesamt 995 Implantaten lag bei $n = 42$ (4,2 %) Implantaten ein positiver Nikotinstatus vor.

Alter in Jahren	Implantate	Patient*innen
<i>n</i>	995	287
<i>M</i>	69,62	66,36
<i>SD</i>	10,20	11,33
<i>Q1</i>	62	59
<i>Q3</i>	77	75
<i>Min</i>	36	36
<i>Max</i>	91	91

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 1: Deskriptive Statistik, Altersverteilung auf Implantat- und Patient*innenebene

3.2.2 Allgemeinerkrankungen

In der folgenden Arbeit wurden die Vorerkrankungen des gesamten Patient*innenkollektives anhand der ausgefüllten Anamnesebögen deskriptiv ausgewertet. Eine Mehrfachnennung durch Überschneidung der Begleiterkrankungen pro Patient*in war möglich. Die Angaben bezogen sich jeweils nur auf die einzelne Erkrankung. Es fand keine Unterscheidung zwischen Diabetes mellitus Typ I und Typ II statt.

Von den insgesamt 287 Patient*innen mit 995 noch in situ befindlichen Implantaten sind bei *n* = 425 Implantaten keine allgemeinen Erkrankungen der Patient*innen bekannt. Eine Hypertonie lag bei 66 Patient*innen und *n* = 233 inserierten Implantaten vor. Eine Osteoporose lag bei *n* = 42 Implantaten bei 10 Patient*innen, ein Diabetes mellitus bei *n* = 47 Implantaten bei 16 Patient*innen und ein vorausgegangener Apoplex bei *n* = 48 Implantaten bei 13 Patient*innen vor. Eine Osteomyelitis bestand bei einer Patientin, einem Patienten mit *n* = 3 Implantaten im linken Unterkiefer im Insertionsfeld. Schilddrüsenerkrankungen wie Hyperthyreose, Hashimoto Thyreoiditis oder eine Schilddrüsen-Operation waren bei *n* = 64 Implantaten von 21 Patient*innen gegeben. Herzerkrankungen wie KHK (koronare Herzkrankheit), Herzinfarkte, Herzrhythmusstörungen, Z.n. Endokarditis und Vorhofflimmern lagen bei insgesamt *n* = 115 Implantaten bei 30 Patient*innen vor. Die anamnestische Untersuchung von 14 Patient*innen zeigte bei *n* = 63 Implantaten das Vorhandensein künstlicher Gelenke, wie Hüft- oder Knieprothesen. Ebenso wie das Vorliegen eines bereits therapierten Karzinoms, wie zum Beispiel Prostata-, Mamma- oder Colonkarzinom konnte bei insgesamt 11 Patient*innen mit *n* = 44 Implantaten, ein multiples Myelom bei *n* = 4 Implantaten

bei einer Patientin bzw. einem Patienten festgestellt werden. Ein Melanom lag bei einer Patientin bzw. einem Patienten bei insgesamt sechs Implantaten vor. Andere allgemeine Erkrankungen wie beispielsweise COPD („chronic obstructive pulmonary disease“) lag mit $n = 6$ bei einer einzelnen Person vor. Eine Leberzirrhose bestand bei sechs Implantaten bei einer Patientin bzw. einem Patienten (Abb. 2).

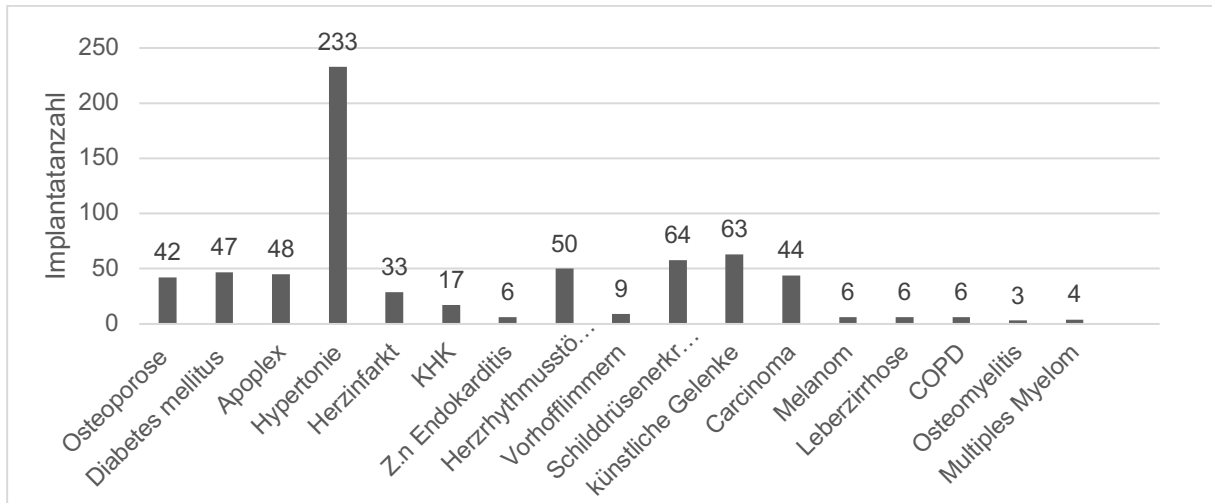


Abbildung 2: Deskriptive Statistik, Auflistung der Allgemein-Erkrankungen bezogen auf die Implantatanzahl in situ

3.2.3 Parodontale Erkrankung und Recall-Intervall

In dieser Studie wurden das Vorliegen einer parodontalen Erkrankung und / oder eine vorausgegangene parodontale Therapie (nichtchirurgisch oder auch chirurgisch) anhand der Patientenakte als Ja / Nein-Entscheidung dokumentiert. Eine parodontale Vorerkrankung lag bei $n = 104$ (36,2 %) Patient*innen vor. Auf Implantatebene belief sich die Zahl ohne Vorerkrankung auf $n = 576$ (57,9 %) Implantate und auf $n = 419$ (42,1 %) Implantate mit Vorliegen einer parodontalen Erkrankung.

Das Recall-Verhalten der Patient*innen wurde anhand der Intervalle prophylaktischer Nachsorgeuntersuchungen erhoben. Dabei erfolgte die Einteilung in quartalsweise, halbjährliche sowie jährliche Recall-Abstände. Das durchschnittliche Recall-Intervall auf Implantatebene betrug $M = 7,59$ Monate ($\pm 3,18$ Monate) und auf Patient*innen-Ebene $M = 7,85$ Monate ($\pm 3,27$ Monate) (Tab. 2). Eine deutliche Mehrheit der Implantate ($n = 612$) wurde im Rahmen eines halbjährlichen Recall-Intervalls nachuntersucht, im Zuge dessen jeweils eine professionelle Zahnreinigung (PZR) durchgeführt wurde. Bei $n = 297$ Implantaten erfolgte die Nachsorge einmal jährlich. Kürzere Recall-Intervalle wurden bei $n = 57$ Implantaten (alle vier Monate) sowie bei $n = 7$ Implantaten (alle drei Monate) dokumentiert. In zwei Fällen wurde ein

24-monatiger Nachsorge-Rhythmus verzeichnet. Bei $n = 20$ Implantaten fand während des Beobachtungszeitraums keine dokumentierte prophylaktische Nachsorge in Form einer professionellen Zahnreinigung statt (Abb. 3).

Recall	Implantate	Patient*innen
<i>n</i>	995	287
<i>M</i>	7,59	7,85
<i>SD</i>	3,18	3,27
<i>Q1</i>	6,00	6,00
<i>Q3</i>	12,00	12,00
<i>Min</i>	0,00	0,00
<i>Max</i>	24,00	24,00

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 2: Deskriptive Statistik, Recall-Intervall in Monaten bezogen auf Implantat- und Patient*innenebene

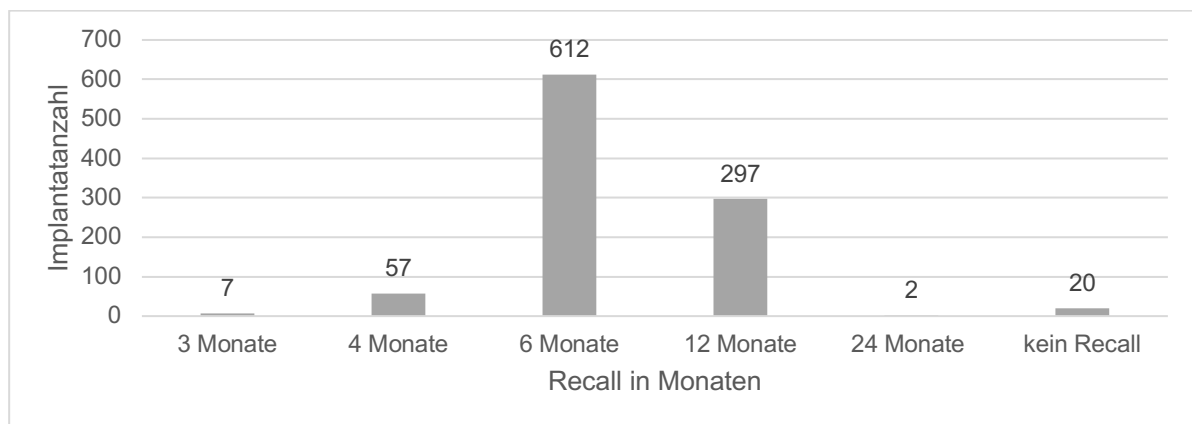


Abbildung 3: Deskriptive Statistik, Verteilung der Prophylaxe-Intervalle bezogen auf die Implantatzahl

3.3 Implantatbezogene Daten

3.3.1 Implantatdesign

Bone-Level Implantate

Bone-Level Implantate werden unterteilt in RC (Regular Cross-Fit) und NC (Narrow Cross-Fit) mit einem Rotationsschutz, welcher durch vier Elemente im Implantatinneren erreicht wird. Dazu gehören die Bone-Level- (BL) und Bone-Level-Tapered- (BLT), sowie Bone-Level X-Implantate (BLX). BLX- und BLT-Implantate sollen hier allerdings keine gesonderte

Aufmerksamkeit erhalten, da sie insgesamt wenig verwendet wurden und im Vorfeld aus den Analysen ausgeschlossen wurden.

Tissue-Level Implantate

Die Tissue-Level Implantate werden unterteilt in RN (Regular Neck) und WN (Wide Neck). Die Verbindung von Implantat und Abutment in den Tissue-Level Implantaten wird als SynOcta bezeichnet. Sie besteht aus einem 8° Innenkonus mit einem integrierten Achtkant als Rotationsschutz.

Standard Implantat / Standard Plus Implantat

Tissue-Level Implantate werden je nach Höhe der Beschichtung in Standard und Standard Plus Implantate unterteilt. Die Standard Implantate haben einen unbeschichteten glatten Halsanteil von 2,8 mm Höhe, wogegen der Halsbereich der Standard Plus Implantate nur 1,8 mm hoch ist. Der Kopf der Standard Plus Implantate ist demnach 1 mm kürzer, was im ästhetischen Bereich Vorteile bringt, da er besser unter den Weichgeweben „versteckt“ werden kann. Dieses „Plus“ an Ästhetik war namensgebend für diesen Implantattyp.

Roxolid®

Seit 2009 wird eine Titan-Zirkonium-Legierung (TiZr-Implantate), bestehend aus 15 % Zirkonium und 85 % Titan verwendet. Es sind kleinere Durchmesser durch eine höhere mechanische Stabilität möglich. Außerdem zeigt diese Legierung, im Vergleich zu Titan-Implantaten, eine erhöhte Genexpression von Knochenmarkern nach zwei Wochen in der frühen Heilungsphase post Insertion (Galli et al., 2017).

Von den $n = 995$ Implantaten sind $n = 239$ Bone-Level und $n = 756$ Tissue-Level Implantate. Von den 239 BL-Implantaten sind 91 NC- und 148 RC-Implantate. Die Verteilung auf Patient*innenebene belief sich auf $n = 41$ NC- und $n = 52$ RC-Implantate (Tab. 3). Die 756 TL-Implantate gliederten sich auf in $n = 350$ RN-Standard, sowie $n = 209$ RN-Standard Plus, $n = 101$ WN-Standard Implantate und $n = 96$ WN-Standard Plus Implantate. Eine genaue Verteilung auf Patient*innenebene ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Bone-Level	n (Implantate)	%	n (Patient*innen)	%
RC	148	14,87 %	52	18,12 %
NC	91	9,15 %	41	14,29 %

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 3: Deskriptive Statistik, Anzahl der BL-Implantate auf Implantat- und Patient*innenebene

Tissue-Level	n (Implantate)	%	n (Patient*innen)	%
RN-S	350	35,18 %	80	27,87 %
RN-SP	209	21,01 %	64	22,30 %
WN-S	101	10,15 %	20	6,97 %
WN-SP	96	9,65 %	30	10,45 %

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 4: Deskriptive Statistik, Anzahl der TL-Implantate auf Implantat- und Patient*innenebene

Tabellarische Übersicht der Implantattypen

Implantattyp		Implantat- verbindung	Implantat- Durch- messer (mm)	Außenkonus Verbindungs- typen (mm)	Farb- kodierung	Längen (mm)
Bone- Level		Narrow Crossfit® (NC)	3,3		gelb	6-18
		Regular Crossfit® (RC)	4,1		Magenta	6-18
			4,8		Magenta	6-18
Tissue- Level	Standard Implantat®	Regular Neck® (RN)	3,3	4,8	Gelb	6-16
			4,1	4,8	Rot	4-16
			4,8	4,8	Grün	4-16
		Wide Neck® (WN)	4,8	6,5	Grün	4-16

	Standard plus Implantat®	Regular Neck® (RN)	3,3	4,8	gelb	4-16
			4,1	4,8	Rot	4-16
			4,8	4,8	grün	4-16
		Wide Neck® (WN)	4,8	6,5	Grün	4-16

Tabelle 5: Übersicht über das Implantatsystem mit den unterschiedlichen Implantattypen Tissue-Level und Bone-Level

Implantatdurchmesser und Implantatlänge

Die untersuchten Implantate wurden in den Längen 6 / 8 / 10 / 12 / 14 mm und 16 mm, mit den Durchmessern von 3,3 mm, 4,1 mm und 4,8 mm verwendet (Tab. 5). Bei der Auswertung der Implantatlängen und -durchmesser war eine deutliche Häufung beim Durchmesser von 4,1 mm und den Längen von 10 mm und 12 mm erkennbar. Zwei Implantate hatten eine Länge von 16 mm und sechs Implantate eine Länge von 6 mm. 248 Implantate zeigten einen Durchmesser von 4,8 mm und 253 Implantate einen Durchmesser von 3,3 mm auf. (Abb. 4). 74 Implantate hatten eine Länge von 8 mm und 42 eine Länge von 14 mm (Abb. 5).

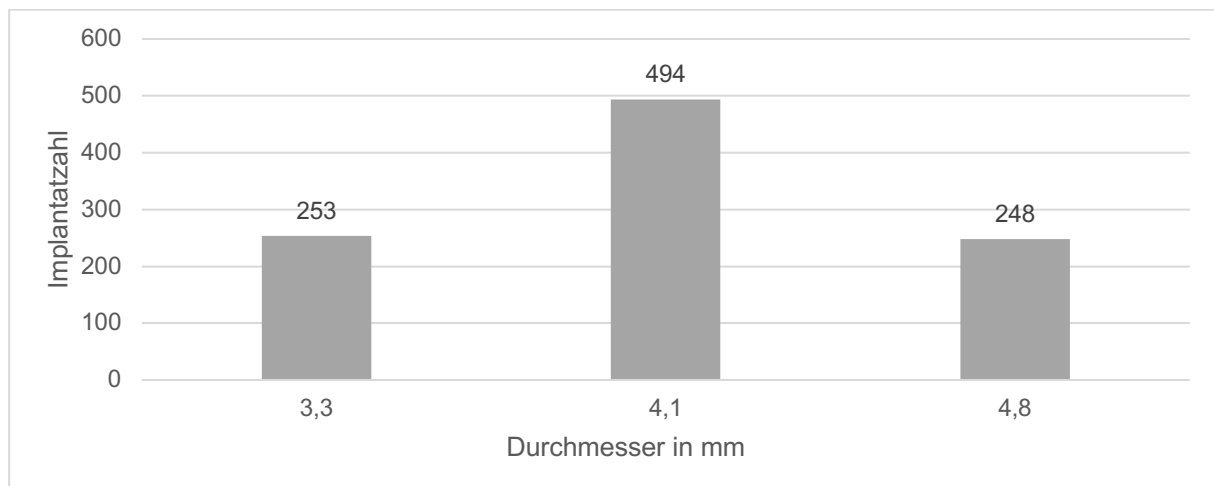


Abbildung 4: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantatdurchmesser bezogen auf die Implantatzahl

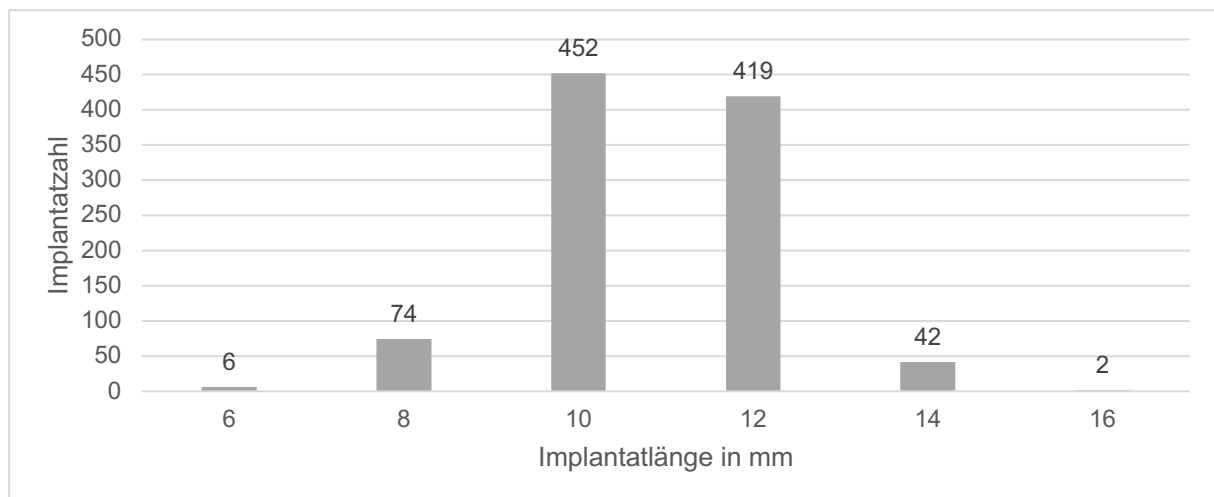


Abbildung 5: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantatlängen bezogen auf die Implantatzahl

3.3.2 Implantationsregion

Unterschieden wurde dabei in Oberkiefer und Unterkiefer, Front- und Seitenzahnbereich und die jeweilige Region wurde notiert. Der Frontzahnbereich markiert die Region von 13-23 und 33-43 und der Seitenzahnbereich wird mit den Regionen für den Oberkiefer 14-18, 24-28 und für den Unterkiefer mit 34-38, 44-48 angegeben. Bei $n = 89$ Personen (31,01 %) fand eine Implantation im Frontzahnbereich, bei $n = 198$ Personen (68,99 %) im Seitenzahnbereich statt. Während insgesamt mehr Implantate im Unterkiefer als im Oberkiefer inseriert wurden, entfiel auf Patient*innenebene ein größerer Anteil der Implantationen auf den Oberkiefer (Tab. 6).

Kiefer	n (Implantate)	%	n (Patient*innen)	%
Maxilla	478	48,04 %	180	62,72 %
Mandibula	517	51,96 %	107	37,28%

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 6: Deskriptive Statistik, Aufteilung der Implantate auf die Kiefer auf Implantat- und Patient*innenebene

1.) Oberkiefer

Die meisten Implantationen im Oberkiefer fanden im Seitenzahnbereich in den Regionen 16, 15, 14 und 24, 25, 26 statt. Deutlich seltener wurde in der Oberkieferfront und im Bereich der Molaren implantiert. $N = 56$ Implantate (5,63 %) wurden an Position 14 inseriert und $n = 62$ Implantate (6,23 %) an Position 24. Gefolgt von $n = 50$ Implantaten (5,03 %) in Regio 25. $N = 40$ Implantate (4,02 %) wurden in Regio 26 und $n = 42$ Implantate (4,22 %) in Regio 15 gesetzt. In der Oberkieferfront, Regio 13-23 wurden $n = 20$ Implantate (2,01 %) an Position

13, $n = 25$ Implantate (2,51 %) an Position 12, $n = 22$ Implantate (2,21 %) an Position 11, $n = 17$ Implantate (1,81 %) an Position 21 und $n = 33$ (3,32 %) an Position 22 inseriert. Ein Implantat (0,10 %) wurde in Regio 28 und zwei Implantate (0,20 %) in Regio 18 gesetzt (Abb. 6).

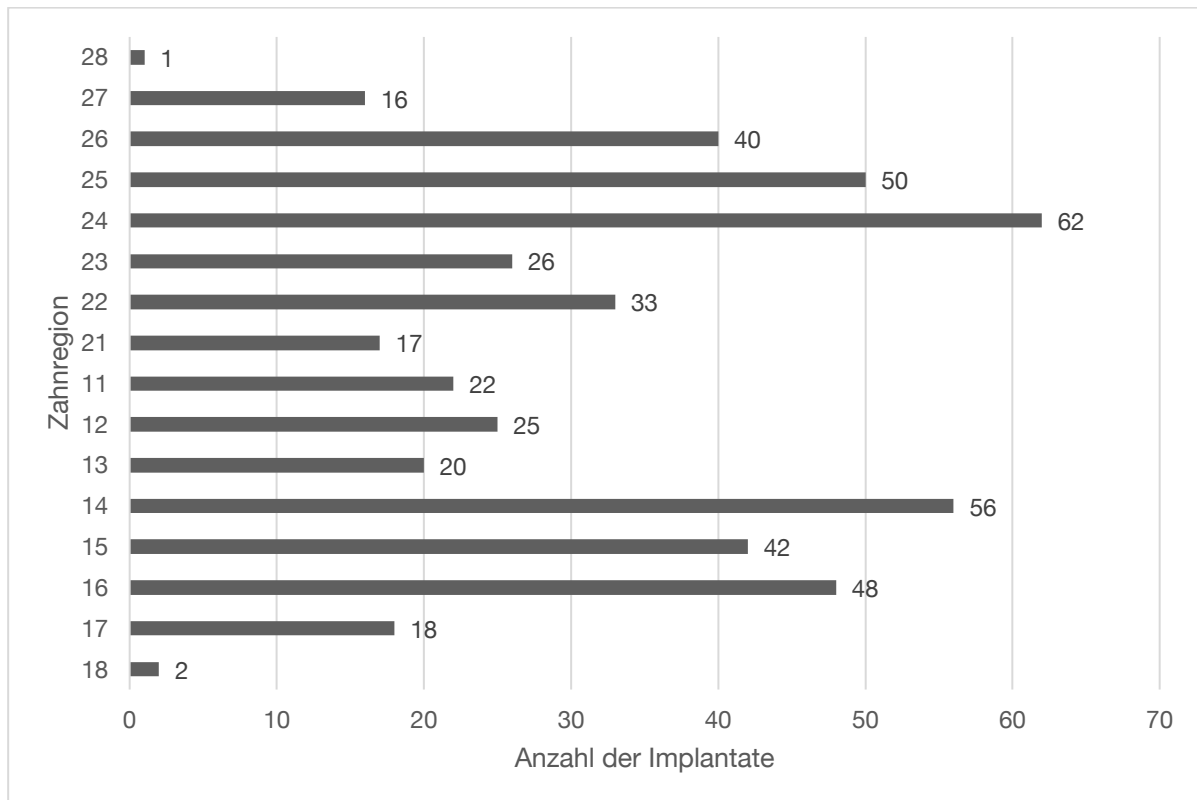


Abbildung 6: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate im Oberkiefer aufgeteilt auf die Regio

2.) Unterkiefer

An den Positionen der ersten Molaren fanden im Unterkiefer die meisten Implantationen statt. Dabei gab es in Regio 46 $n = 96$ Implantationen (9,65 %) und in Regio 36 wurden $n = 85$ Implantate (8,54 %) inseriert. Danach folgten die Regionen 37 mit $n = 63$ (6,33 %) inserierten Implantaten; Regio 47 mit $n = 50$ Implantationen (5,03 %), Regio 35 mit $n = 42$ Implantationen (4,22 %) und Regio 45 mit $n = 36$ Implantaten (3,62 %). In der Unterkiefer-Front wurde seltener implantiert. Im Bereich der Eckzähne fanden $n = 12$ (1,21 %) Insertionen in Regio 33 statt und $n = 9$ (0,90 %) in Regio 43. In Regio 42 gab es $n = 21$ Implantationen (2,11 %) und in Regio 32 waren es $n = 19$ (1,91 %). An den Positionen der zentralen Inzisivi wurden fünf Implantate (0,50 %) in Regio 31 und zwei Implantate (0,20 %) in Regio 41 eingebracht. Weiterhin wurden fünf Implantate (0,50 %) an Position 48 und zwei Implantate (0,20 %) an Position 38 gesetzt (Abb. 7).

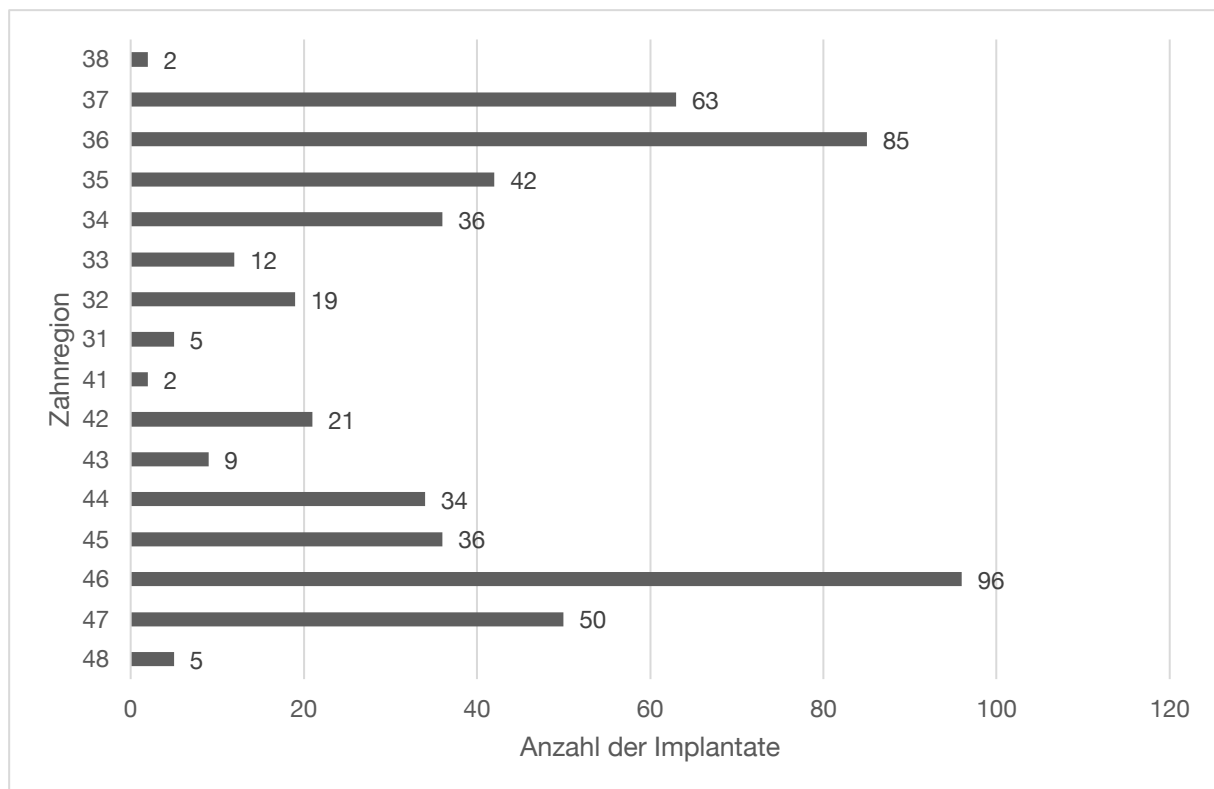


Abbildung 7: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate im Unterkiefer aufgeteilt auf die Regio

3.3.3 Verweildauer der Implantate / Explantationen

Zur Bestimmung der Verweildauer jedes Implantats wurde die zeitliche Differenz zwischen Implantations- und Untersuchungszeitpunkt beziehungsweise zwischen Implantations- und Explantationszeitpunkt berechnet. Der Insertionszeitraum der untersuchten Implantate erstreckte sich von Mai 1992 bis November 2023. Der Zeitraum der Nachuntersuchung belief sich auf ein Jahr, sieben Monate und sieben Tage. Dabei ergab sich eine durchschnittliche Verweildauer der Implantate in situ ($n = 995$) von 11,99 Jahren ($\pm 6,80$ Jahre). Die längste Verweildauer beträgt seitdem 30,86 Jahre. Dabei haben 25 % der Implantate eine Verweildauer $\leq 6,04$ Jahre und 75 % $\leq 16,75$ Jahre (Tab. 7).

Follow-Up	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
	995	11,99	6,80	6,04	16,75	0,56	30,86

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 7: Deskriptive Statistik, Verweildauer der Implantate

Explantationen

Von insgesamt 1016 untersuchten Implantaten fanden im Laufe des Beobachtungszeitraumes $n = 21$ (2,07 %) Explantationen bei 14 Patient*innen statt. Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt die Verteilung der Explantation auf Implantatebene, wie auch auf Patient*innenebene, bezogen auf patient*innen- und implantatspezifische Merkmale. Mehrfachnennungen auf Patient*innenebene ergaben sich in den Bereichen Allgemeinerkrankungen, Lokalisation und Region, Implantattyp, -durchmesser und -länge und Augmentationen. Explantationen fanden häufiger bei Frauen gegenüber Männern statt. Bei drei Implantaten von zwei Patient*innen lag ein positiver Nikotinstatus vor. Bei der Mehrheit der Explantation $n = 12$ lag eine parodontale Vorerkrankung vor und Verluste waren häufiger im OK als im UK zu verzeichnen. Die häufigsten verwendeten Implantatdurchmesser lagen bei 3,3 mm und 4,1 mm mit Längen zwischen 10 mm und 12 mm. Der überwiegende Anteil der verloren gegangenen Implantate ($n = 19$) unterlag einem engmaschigen Recall-Programm von 6 Monaten (Tab. 8).

Kategorie	Untergruppe	n (Implantate)	n (Patient*innen)
Geschlecht	Weiblich	13	8
	Männlich	8	6
Alter	30 - 60 Jahren	1	1
	> 60 Jahren	20	13
Raucherstatus	Raucher*innen	3	2
	Nichtraucher*innen	18	12
PA	Ja	12	8
	Nein	9	6
Allgemein Erkrankungen	Keine	8	7
	Brugada-Syndrom	4	1
	Diabetes mellitus	1	1
	Hypertonie	4	3
	Osteoporose	1	1
	Prostata-Ca./MM	2	1
Bone-Level	RC	5	3
	NC	3	2
Tissue-Level	RN-S	1	1
	RN-SP	7	6
	WN-S	5	4
	WN-SP	-	-
Durchmesser	3,3 mm	6	5
	4,1 mm	8	7

	4,8 mm	7	5
Länge	6 mm	1	1
	8 mm	5	3
	10 mm	8	4
	12 mm	6	6
	14 mm	1	1
Augmentation	Keine	14	9
	Xenogenes Material	7	6
Sinuslift	Ja	4	3
	Nein	17	11
Lokalisation	OK	17	12
	UK	4	4
Region	Seitenzahnbereich	13	9
	Frontzahnbereich	8	6
Recall-Intervall	6 Monate	19	12
	12 Monate	2	2

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen, Ca. = Carcinoma, MM = Multiples Myelom

Tabelle 8: Deskriptive Statistik, tabellarische Darstellungen der Implantatverluste auf Patient*innen- und Implantatebene

3.3.4 Augmentative Verfahren

Augmentationen und Sinuslift-Operationen

Ermittelt wurden prä- und intraoperative chirurgische Eingriffe, wie Augmentationen unter Angabe des verwendeten Augmentationsmaterials und Sinuslift-Operationen mit oder ohne Augmentationen. Die Art und die Häufigkeit des verwendeten Augmentationsmaterials finden sich in Tabelle 11 wieder. Weitere Differenzierung der chirurgischen Vorgehensweise (interner vs. externer Sinuslift) erfolgte nicht.

N = 581 (58,39 %) Implantate konnten ohne Augmentation gesetzt werden. Bei n = 296 (29,75 %) Implantaten wurde eine Augmentation mit einem xenogenen Material durchgeführt. 72-mal wurde eine Augmentation mit autologem, also körpereigenem Material durchgeführt und bei n = 46 Implantaten wurde mit einem Gemisch aus körpereigenem und körperfremdem Material augmentiert (Tab. 9). Sinuslift-Operationen fanden bei n = 111 Implantaten bei 28 Patient*innen (9,76 %) statt (Tab. 10).

Augmentation	Keine	Autolog	Xenogen	Autolog + Xenogen
<i>n</i>	581	72	296	46
%	58,39 %	7,24 %	29,75 %	4,62 %

Anmerkung: *n* = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 9: Deskriptive Statistik, Anzahl der Augmentationen auf Implantatebene

Sinus-Lift	Nein	Ja
<i>n</i>	884	111
%	88,84 %	11,16 %

Anmerkung: *n* = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 10: Deskriptive Statistik, Anzahl der Sinuslift-Operationen auf Implantatebene

Augmentationsmaterial

Unterschieden wurde dabei in autogenes (Eigenknochen) und xenogenes (Fremdmaterial) Augmentationsmaterial. Eine weitere Unterteilung fand in der Verwendung einer Kombination aus autogenem und xenogenem Material statt. In der Praxis wurde als Fremdmaterial ein natürliches bovines Knochenersatzmaterial verwendet, welches der Struktur des menschlichen Knochens ähnelt. Es besteht aus dem mineralischen Anteil des Rinderknochens ohne organische Bestandteile. Verwendet wurde des Weiteren eine Kombination aus bovinem Knochenersatzmaterial (90 % Volumenanteil) mit porcinem Kollagen (10 % Volumenanteil). Die Augmentationsbereiche wurden routinemäßig mit einer doppelagigen, resorbierbaren Membran porcinen Ursprungs abgedeckt. Ein weiteres synthetisches Knochenersatzmaterial besteht aus 60 % Hydroxylapatit und 40 % β -Tricalciumphosphat (Calcium-Phosphat-Granula). Dieses Material ist durch eine hohe Porosität gekennzeichnet. Ein weiteres hochporöses Knochenersatzmaterial auf synthetischer Basis besteht aus der Kombination von Typ-I-Kollagen und β -Tricalciumphosphat-Granula. Beide Materialien haben den Effekt der Stabilisierung des Defekts und einer Unterstützung der Knochenneubildung.

Verwendetes Augmentationsmaterial

Augmentationsmaterial	n (Implantate)	Prozentuale Verteilung (%)
Kein Material	531	53,37 %
Bovines Material	203	20,40 %
Bovines Material + Gide	93	9,35 %
Eigenknochen	85	8,54 %
Bovines Material + Eigenknochen	32	3,22 %

Calcium Phosphat Granula	24	2,41 %
Bovines Material + Gide + Eigenknochen	10	1,01 %
Eigenknochen + Gide	9	0,90 %
Kombination aus Granula + Kollagenmatrix	3	0,30 %
Kombination aus Granula + Kollagenmatrix + Gide	3	0,30 %
Calcium Phosphat Granula + Gide	2	0,20 %

Tabelle 11: Deskriptive Statistik, Aufteilung der Häufigkeit der unterschiedlichen Augmentationsmaterialien und deren prozentuale Verteilung bezogen auf die Implantatzahl

3.4 Periimplantäre Parameter

3.4.1 Entzündungszeichen (Bleeding on Probing / Suppuration)

Die Persistenz aktiver periimplantärer Taschen wurde anhand der Sulkusblutung nach Sondierung mit einer millimeterskalierten stumpfen Parodontalsonde eruiert. Dabei wurde, wie in einigen Studien beschrieben, mit einem maximalen Druck von 0,25 N gemessen (Ata-Ali et al., 2015, Heitz-Mayfield, 2008). Die Parameter BOP und Pus wurden mittels einer Ja / Nein-Entscheidung dichotomisiert.

Von insgesamt 995 Implantaten wiesen $n = 320$ (32,16 %) Implantate bei 91 Patient*innen (31,71 %) eine Blutung bei Sondierung auf. Dabei lagen bei $n = 65$ (27,2 %) BL-Implantaten und bei $n = 255$ (33,7 %) TL-Implantaten periimplantäre Blutungen vor (Tab. 12). Suppuration (Pus) war insgesamt selten zu beobachten und lag bei $n = 15$ (1,51 %) Implantaten bei vier (1,39 %) Personen vor. Davon wurden Suppurationen bei $n = 2$ (0,8 %) BL- und $n = 13$ (1,7 %) TL-Implantaten beobachtet (Tab. 13). Innerhalb der TL-Implantate zeigte das RN-Standard-System $n = 9$ (2,6 %) Implantate mit Suppurationen, die RN- und WN-Standard Plus Serie wies jeweils bei einem Implantat Pus auf und der WN-Standard-Typ zeigt $n = 2$ (2,0 %) Implantate mit Suppuration (Tab. 14).

BOP	Nein	Prozent	Ja	Prozent
BL	174	72,8 %	65	27,2 %
TL	501	66,3 %	255	33,7 %

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen, BOP = Bleeding on Probing

Tabelle 12: Deskriptive Statistik, Anzahl der Blutungen bei Sondieren bezogen auf das Implantatsystem BL vs. TL

Pus	Nein	Prozent	Ja	Prozent
BL	237	99,2 %	2	0,8 %
TL	743	98,3 %	13	1,7 %

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 13: Deskriptive Statistik, Anzahl der Suppuration bezogen auf das Implantatsystem BL vs. TL

Pus	Nein	Prozent	Ja	Prozent
RN-S	341	97,4 %	9	2,6 %
RN-SP	208	99,5 %	1	0,5 %
WN-S	99	98,0 %	2	2,0 %
WN-SP	95	99,0 %	1	1,0 %

Anmerkung: n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 14: Deskriptive Statistik, Anzahl der Suppuration bezogen auf das TL-Implantatsystem

3.4.2 Sondierungstiefen (mesial / distal)

Die periimplantäre Sulkustiefe wurde mittels einer millimeterskalierten stumpfen Parodontalsonde, jeweils mesial und distal des Implantates ermittelt. Gemessen wurde dabei der Abstand zwischen Sulkusboden und Gingivaum in Millimetern. Physiologische Messwerte wurden in den Bereichen von 1-4 mm festgelegt (Ata-Ali et al., 2015). Gemessen wurde an insgesamt vier Stellen rund um das Implantat und jeweils für mesial und distal wurde der tiefste Wert ermittelt.

1.) Mesial

Die mesial an den Implantaten gemessenen Sondierungstiefen lagen zumeist im physiologischen Bereich zwischen 2 mm und 4 mm. Im Detail verteilten sich die Sondierungstiefen wie folgt: 2 mm an 172 Implantaten; 3 mm an 412 Implantaten; 4 mm an 296 Implantaten. Sondierungstiefen unter 2 mm fanden sich bei 2 Implantaten. Die durchschnittliche Taschentiefe mesial am Implantat lag bei $M = 3,38 \text{ mm}$ ($\pm 1,00 \text{ mm}$) unabhängig vom Implantattyp (RN, WN oder Standard, Standard Plus) (Tab. 15). Pathologisch vertiefte Taschen von 5 mm fanden sich an 87 Implantaten und 6 mm an 18 Implantaten; 7 mm bei sechs Implantaten und lediglich ein Implantat wies Taschentiefen von 8 mm und 9 mm auf. Sondierungstiefen über 9 mm wurden nicht gemessen (Abb. 8).

Mesiale TT	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
<i>Implantat</i>	995	3,38	1,00	3,00	4,00	1,00	9,00

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil, TT = Taschentiefe

Tabelle 15: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) unabhängig vom Implantat-Typ

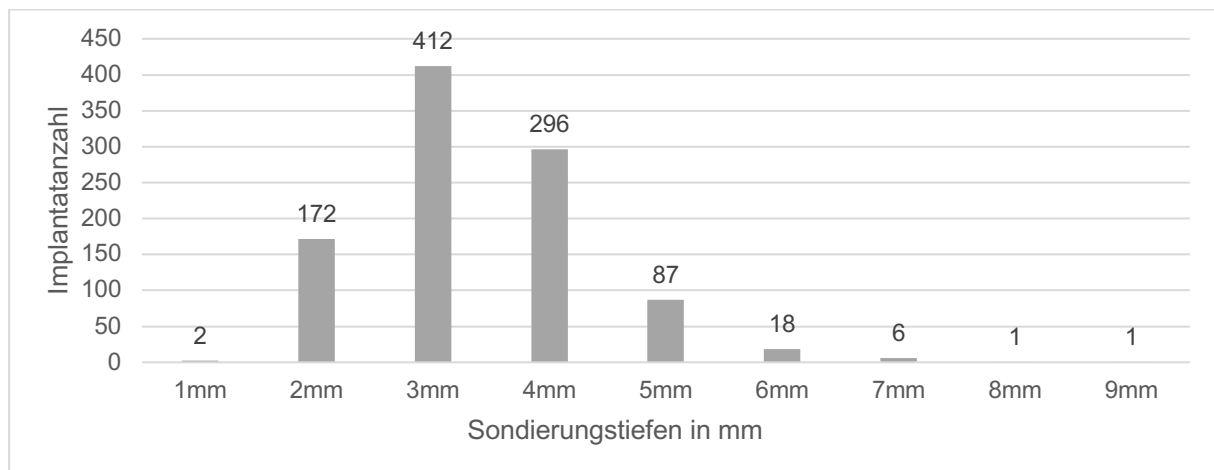


Abbildung 8: Deskriptive Statistik, mesial gemessene Sondierungstiefen in Millimetern an den Implantaten BL und TL

Mesiale Taschentiefen bezogen auf Tissue-Level Implantate

Bei den insgesamt $n = 350$ Tissue-Level RN-Standard Implantaten zeigte sich eine durchschnittliche Taschentiefe von $M = 3,33 \text{ mm}$ ($\pm 0,95 \text{ mm}$). Die kleinste gemessene Tasche lag bei 1 mm und die tiefste bei 7 mm. Insgesamt wiesen $n = 209$ Tissue-Level RN-Standard-Plus Implantate eine durchschnittliche Taschentiefe von $M = 3,46 \text{ mm}$ ($\pm 1,02 \text{ mm}$) auf. Die geringste Taschentiefe lag bei 2 mm und die größte bei 7 mm. Die Tissue-Level Implantate vom Typ WN zeigten bei $n = 101$ Standard Implantaten eine durchschnittlich gemessene Taschentiefe von $M = 3,83 \text{ mm}$ ($\pm 0,91 \text{ mm}$). Die niedrigste Taschentiefe lag bei 2 mm und die höchste bei 6 mm. Bei $n = 96$ WN Standard Plus Tissue-Level Implantaten lag der durchschnittliche Wert bei $M = 3,34 \text{ mm}$ ($1,08 \text{ mm}$) Taschentiefe, mit einer minimal gemessenen Tiefe von 1 mm und eine maximal gemessene Taschentiefe von 7 mm. Bei allen Tissue-Level Implantaten (RN-S, RN-SP, WN-S und WN-SP) lagen 25 % der gemessenen Taschentiefen unter 3 mm ($Q1 = 3 \text{ mm}$) und 25 % über 4 mm ($Q3 = 4 \text{ mm}$) (Tab. 16).

Tissue_Neck	Tissue_Plus	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
RN	S	350	3,33	0,95	3	4	1	7
RN	SP	209	3,46	1,02	3	4	2	7
WN	S	101	3,83	0,91	3	4	2	6
WN	SP	96	3,34	1,08	3	4	1	7

Anmerkung. n = Anzahl Beobachtungen, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 16: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) an Tissue-Level Implantaten

Mesiale Taschentiefen bezogen auf Bone-Level Implantate

Die durchschnittliche Sondierungstiefe mesial der Bone-Level Implantate lag bei $n = 148$ RC-Implantaten bei $M = 3,30$ mm ($\pm 1,06$ mm) und bei $n = 91$ NC-Implantaten bei $M = 3,09$ mm ($\pm 0,90$ mm). Der maximale Wert lag bei 9 mm innerhalb der RC-Implantate und 6 mm bei den NC-Implantaten. Beide Gruppen hatten einen minimal gemessenen Wert von 2 mm Sondierungstiefe (Tab. 17).

Bone-Level	n	M	SD	Min	Max
RC	148	3,30	1,06	2	9
NC	91	3,09	0,90	2	6

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen

Tabelle 17: Deskriptive Statistik, mesiale Taschentiefe (in mm) bei Bone-Level-Implantaten

2.) Distal

Die Verteilung der Sondierungstiefen an den Distalflächen der Implantate ist ähnlich. Sondierungstiefen von 2 mm traten bei 150 Implantaten auf; 3 mm bei 417 Implantaten und 4 mm bei 306 Implantaten. Nur ein Implantat hatte eine Sondierungstiefe von 1 mm. Pathologisch vertiefte Taschen von 5 mm traten bei 99 Implantaten, 6 mm bei 14 Implantaten auf; 7 mm bei sechs Implantaten und jeweils nur ein Implantat wies Taschentiefen von 8 mm, bzw. 9 mm auf (Abb. 9). Die durchschnittliche Taschentiefe distal am Implantat gemessen betrug $M = 3,43$ mm ($\pm 0,98$ mm) (Tab. 18). Der direkte Vergleich der mesialen und distalen Werte zeigt eine ähnlich große Verteilung bei den physiologischen Sondierungstiefen von 2 mm, 3 mm und 4 mm (Abb. 10).

Distale TT	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
Implantat	995	3,43	0,98	3,00	4,00	1,00	9,00

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 18: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) unabhängig vom Implantat-Typ

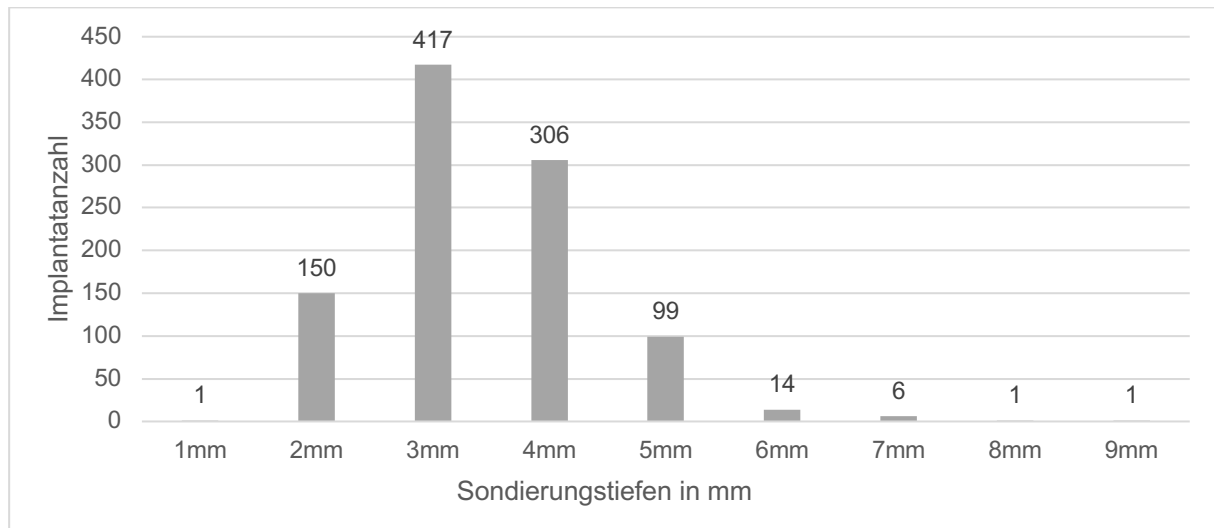


Abbildung 9: Deskriptive Statistik, distal gemessene Sondierungstiefen in Millimetern an den Implantaten BL und TL

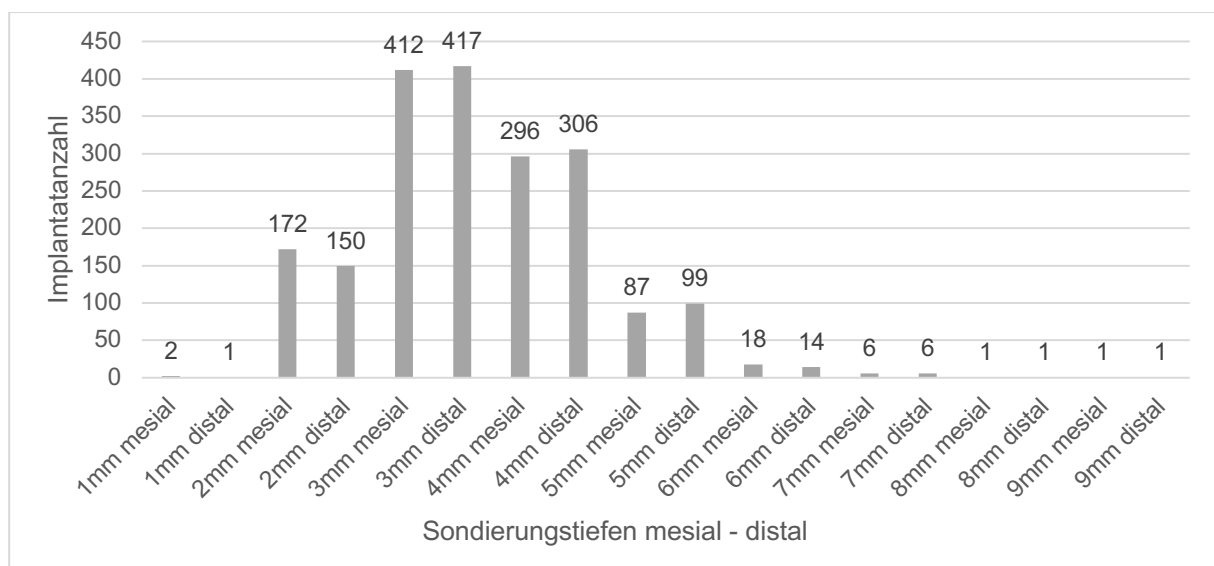


Abbildung 10: Deskriptive Statistik, Vergleich der distal und mesial gemessenen Sondierungstiefen in Millimetern bei BL- und TL-Implantaten.

Distale Taschentiefen bezogen auf Tissue-Level-Implantate

Die distal am Implantat gemessenen Taschentiefen beliefen sich im Durchschnitt auf $M = 3,38 \text{ mm}$ ($\pm 0,99 \text{ mm}$) bei RN S; $M = 3,49 \text{ mm}$ ($\pm 0,92 \text{ mm}$) bei RN SP; $M = 3,89 \text{ mm}$

($\pm 0,94$ mm) und $M = 3,51$ mm ($\pm 1,21$ mm) bei WN SP. Die Weichgebsniveau-Implantate vom Typ RN-S zeigten die minimalste Taschentiefe bei 1 mm, RN-SP, WN-S und WN-SP bei 2 mm. Die maximale Taschentiefe lag bei RN-S bei 8 mm, RN-SP bei 6 mm, WN-S bei 7 mm und bei WN-SP bei 9 mm (Tab. 19).

Tissue_Neck	Tissue_Plus	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
RN	S	350	3,38	0,99	3	4	1	8
RN	SP	209	3,49	0,92	3	4	2	6
WN	S	101	3,89	0,94	3	4	2	7
WN	SP	96	3,51	1,21	3	4	1	9

Anmerkung. n = Anzahl Beobachtungen, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 19: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) an Tissue-Level Implantaten

Distale Taschentiefen bezogen auf Bone-Level-Implantate

Die durchschnittliche Sondierungstiefe bei $n = 148$ RC- und $n = 91$ NC-Implantaten betrug $M = 3,22$ mm ($\pm 0,86$ mm) bei RC und $3,49$ mm ($\pm 0,90$ mm) bei NC. In beiden Fällen betrug die niedrigste Taschentiefe 2 mm und die höchste 6 mm (Tab. 20).

Bone-Level	n	M	SD	Min	Max
RC	148	3,22	0,86	2	6
NC	91	3,49	0,90	2	6

Anmerkung. n = Anzahl Beobachtungen, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 20: Deskriptive Statistik, distale Taschentiefe (in mm) bei Bone-Level-Implantaten

3.4.3 Gingivale Rezessionen und fixierte Gingiva

Das Vorhandensein einer labial oder bukkal gelegenen Rezession am Implantat wurde anhand einer Ja / Nein-Entscheidung dokumentiert und das jeweilige gingivale Defizit in Millimetern angegeben. Gemessen wurde erneut mit einer millimeterskalierten stumpfen Parodontalsonde ausgehend von der Implantatschulter bei Tissue-Level- und Implantatkante bei Bone-Level-Implantaten bis zur marginalen Grenze der Gingiva. In dieser Studie legte eine Ja / Nein-Entscheidung das Vorliegen oder das Fehlen von fixierter Gingiva fest.

Von insgesamt 995 Implantaten lag bei $n = 171$ Implantaten, bei 32 Personen (11,15 %), eine labial oder bukkal gelegene Rezession vor. Von diesen 171 Rezessionen hatten 82 eine Länge von 1 mm, 45 von 2 mm, 26 von 3 mm, 13 von 4 mm und 1 von 7 mm. Kein Implantat hatte eine Rezession von 6 mm (Abb. 11). Bei Bone-Level-Implantaten lagen insgesamt wenig Rezessionen vor mit $n = 17$ (7,1 %), bei Tissue-Level betrug die Anzahl der Implantate mit vorliegender Rezession bei $n = 154$ (20,4 %).

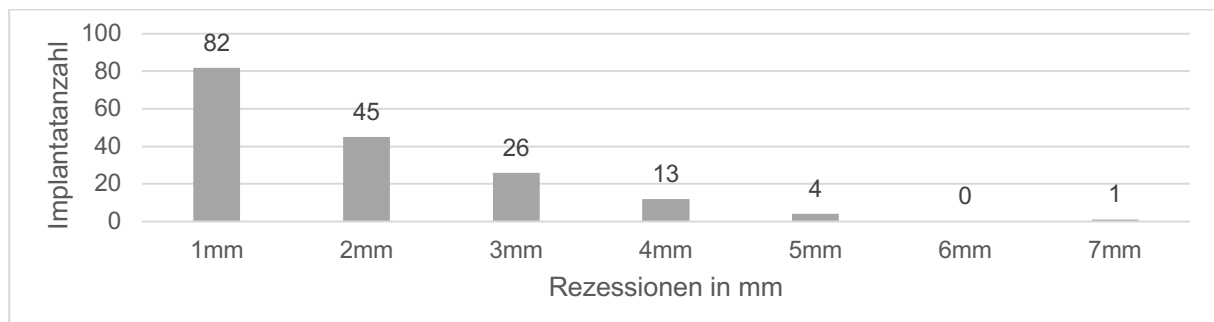


Abbildung 11: Deskriptive Statistik, Verteilung der vorhandenen Rezessionen mit Millimeter-Angabe bezogen auf die Implantatzahl

Bei insgesamt $n = 925$ Implantaten (92,96 %) lag eine fixierte Gingiva um das Abutment herum vor. Nur $n = 70$ Implantate (7,04 %) bei zehn Personen (3,48 %) wiesen im vestibulären Bereich eine bewegliche Gingiva auf. Bei TL-Implantaten lag bei insgesamt $n = 55$ keine fixierte Gingiva vor (Tab. 21).

Fixierte Gingiva	Nein	%	Ja	%
RN-S	38	10,9 %	312	89,1 %
RN-SP	12	5,7 %	197	94,3 %
WN-S	3	3,0 %	98	97,0 %
WN-SP	2	2,1 %	94	97,9 %

Anmerkung: n = Stichprobengröße

Tabelle 21: Deskriptive Statistik, fixierte Gingiva an TL-Implantaten bezogen auf Standard und Standard Plus

3.4.4 Röntgenlogischer Knochenabbau

Röntgenologisch sichtbare Knochenverluste wurden anhand von einheitlichen Landmarkern erfasst. Die Messungen erfolgten bei Tissue-Level-Implantaten ab der Implantatschulter bis zum tiefsten Punkt des röntgenologisch sichtbaren Knochenabbaus. Bei Bone-Level-Implantaten wurde von dem äußeren Implantatrand bis zum tiefsten Punkt des

röntgenologisch sichtbaren Knochenabbaus gemessen. Gemessen wurde jeweils mesial und distal am Implantat und der größte Wert wurde ermittelt. Kalibriert wurde über die jeweilige bekannte Gewindesteigung. Bei TL-Implantaten lag laut Herstellerangaben die Gewindesteigung bei einem Durchmesser von 3,3 mm bei 1 mm und bei allen anderen Durchmessern bei 1,25 mm. Bei BL-Implantaten betrug die jeweilige Gewindesteigung 0,8 mm (Straumann, 2024). Um den Vergrößerungsfaktor zu berechnen wurde der röntgenologisch gemessene Gewindeabstand zum tatsächlichen Gewindeabstand in Millimetern ins Verhältnis gesetzt. Der tiefste mesial oder distal gemessene Wert des Knochenabbaus im Verhältnis des Kalibrierungsfaktors gab den realen Knochenabbau an. Die unbeschichteten Halspartien der Tissue-Level-Implantate wurden dabei von den ermittelten Werten abgezogen. Bei den Standard-Implantaten betrug der Abzug also 2,8 mm und bei Standard-Plus-Implantaten 1,8 mm. Negative Werte wurden als Null-Werte (kein messbarer Knochenabbau) gewertet und in der statistischen Analyse mit 0 mm angegeben.

Standard Implantat = (berechneter röntgenologischer Knochenabbau [mm] - 2,8 mm)

Standard Plus Implantat = (berechneter röntgenologischer Knochenabbau [mm] - 1,8 mm)

Der röntgenologische Knochenabbau wurde bei $n = 296$ Implantaten (29,75 %) anhand eines vorhandenen Zahnfilms (ZF) und bei $n = 699$ Implantaten (70,25 %) anhand eines Orthopantomogramms (OPG) gemessen. Insgesamt konnte bei $n = 294$ Implantaten kein röntgenologischer Knochenabbau festgestellt werden, wohingegen $n = 701$ Implantate einen röntgenologischen Knochenrückgang zeigten. Bei der Betrachtung des röntgenologisch periimplantären marginalen Knochenabbaus der untersuchten Implantate, unabhängig vom Typ, zeigte sich ein durchschnittlicher Knochenabbau von $M = 1,21$ mm ($\pm 1,43$ mm). Bei $n = 294$ Implantaten lag kein messbarer Knochenabbau vor, daher betrug die untere Quartilsgrenze 0 mm, während bei 75 % der Implantate ein Knochenabbau $\leq 1,70$ mm dokumentiert wurde. Der maximal gemessene Knochenabbau lag bei 9,30 mm (Tab. 22). Die rein deskriptive Zusammenfassung des gemessenen Knochenabbaus in Millimetern kann der Abbildung 12 entnommen werden.

Knochenabbau	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
	995	1,21	1,43	0,00	1,70	0,00	9,30

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 22: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) unabhängig vom Implantattyp

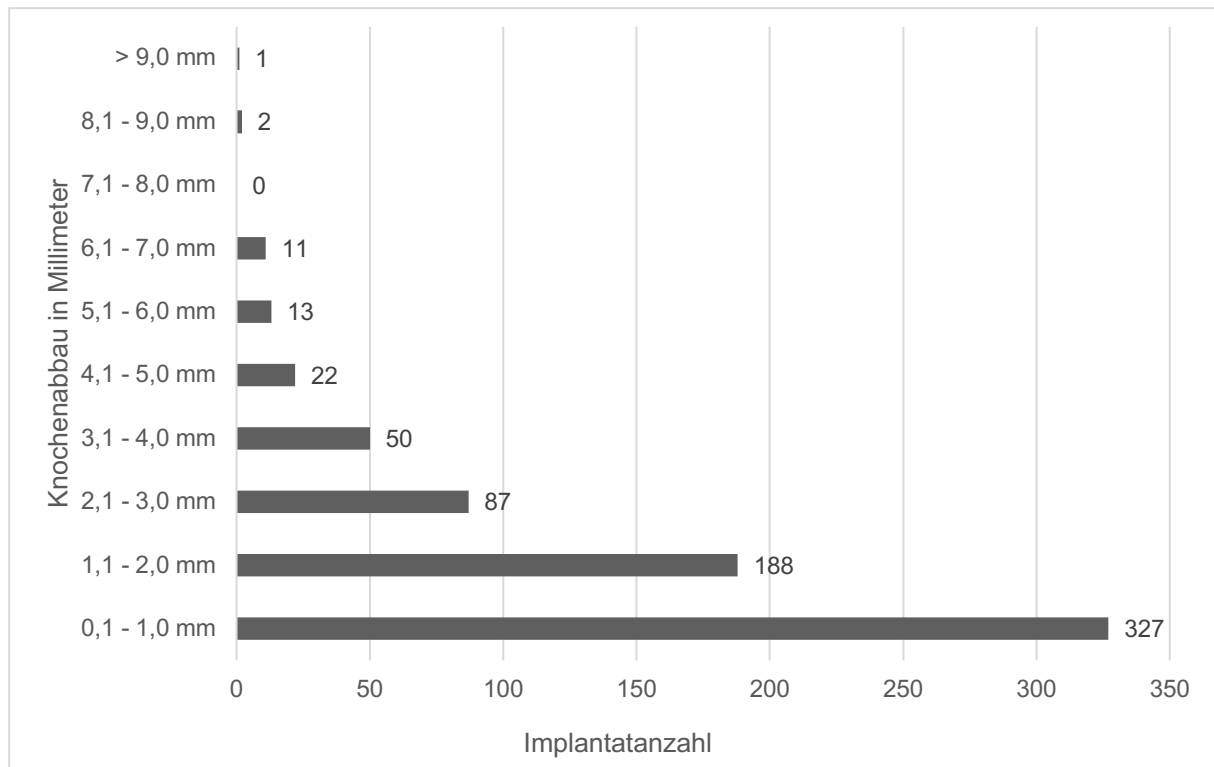


Abbildung 12: Deskriptive Statistik, jeweilige Anzahl der Implantate mit röntgenologischem Knochenabbau in Millimetern

Röntgenologischer Knochenabbau bezogen auf Tissue-Level Implantate

RN-Implantate zeigten höheren durchschnittlichen Knochenabbau bei Standard ($n = 350$) von $M = 1,41$ mm ($\pm 1,59$ mm) und Standard Plus ($n = 209$) von $M = 1,47$ mm ($\pm 1,41$ mm) als WN-Implantate mit einem durchschnittlichen Knochenabbau von $M = 0,99$ mm ($\pm 1,16$ mm) bei Standard ($n = 101$) und $M = 1,02$ mm ($\pm 1,51$ mm) bei Standard Plus ($n = 96$) (Tab. 23).

Tissue_Neck	Tissue_Plus	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
RN	S	350	1,41	1,59	0,0	2,0	0	7,0
RN	SP	209	1,47	1,41	0,5	2,0	0	8,2
WN	S	101	0,99	1,16	0,0	1,4	0	5,5
WN	SP	96	1,02	1,51	0,0	1,5	0	9,3

Anmerkung. n = Anzahl Beobachtungen, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 23: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) an Tissue-Level Implantaten

Röntgenologischer Knochenabbau bezogen auf Bone-Level Implantate

Es zeigte sich ein durchschnittlicher Knochenabbau von $M = 0,76$ mm ($\pm 1,11$ mm) für das RC-System ($n = 148$). Der maximal verzeichnete Knochenverlust lag bei 5,5 mm. Ein höherer

durchschnittlicher Knochenabbau lag beim NC-System ($n = 91$) von $M = 1,06$ mm ($\pm 1,22$ mm) vor. Im Vergleich zum RC-System lag ein etwas geringerer maximaler Knochenverlust von 4,7 mm vor (Tab. 24). Betrachtet man den Knochenabbau in den einzelnen Kieferbereichen ließ sich ein Knochenabbau von maximal 5,50 mm ($\pm 0,81$ mm $\pm 1,12$ mm) im OK bei $n = 157$ Implantaten und 4,70 mm ($\pm 0,90$ mm $\pm 0,90$ mm) im UK bei einer Implantatanzahl von $n = 82$ beobachten (Tab. 25).

Bone-Level	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
RC	148	0,76	1,11	0,00	1,02	0,00	5,50
NC	91	1,06	1,22	0,00	1,70	0,00	4,70

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 24: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level

Bone-Level	n	M	SD	Q1	Q3	Min	Max
Mandibula	82	0,81	1,12	0,00	1,08	0,00	4,70
Maxilla	157	0,90	0,5	0,00	1,70	0,00	5,50

Anmerkung. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n = Anzahl Beobachtungen, Q1 = unteres Quartil, Q3 = oberes Quartil

Tabelle 25: Deskriptive Statistik, röntgenologischer Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level bezogen auf die Kiefer

3.5 Prothetische Versorgung

3.5.1 Klassifikation des prothetischen Befundes

Unterschieden wurde in Ober- und Unterkiefer sowie in Seiten- und Frontzahnbereich. Eine weitere Unterteilung fand in Einzelzahn-, Schaltlückenversorgung und Freiendsituation oder der Versorgung im zahnlosen Kiefer statt. Im Rahmen der implantatprothetischen Versorgung wurden insgesamt $n = 39$ Implantate bei 14 Personen zur Rehabilitation von einzelnen Freiendsituationen inseriert. Weitere $n = 147$ Implantate bei 97 Personen kamen in einzelnen Schaltlücken zum Einsatz. In zahnlosen Kiefern, unabhängig von der Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer, wurden $n = 185$ Implantate bei 35 Personen inseriert. Die Versorgung größerer Schaltlücken, bei denen mehrere Implantate erforderlich waren, erfolgte mit insgesamt $n = 217$ Implantaten bei insgesamt 64 Personen. Den größten Anteil bildeten jedoch

die ausgedehnten Freiendsituationen, die mit $n = 407$ Implantaten bei 77 Patient*innen versorgt wurden (Tab. 26).

Befund	n (Implantate)	%	n (Patient*innen)	%
Schaltlücke	217	21,81 %	64	22,30 %
Freiende	407	40,90 %	77	26,83 %
Zahnlos	185	18,59 %	35	12,20 %
Schaltlücke E	147	14,77 %	97	33,80 %
Freiende E	39	3,92 %	14	4,88 %

Anmerkung: n = Stichprobengröße, E = Einzelversorgung

Tabelle 26: Deskriptive Statistik, Verteilung der Implantate bezogen auf den prothetischen Befund auf Implantat- und Patient*innenebene

3.5.2 Art der prothetischen Versorgung und Befestigung der Suprakonstruktionen

Die Art der eingegliederten prothetischen Versorgung wurde unterteilt in Kronen- oder Brückenversorgungen, Teleskopversorgungen und Steg- oder Locatorstrukturen. Locatorabutments wurden nicht nur bei zahnlosen Patient*innen verwendet, sondern auch bei Teilbezahnung zur besseren Fixierung der Sekundärkonstruktion oder zur Pfeilervermehrung. Die Kombination einer zahnimplantatgetragenen Brücke, der sogenannten Hybrid- oder Verbundbrücke, kam sehr selten zum Einsatz. Daher fand diese Art der Versorgung hier keine Berücksichtigung. Darüber hinaus erfolgte die Differenzierung übergeordnet in festsitzenden oder herausnehmbaren Zahnersatz (Tab. 27). Weitere Unterteilung fand innerhalb der Befestigung der Suprakonstruktion statt. Berücksichtigt wurden Verschraubungen oder Zementierungen der prothetischen Versorgung.

Festsitzender ZE	Herausnehmbarer ZE
Kronen	Teleskopprothesen
Verblockte Kronen	Stegprothesen
Brücken	Locatorprothesen
	Kombinationsprothesen

Anmerkung. ZE = Zahnersatz

Tabelle 27: Tabellarische Übersicht über die Art der prothetischen Versorgung (festsitzend / herausnehmbar)

Bei einem Großteil, das heißt bei $n = 696$ Implantaten (69,95 %) bei $n = 196$ Patient*innen (68,29 %), wurden die Suprakonstruktionen zementiert. Eine Verschraubung der prothetischen

Versorgung fand bei $n = 299$ Implantaten (30,05 %) bei $n = 91$ Patient*innen (31,71 %) statt. Die Auswertung der verwendeten Suprakonstruktionen zeigte eine deutliche Verteilung hinsichtlich der prothetischen Versorgungsformen. Den größten Anteil stellten verblockte Kronen dar, die auf $n = 355$ Implantaten inseriert wurden. Unverblockte Einzelkronen kamen auf $n = 218$ Implantaten zum Einsatz. Bei $n = 194$ Implantaten wurden festsitzende Brückenkonstruktionen realisiert. Eine Versorgung mittels Doppelkronensystem (Teleskopkronen) erfolgte bei $n = 72$ Implantaten. Stegverbindungen wurden auf $n = 82$ Implantaten eingesetzt, während $n = 70$ Implantate mit Locatoren versorgt wurden. In vier Fällen kam eine kombinierte Versorgung aus Steg- und Teleskopkonstruktion zur Anwendung. Eine schematische Darstellung der Verteilung der Suprakonstruktionen findet sich in Tabelle 28.

<u>Kategorie</u>	<u>n</u> <u>(Implantate)</u>	<u>Prozentuale</u> <u>Verteilung</u> <u>(%)</u>	<u>n</u> <u>(Patient*innen)</u>	<u>Prozentuale</u> <u>Verteilung</u> <u>(%)</u>
Verblockte Kronen	355	35,68 %	69	24,04 %
Unverblockte Kronen	218	21,91 %	118	41,11 %
Brückenkonstruktion	194	19,50 %	43	14,98 %
Steg-Prothese	82	8,24 %	17	5,92 %
Teleskop-Prothese	72	7,24 %	16	5,57 %
Locator-Prothese	70	7,04 %	23	8,01 %
Steg-Teleskop-Prothese	4	0,40 %	1	0,35 %

Anmerkung: n = Stichprobengröße

Tabelle 28: Deskriptive Statistik, Verteilung der Häufigkeiten verwendeter prothetischer Versorgungen der Implantate mit prozentualem Anteil bezogen auf Implantat- und Patient*innenebene

3.5.3 Prothetische Komplikationen

Zu den prothetischen Komplikationen zählen Lockerung, Lösen oder Fraktur der Suprakonstruktionen, bzw. der Schrauben, Chipping der Keramikverblendungen, Fraktur der Prothesen, des Abutments oder des Implantates. Alle Abutmentschrauben wurden von den Behandlerinnen und Behandlern mit einem Drehmomentschlüssel gemäß Herstellerangaben festgezogen (35 Ncm für primäre und 15 Ncm bei sekundären Schraubverbindungen) (Straumann, 2017). Prothetische Komplikationen lagen bei $n = 75$ (7,54 %) Implantaten bei 22 Patient*innen (7,67 %) vor. Darunter fielen Chipping der Keramik- oder

Kunststoffverblendungen, Lösen oder Lockerung der Kronen- oder Brückenkonstruktion, Abrasionen (Schliffacetten), Chipping im Zusammenhang mit Abrasionen, fehlende Kontaktpunkte (approximal) und Fraktur des Abutments.

3.6 Statistische Methoden

Die Datenerfassung erfolgte mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 1985). Die gesamte statistische Auswertung wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Noack Statistik und dem Statistikprogramm RStudio (Posit PBC, Boston, Massachusetts, USA, Version 2025.05.1+513) umgesetzt. Zur deskriptiven Auswertung und Ergebnisdarstellung der Stichproben wurden metrische Messwerte (z.B. Alter, Knochenabbau und Sondierungstiefe) mit Angabe von Mittelwert, Standardabweichungen und Quartilen berechnet. Kategoriale Variablen (z.B. BOP, Pus und Nikotinkonsum) wurden durch absolute Häufigkeiten (n) und relative Häufigkeiten (%) abgebildet. Für die Untersuchung der Hypothesen wurden folgende Modelle verwendet:

- LMM (Linear Mixed Modell)
- Robustes LMM
- Post-hoc-Tests
- Bayes-Modell

Die Hypothesenprüfung erfolgte durch eine primäre Hypothese H1, die die Grundlage der Hauptanalyse bildete. Alle weiteren Hypothesen (H2-H10) erfolgten explorativ, um ergänzende Fragestellungen zu prüfen und zusätzliche Risikofaktoren und Zusammenhänge zu identifizieren. Neben den p-Werten (robustes LMM) und Odds Ratio (Bayes-Modell) wurden daher die Effektgrößen und 95 %-Konfidenzintervalle (robustes LMM) und 95 %-Kreditabilitätsintervalle (Bayes-Modell) angegeben. Ein robustes LMM wurde bei den Hypothesen 1, 2, 3, 6, 7, 8 angewendet und das Bayes-Modell bei den Hypothesen 4, 5, 9, und 10. Zusätzliche Post-hoc-Tests wurden bei den Hypothesen 2 und 8 angewendet. Explantationen wurden deskriptiv berichtet und aus den multivariaten Analysen ausgeschlossen. Zur Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate erfolgten Kaplan-Meier-Analysen nach Systemgruppen.

LMM / robustes LMM (Post-hoc-Tests)

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Anzahl an Beobachtungen (untersuchten Implantaten) pro Person wurde das LMM verwendet. Dieses Modell erlaubt personenbedingte Varianz und Fehlervarianz in den wiederholten Messungen durch Modellierung von Fixed und

Random Effects zu trennen. Da das Modell eine Struktur der wiederholten Messungen und den Unterschied der Anzahl der Messungen pro Person berücksichtigt, war dies besonders effektiv bei der Auswertung der Stichprobengröße, ohne Patient*innen / Implantationen ausschließen zu müssen. Die im Rahmen dieses Modells berichteten Daten stellen geschätzte Modellwerte dar. Die Fixed Effects beschreiben dabei den Einfluss der unterschiedlichen Prädiktoren, wobei sich die Random Effects auf die mehrfachen Beobachtungen innerhalb einer Person beziehen. Dabei wird die Variabilität des zu untersuchenden Effekts zwischen den einzelnen Personen abgebildet. Zu den Random Effects zählen die Varianz der Residuen (σ^2), die Varianz der Random Intercepts (τ_{00}) und die Gesamtvarianz, der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC). Zu den multiplen Determinationskoeffizienten (R^2) gehören das Marginal R^2 , also der Anteil aufgeklärter Varianz durch die Fixed Effects allein und der Anteil aufgeklärter Varianz durch Fixed und Random Effects (Conditional R^2). Werden Fixed und Random Effects kombiniert untersucht spricht man von einem Random-Intercept-Modell, welches die unterschiedlichen Ausgangsniveaus der Patient*innen modelliert, während die Effekte der Prädiktoren gleichbleiben. Durch die Prüfungen der Voraussetzungen für das LMM und einer fehlenden Homoskedastizität aufgrund von Ausreißern wurde ein robustes LMM verwendet. Die Ergebnisse wurden anhand des unstandardisierten Regressionskoeffizienten (Estimate, b) und des 95 %-Konfidenzintervalls (95 %-KI) dargestellt. Durch den p-Wert wurde im Rahmen der Hauptanalyse die Signifikanz mit einem Signifikanzniveau von 5 % ($\alpha = 0,05$, $p \leq \alpha$) angegeben. Zur Prüfung von Interaktionseffekten zwischen mehreren Gruppen wurden bei H2 und H8 zusätzliche Post-hoc-Tests nach einer einfaktoriellen ANOVA (Varianzanalyse) durchgeführt. Dabei wurden zur genauen Bestimmung von signifikanten Unterschieden innerhalb des Implantatsystems (RC, NC, RN-S, RN-SP, WN-S, WN-SP) paarweise Vergleiche angestellt.

Bayes-Modell

Die Untersuchungen von binären Variablen, wie BOP oder Pus und einer geringen Stichprobengröße wurden anhand eines Bayes-Modells umgesetzt. Das Regressionsmodell für dichotome Größen schätzt Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines Ereignisses. Erfasst wurden Odds Ratio (Verhältnis der Wahrscheinlichkeit zwischen Eintritt eines Ereignisses und Nicht-Eintreten eines Ereignisses), 95 %-Kreditabilitätsintervalle zur Signifikanzprüfung und posterior probability of direction (pd) zur Bemessung der Stärke der Evidenz in Bezug auf die Effektrichtung. Um die Modellschätzung zu stabilisieren wurden schwach informative Priors verwendet, die extreme Ausreißer ausschließen ohne die Schätzung insgesamt stark zu beeinflussen. Durch das Markov-Chain-Monte-Carlo-Verfahren (MCMC) erfolgte die Schätzung über 4 Chains mit je 4000 Iterationen.

Variablen

Als unabhängige Variablen (UV) wurden das Implantatsystem BL- und TL-Implantate, Bone-Level RC und NC, Tissue-Level RN und WN und Tissue-Level S und SP verwendet. Die abhängigen Variablen (AV) stellten die Sondierungstiefen (numerisch in mm) jeweils mesial und distal gemessen, die Rezessionen (dichotom), das Vorhandensein von fixierter Gingiva (dichotom), den röntgenologischen Knochenabbau (numerisch in mm), das Vorhandensein von Blutungspunkten und Suppuration (dichotom) und das Recall-Verhalten der Patient*innen (numerisch in Monaten) dar. Als weitere Prädiktoren dienten das Alter, Geschlecht, eine parodontale Vorerkrankung, der Nikotinkonsum, der Implantatdurchmesser und die Implantatlänge. Ebenso wurden eine chirurgische Augmentation und Sinuslift-Operation, die Implantatregion und die Kieferbereiche (OK und UK) als Prädiktoren aufgegriffen. Weitere Kontrollvariablen waren der prothetische Befund (Schallücke, Freundsituation oder der zahnlose Kiefer), die prothetische Versorgung (festsitzend oder herausnehmbar), die Art der Befestigung (Zementierung oder Verschraubung) der Suprakonstruktion sowie die jeweiligen Komplikationen. Gleichmaßen wurden die Blutungspunkte, Suppurationen, das Recall-Verhalten, der röntgenologische Knochenabbau und die Art der röntgenologischen Aufnahmen (OPG oder Zahnfilm) als Prädiktoren aufgenommen.

Kaplan-Meier-Analyse (Log-Rank-Tests)

Die Implantatüberlebenswahrscheinlichkeit wurde mit Hilfe der Kaplan-Meier-Methode analysiert und die Überlebensraten nach 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Jahren ermittelt. Der Implantatverlust definiert ein Ereignis. Als Zensur wurden Implantate gewertet, die bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes erhalten blieben. Die Durchführung einer multivariaten Cox-Regression war aufgrund der geringen Anzahl an Explantationen ($n = 21$) statistisch nicht sinnvoll und lieferte kein stabiles Ergebnis. Daher wurden weitere Analysen nach Kaplan-Meier mit gruppenweisen Vergleichen durchgeführt. Die Gruppierungen bezogen sich auf klinisch relevante Merkmale (Alter, Geschlecht, Nikotinkonsum, Parodontitis, Implantattyp (BL / TL), Implantatdurchmesser und -länge, Recall-Intervall und Kiefer (OK / UK). Zur Prüfung der Signifikanz wurde der Log-Rank-Test verwendet. Ein p-Wert von $< 0,05$ wurde als statistisch signifikant gewertet.

Deskriptive Auswertung und Vergleich der Implantate in situ mit den Implantatverlusten hinsichtlich klinischer Parameter

Die Datenanalyse erfolgte zweistufig. Zunächst wurden die Implantate und die Implantatverluste deskriptiv, anhand von absoluten und relativen Häufigkeiten ausgewertet. Danach folgte eine Untersuchung der signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen mittels Chi-Quadrat-Test für kategoriale Daten. Dabei wurden beide Gruppen mit patient*innen und implantatbezogenen Variablen gegenübergestellt. Berücksichtigt wurden

dabei das Alter, das Geschlecht, der Nikotinstatus, eine parodontale Vorerkrankung, der Implantatdurchmesser und die Implantatlänge, der Implantattyp (BL / TL), augmentative Verfahren (sowie Sinuslift-Operationen), die Kieferlage (OK / UK) und das Recall-Verhalten. Dabei wurde ein p-Wert von $< 0,05$ als statistisch signifikant gewertet.

4. Ergebnisse

4.1 Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit

Anhand der Kaplan-Meier-Analyse lässt sich eine insgesamt hohe geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate über den gesamten Beobachtungszeitraum feststellen. Zu Beginn liegt eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $> 99\%$ vor, die auch im weiteren Verlauf nur geringfügig abnimmt (Abb. 13). Eine Übersicht über die geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeiten nach 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Jahren zeigt die untenstehende Tabelle 29. Dabei zeigt sich eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit von $99,0\%$ nach 5 Jahren, $98,7\%$ nach 10 Jahren, $97,5\%$ nach 15 Jahren, $96,8\%$ nach 20 Jahren, $95,9\%$ nach 25 und nach 30 Jahren.

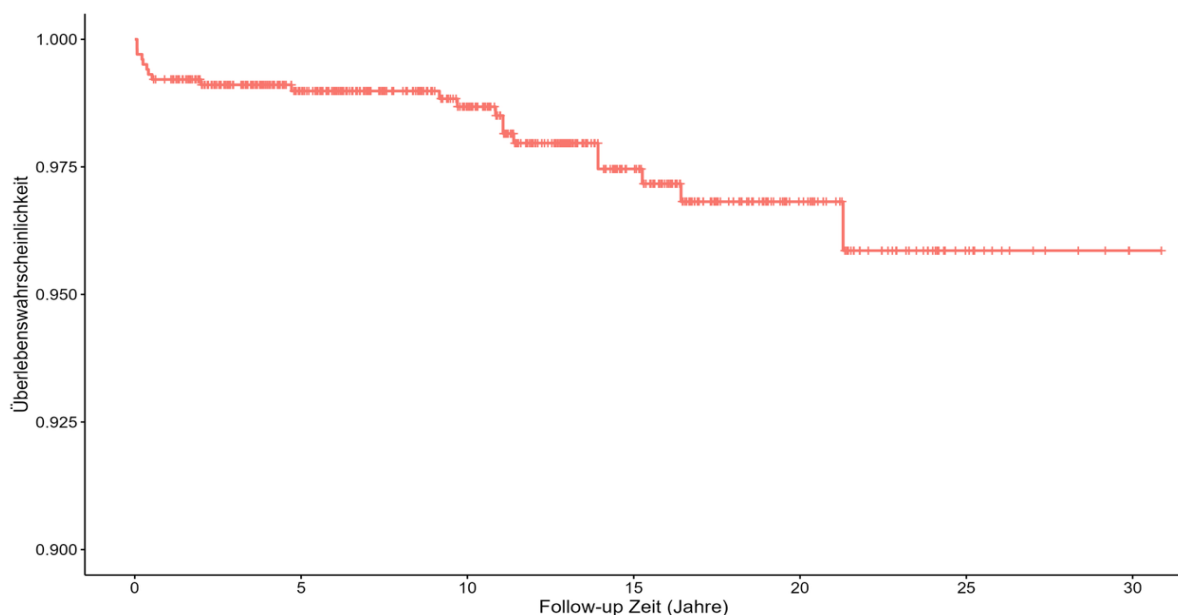


Abbildung 13: Kaplan-Meier-Überlebenswahrscheinlichkeit

<u>Follow-up</u> <u>in Jahren</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0 Jahre	1016	0	100 %	100 %
5 Jahre	793	10	99,0 %	98,4 – 99,6 %

10 Jahre	612	2	98,7 %	97,9 – 99,4 %
15 Jahre	345	6	97,5 %	96,2 – 98,7 %
20 Jahre	130	2	96,8 %	95,3 – 98,3 %
25 Jahre	30	1	95,9 %	93,5 – 98,3 %
30 Jahre	2	0	95,9 %	93,5 – 98,3 %

Tabelle 29: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von fünf Jahren

A) Alter

Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate bei Patient*innen mit einem Alter > 60 Jahren belief sich bei einem Follow-up von 30 Jahren auf etwa 95 % (95 %-KI: 92,5 - 98,0 %) (Tab. 30). In der Altersgruppe zwischen 30 und 60 Jahren belief sich die geschätzte Überlebensrate nach 25 Jahren auf 99,5 % (95 %-KI: 98,6 - 100 %) (Tab. 31). Der Log-Rank-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen (Log-Rank-Test: $p = 0,1$).

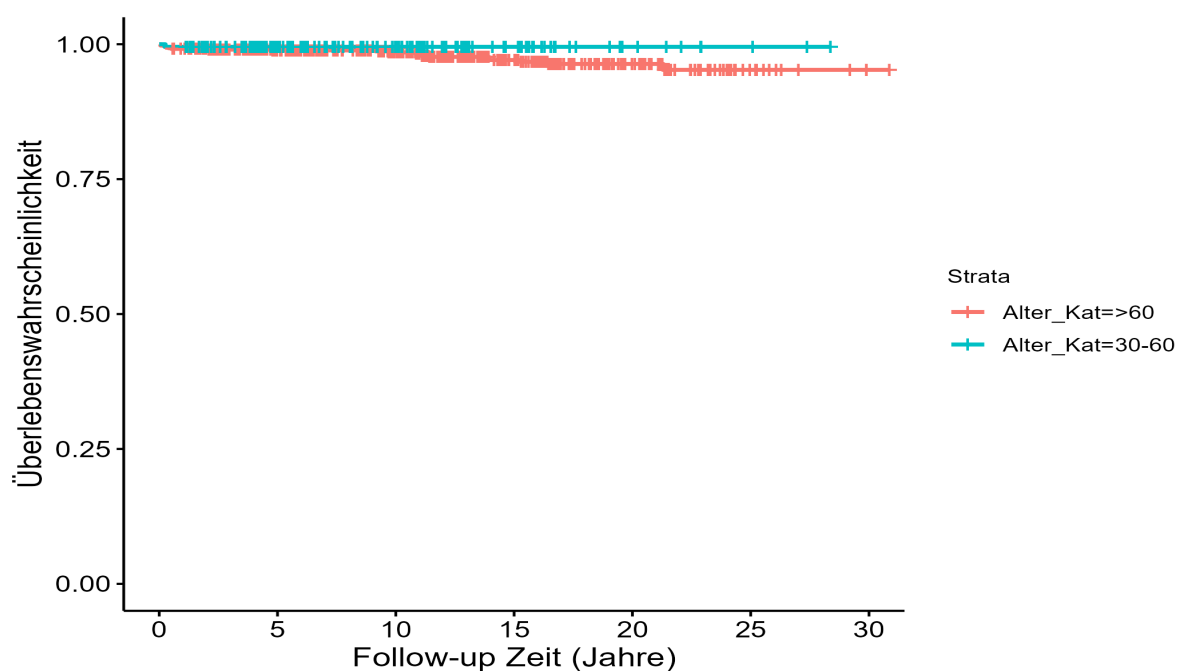


Abbildung 14: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Alters der Patient*innen

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	809	0	100 %	100 %
5	647	9	98,9 %	98,1 – 99,6 %
10	516	2	98,5 %	97,6 – 99,4 %

15	299	6	97,1 %	95,6 – 98,5 %
20	116	2	96,3 %	94,6 – 98,1 %
25	24	1	95,3 %	92,5 – 98,0 %
30	2	0	95,3 %	92,5 – 98,0 %

Tabelle 30: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Alter von > 60 Jahren

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	207	0	100 %	100 %
5	146	1	99,5 %	98,6 – 100 %
10	96	0	99,5 %	98,6 – 100 %
15	46	0	99,5 %	98,6 – 100 %
20	14	0	99,5 %	98,6 – 100 %
25	6	0	99,5 %	98,6 – 100 %

Tabelle 31: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Alter zwischen 30-60 Jahren

B) Nikotinkonsum

Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich signifikant (Log-Rank-Test: $p < 0,03$) zwischen Raucher*innen und Nichtraucher*innen. Bei Raucher*innen betrug nach 25 Jahren die Überlebenswahrscheinlichkeit 87,2 % (95 %-KI: 74,6 - 100 %) und bei Nichtraucher*innen nach 25 und 30 Jahren 96,3 % (95 %-KI: 93,9 - 98,8 %) (Tab. 32).

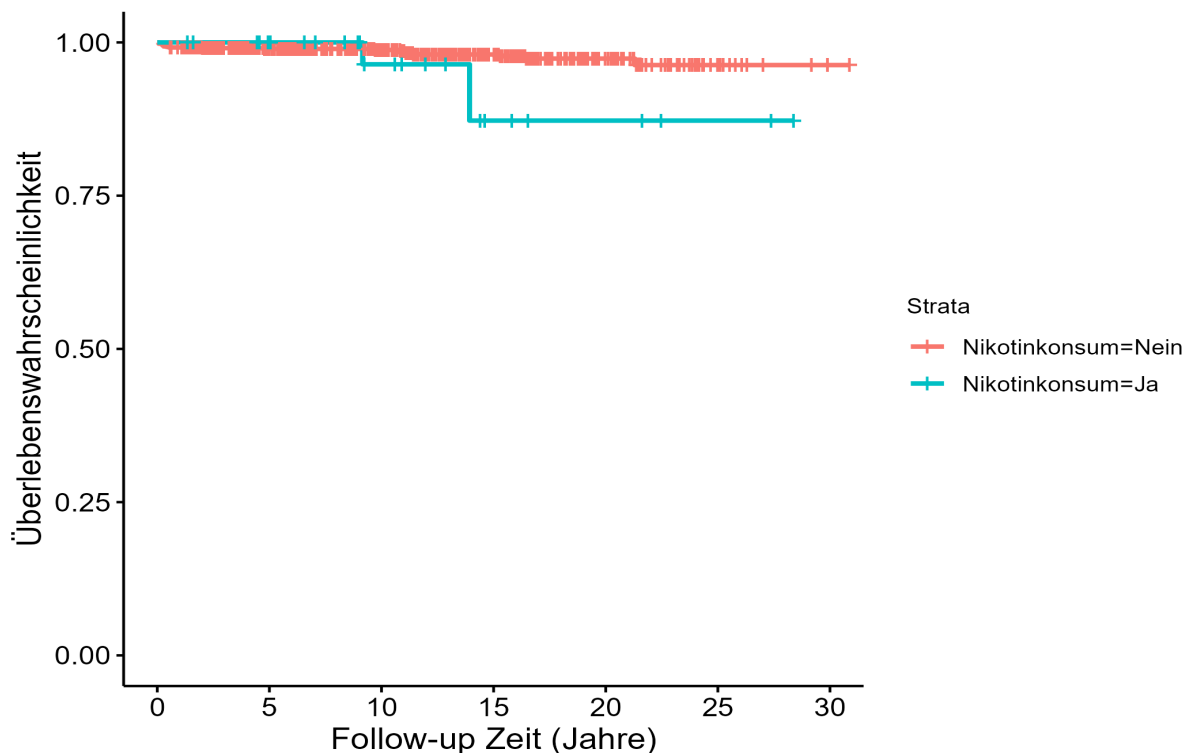


Abbildung 15: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Nikotinstatus der Patient*innen

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle (nein / ja)</u>	<u>Verluste (nein / ja)</u>	<u>Überlebens- wahrscheinlichkeit in Prozent (nein / ja)</u>	<u>Konfidenzintervall in Prozent (nein / ja)</u>
0	971 / 45	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	756 / 37	10 / 0	98,9 % / 100 %	98,3 - 99,6 % / 100 %
10	587 / 25	1 / 1	98,8 % / 96,4 %	98,1 – 99,5 % / 89,8 – 100 %
15	333 / 12	4 / 2	98,0 % / 87,2 %	97,0 – 99,1 % / 74,6 – 100 %
20	121 / 9	2 / 0	97,4 % / 87,2 %	96,0 – 98,8 % / 74,6 – 100 %
25	26 / 4	1 / 0	96,3 % / 87,2 %	93,9 – 98,8 % / 74,6 – 100 %
30	2 / -	0 / -	96,3 % / -	93,9 – 98,8 % / -

Tabelle 32: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Patient*innen ohne Nikotinkonsum und mit Nikotinkonsum

C) Parodontale Erkrankung

Kein signifikanter Unterschied bestand in der geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeit im Unterschied zwischen einer vorliegenden parodontalen Erkrankung gegenüber Personen mit Implantaten ohne eine parodontale Erkrankung (Log-Rank-Test: $p = 0,3$). Dabei zeigte sich bei Vorhandensein einer Erkrankung eine Überlebenswahrscheinlichkeit nach 25 und 30

Jahren von 95,1 % (95 %-KI: 93,6 – 98,5 %) und bei Fehlen einer Erkrankung nach 25 Jahren von 95,7 % (95 %-KI: 91,8 – 99,8 %) (Tab. 33).

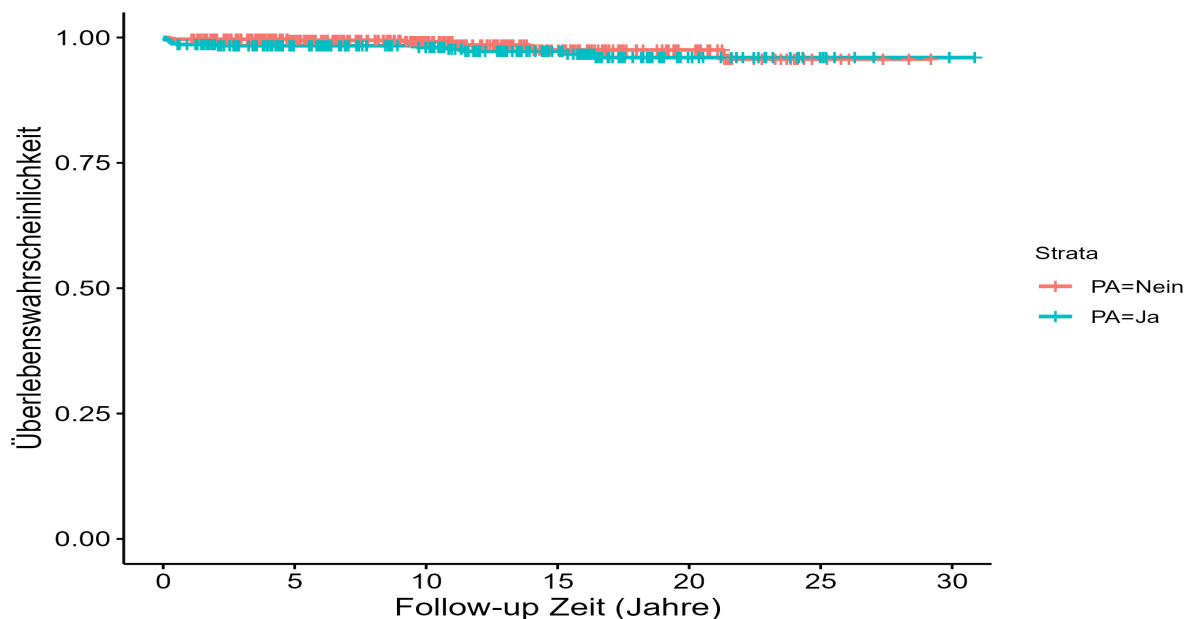


Abbildung 16: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der parodontalen Vorerkrankung der Patient*innen

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u> <u>(nein/ ja)</u>	<u>Verluste</u> <u>(nein / ja)</u>	<u>Überlebens-</u> <u>wahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u> <u>(nein / ja)</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent (nein / ja)</u>
0	585 / 431	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	458 / 335	3 / 7	99,4 % / 99,2 %	98,8 – 100 % / 97,2 – 99,6 %
10	334 / 278	1 / 1	99,2 % / 98,9 %	98,4 – 100 % / 96,6 – 99,4 %
15	169 / 176	4 / 2	97,5 % / 97,1 %	95,7 – 99,4 % / 95,5 – 99,0 %
20	71 / 59	0 / 2	97,5 % / 97,1 %	95,7 – 99,4 % / 93,6 – 98,5 %
25	15 / 15	1 / 0	95,7 % / 95,1 %	91,8 – 99,8 % / 93,6 – 98,5 %
30	- / 2	- / 0	- / 95,1 %	- / 93,6 – 98,5 %

Tabelle 33: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Patient*innen ohne und mit parodontaler Erkrankung

D) Geschlecht

Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich nicht signifikant zwischen Männern und Frauen (Log-Rank-Test: $p = 0,9$). Dabei ergab sich eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 95,4 % (95 %-KI: 90,9 – 98,8 %) bei Frauen nach 30 Jahren und nach 25 Jahren von 96,9 % (95 %-KI: 94,6 – 99,3 %) bei Männern (Tab. 34).

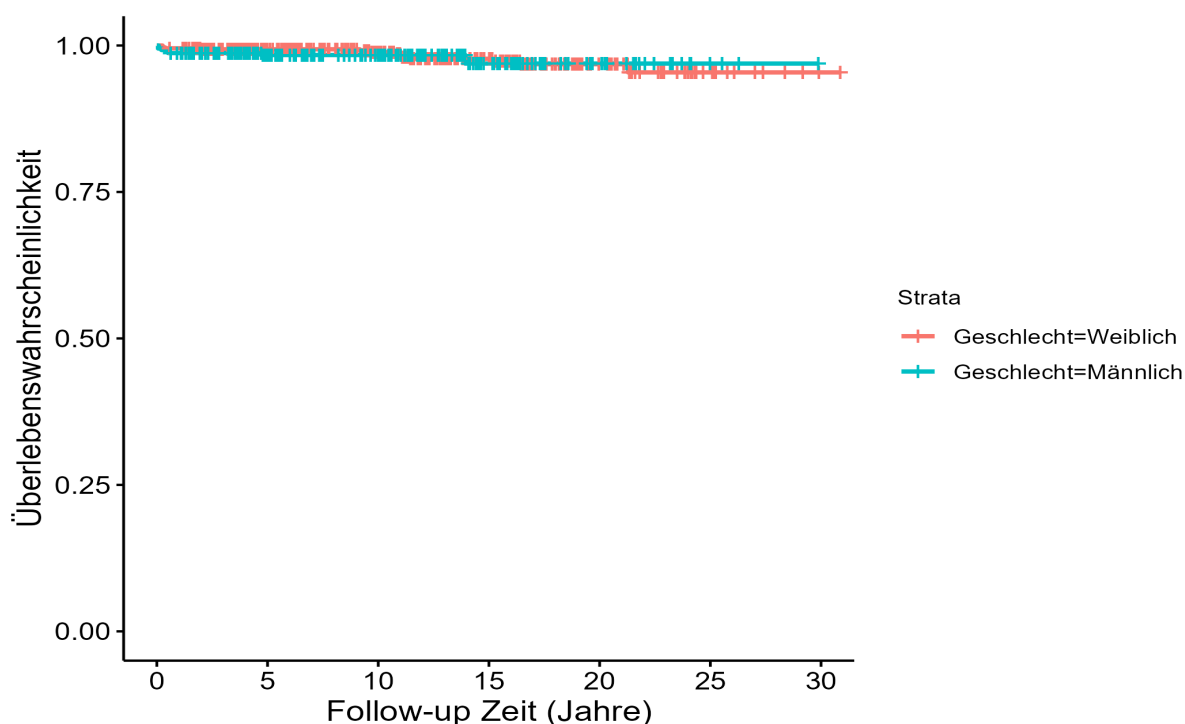


Abbildung 17: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Geschlechts der Patient*innen

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle (w / m)</u>	<u>Verluste (w / m)</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit in Prozent (w / m)</u>	<u>Konfidenzintervall in Prozent (w / m)</u>
0	630 / 386	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	506 / 287	4 / 6	99,4 % / 98,4 %	98,7 – 100 % / 97,1 – 99,7 %
10	386 / 226	2 / 0	98,9 % / 98,4 %	98,0 – 99,8 % / 97,1 – 99,7 %
15	235 / 110	4 / 2	97,7 % / 96,9 %	96,3 – 99,2 % / 94,6 – 99,3 %
20	88 / 42	2 / 0	96,8 % / 96,9 %	95,1 – 98,7 % / 94,6 – 99,3 %
25	25 / 5	1 / 0	95,4 % / 96,9 %	90,9 – 98,8 % / 94,6 – 99,3 %
30	2 / -	0 / -	95,4 % / -	90,9 – 98,8 % / -

Anmerkung: w = weiblich, m = männlich

Tabelle 34: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei Frauen und Männern

E) BL-Implantate (RC und NC)

Kein signifikanter Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit bestand zwischen den Bone-Level-Implantaten (Log-Rank-Test: $p = 1,0$). Nach 20 Jahren betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit für RC-Implantate 93,5 % (95 %-KI: 87,2 – 100 %) und nach 15 Jahren 95,5 % (95 %-KI: 90,6 – 100 %) für NC-Implantate (Tab. 35).

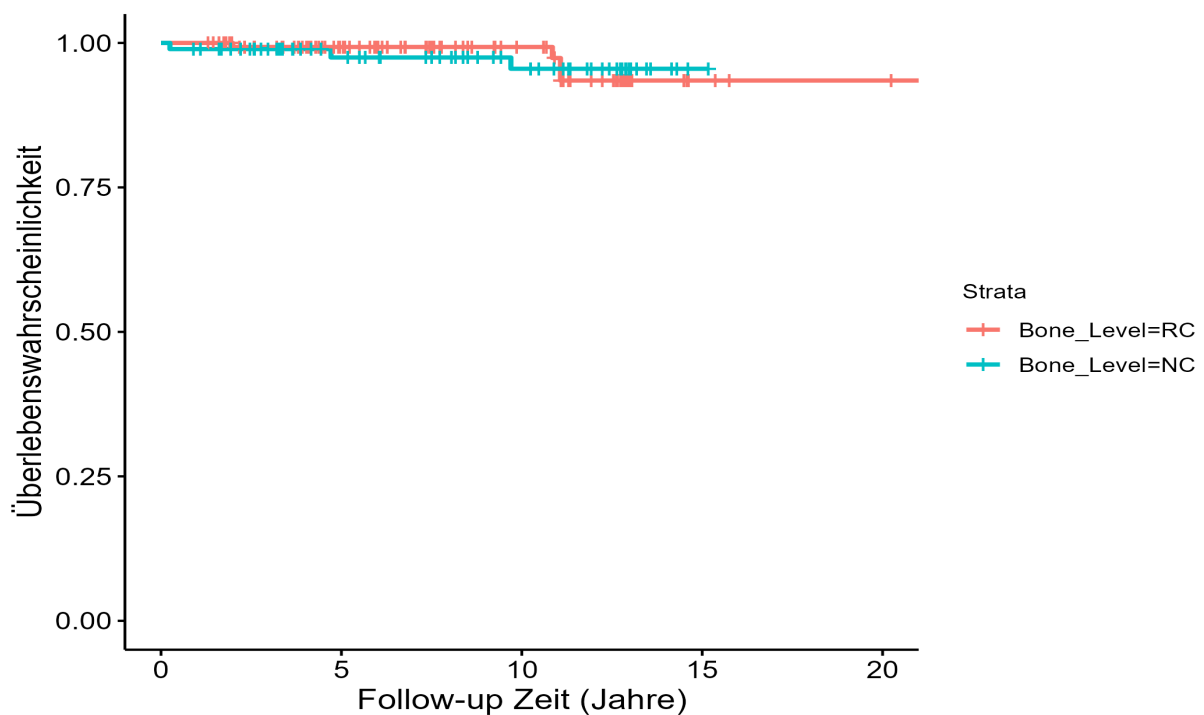


Abbildung 18: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Bone-Level-Implantatsystems

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle (RC / NC)</u>	<u>Verluste (RC / NC)</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit in Prozent (RC / NC)</u>	<u>Konfidenzintervall in Prozent (RC / NC)</u>
0	153 / 94	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	106 / 67	1 / 2	99,3 % / 97,5 %	97,9 – 100 % / 94,1 – 100 %
10	54 / 49	0 / 1	99,3 % / 95,5 %	97,9 – 100 % / 90,6 – 100 %
15	6 / 1	3 / 0	93,5 % / 95,5 %	87,2 – 100 % / 90,6 – 100 %
20	2 / -	0 / -	93,5 % / -	87,2 – 100 % / -

Tabelle 35: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei RC- und NC-Bone-Level-Implantaten

F) TL-Implantate (RN-S, RN-SP, WN-S, WN-SP)

Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich signifikant zwischen den Tissue-Level-Implantaten (Log-Rank-Test: $p < ,001$). Da kein Verlust bei den WN-SP-Implantaten verzeichnet wurde, betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit nach 20 Jahren 100 %. Für WN-S betrug sie nach 20 Jahren 92 % (95 %-KI: 84,9 – 99,6 %) (Tab. 37), für RN-S nach 30 Jahren 99,5 % (95 %-KI: 98,6 % - 100 %) und für RN-SP nach 25 Jahren 95,9 % (95 %-KI: 92,9 - 99,1 %) (Tab. 36).

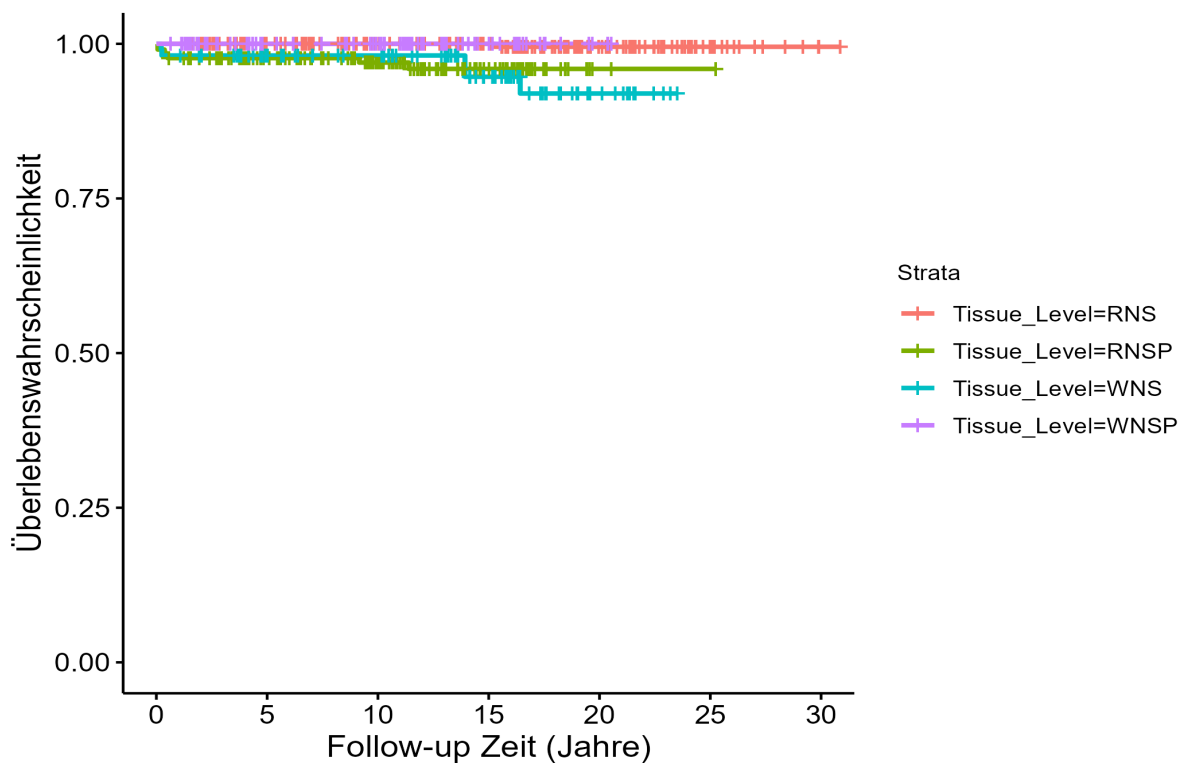


Abbildung 19: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Tissue-Level-Implantatsystems

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u> <u>(RN-S / RN-SP)</u>	<u>Verluste</u> <u>(RN-S / RN-SP)</u>	<u>Überlebens-</u> <u>wahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u> <u>(RN-S / RN-SP)</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u> <u>(RN-S / RN-SP)</u>
0	351 / 216	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	291 / 170	0 / 5	100 % / 97,7 %	100 % / 95,7 - 99,7 %
10	251 / 121	0 / 1	100 % / 97,0 %	100 % / 94,6 - 99,4 %
15	212 / 54	0 / 1	100 % / 95,9 %	100 % / 92,9 - 99,1 %
20	102 / 5	1 / 0	99,5 % / 95,9 %	98,6 – 100 % / 92,9 - 99,1 %
25	26 / 4	0 / 0	99,5 % / 95,9 %	98,6 – 100 % / 92,9 - 99,1 %
30	2 / -	0 / -	99,5 % / -	98,6 % - 100 % / -

Tabelle 36: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei RN-S- und RN-SP-TL-Implantaten

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u> <u>(WN-S / WN-SP)</u>	<u>Verluste</u> <u>(WN-S / WN-SP)</u>	<u>Überlebens-</u> <u>wahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u> <u>(WN-S / WN-SP)</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u> <u>(WN-S / WN-SP)</u>
------------------	---------------------------------------	--	---	---

0	106 / 96	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100 %
5	89 / 70	2 / 0	98,1 % / 100 %	95,6 – 100 % / 100 %
10	78 / 59	0 / 0	98,1 % / 100 %	95,6 – 100 % / 100 %
15	50 / 22	2 / 0	94,7 % / 100 %	89,5 – 100 % / 100 %
20	17 / 4	1 / 0	92,0 % / 100 %	84,9 – 99,6 % / 100 %

Tabelle 37: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei WN-S- und WN-SP-TL-Implantaten

G) Implantatdurchmesser

Kein signifikanter Zusammenhang bestand in der Überlebenswahrscheinlichkeit zwischen unterschiedlichen Implantatdurchmessern (Log-Rank-Test: $p = 0,5$). Implantate mit einem Durchmesser von 3,3 mm zeigten nach 25 Jahren eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 91,2 % (95 %-KI: 81,1 – 100 %) (Tab. 38). Implantate mit einem Durchmesser von 4,1 mm zeigten nach 30 Jahren eine 98,1 %ige (95 %-KI: 96,7 – 99,5 %) Überlebenswahrscheinlichkeit (Tab. 39) und bei einem Durchmesser von 4,8 mm lag die Wahrscheinlichkeit nach 20 Jahren bei 94,7 % (95 %-KI: 90,6 – 99,0 %) (Tab. 40).

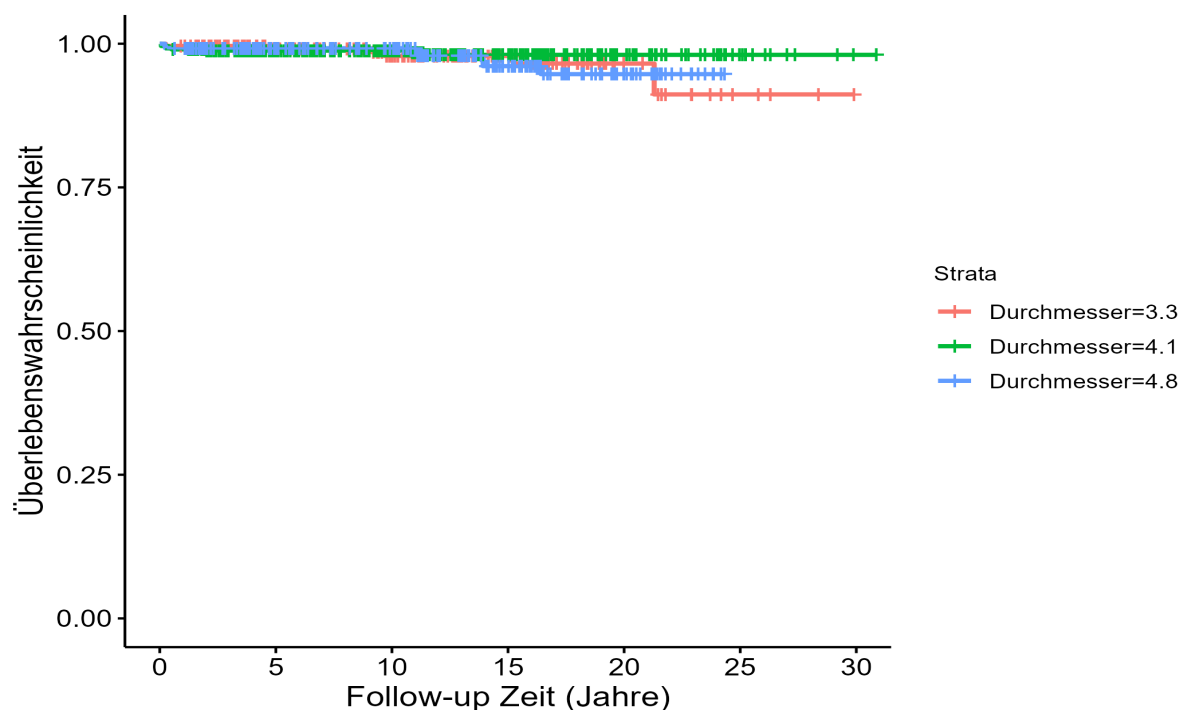


Abbildung 20: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Implantatdurchmessers

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	259	0	100 %	100 %

5	196	2	99,1 %	97,9 – 100 %
10	148	2	97,9 %	95,8 – 100 %
15	77	0	97,9 %	95,8 – 100 %
20	20	1	96,5 %	93,3 – 99,9 %
25	7	1	91,2 %	81,1 – 100 %

Tabelle 38: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 3,3 mm

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	502	0	100 %	100 %
5	394	6	98,8 %	97,8 – 99,8 %
10	292	0	98,8 %	97,8 – 99,8 %
15	174	2	98,1 %	96,7 – 99,5 %
20	74	0	98,1 %	96,7 – 99,5 %
25	23	0	98,1 %	96,7 – 99,5 %
30	2	0	98,1 %	96,7 – 99,5 %

Tabelle 39: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 4,1 mm

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	255	0	100 %	100 %
5	303	2	99,2 %	98,1 – 100 %
10	172	0	99,2 %	98,1 – 100 %
15	94	4	96,1 %	92,9 – 99,4 %
20	36	1	94,7 %	90,6 – 99,0 %

Tabelle 40: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Implantatdurchmesser von 4,8 mm

H) Implantatlänge

Die Überlebenswahrscheinlichkeit unterschied sich signifikant zwischen den unterschiedlichen Implantatlängen (Log-Rank-Test: $p < ,002$). Nach 25 Jahren betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit 86,9 % (95 %-KI: 76,5 – 98,6 %) bei 6-8 mm, nach 30 Jahren 96,4 % (95 %-KI: 93,6 – 99,3 %) bei 10-12 mm, und nach 25 Jahren 97,8 % (95 %-KI: 93,6 – 100 %) bei 14-16 mm (Tab. 41-43).

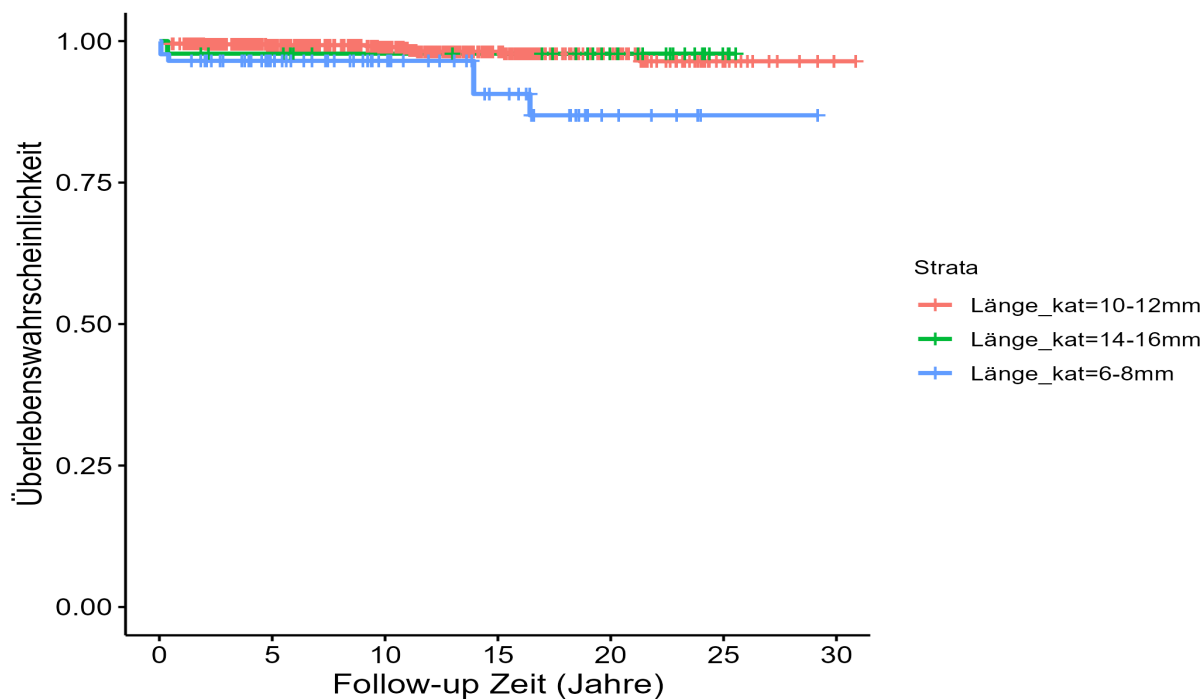


Abbildung 21: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der Implantatlänge

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	86	0	100 %	100 %
5	64	3	96,5 %	92,7 – 100 %
10	44	0	96,5 %	92,7 – 100 %
15	29	2	90,7 %	82,4 – 99,7%
20	8	1	86,9 %	76,5 – 98,6 %
25	1	0	86,9 %	76,5 – 98,6 %

Tabelle 41: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 6-8 mm

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	885	0	100 %	100 %
5	689	6	99,3 %	98,7 – 99,9 %
10	534	2	98,9 %	98,2 – 99,7 %
15	283	4	98,1 %	97,0 – 99,2%
20	99	1	97,8 %	96,5 – 99,3%
25	22	1	96,4 %	93,6 – 99,3 %

30	2	0	96,4 %	93,6 – 99,3 %
----	---	---	--------	---------------

Tabelle 42: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 10-12 mm

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	45	0	100 %	100 %
5	40	1	97,8 %	93,6 – 100 %
10	34	0	97,8 %	93,6 – 100 %
15	33	0	97,8 %	93,6 – 100 %
20	23	0	97,8 %	93,6 – 100 %
25	7	0	97,8 %	93,6 – 100 %

Tabelle 43: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einer Implantatlänge von 14-16 mm

I) Recall-Intervall

Kein signifikanter Unterschied bestand in der Überlebensrate der Implantate zwischen Patient*innen mit unterschiedlichen Recall-Intervallen (Log-Rank-Test: $p = 0,08$). Da kein Implantat bei Personen ohne regelmäßige Recall-Teilnahme verloren ging, betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit nach 20 Jahren 100 %. Bei jährlicher Teilnahme (12-24 Monate) an einem Recall-Programm betrug die Überlebensrate nach 30 Jahren 99,3 % (95 %-KI: 98,4 – 100 %) und bei kürzeren Intervallen (3-6 Monate) nach 25 Jahren 94,2 % (95 %-KI: 90,9 – 97,7 %) (Tab. 44-46).

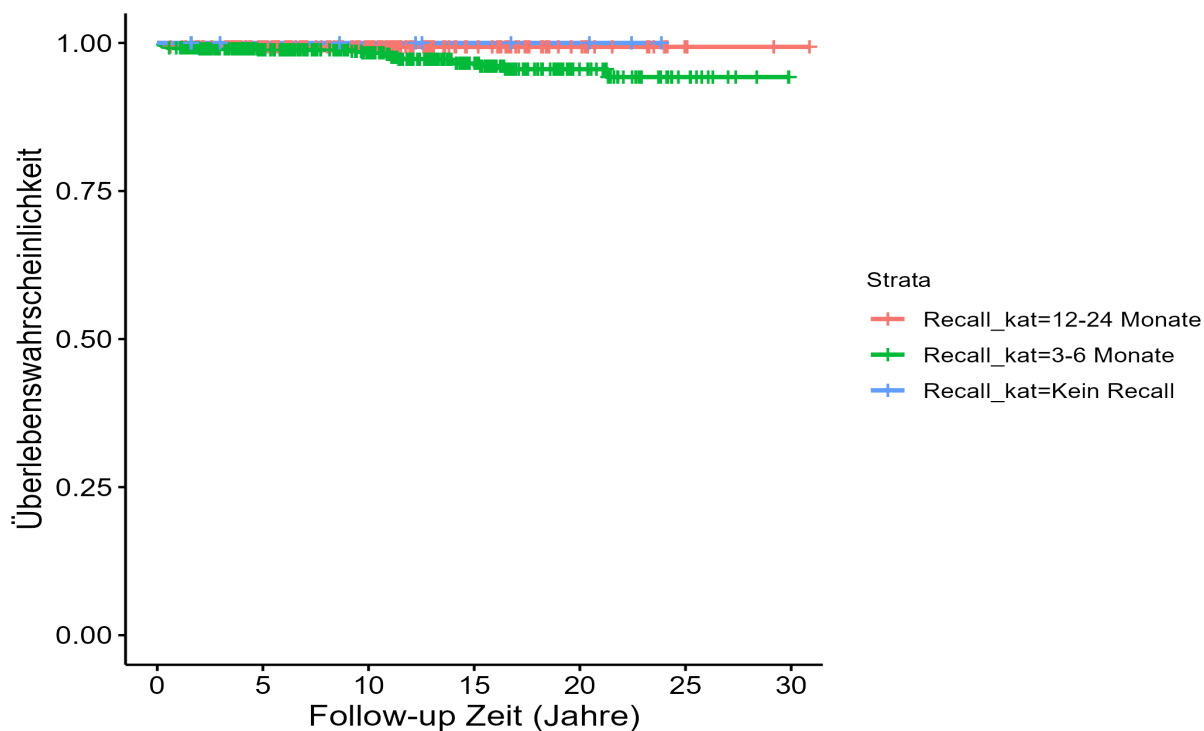


Abbildung 22: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des Recall-Verhaltens

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	302	0	100 %	100 %
5	243	2	99,3 %	98,4 – 100 %
10	187	0	99,3 %	98,4 – 100 %
15	105	0	99,3 %	98,4 – 100 %
20	35	0	99,3 %	98,4 – 100 %
25	7	0	99,3 %	98,4 – 100 %
30	2	0	99,3 %	98,4 – 100 %

Tabelle 44: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Recall-Intervall von 12-24 Monaten

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	694	0	100 %	100 %
5	535	8	98,8 %	98,0 – 99,6 %
10	411	2	98,3 %	97,3 – 99,4 %
15	230	6	96,5 %	94,8 – 98,3 %
20	89	2	95,6 %	93,4 – 97,8 %

25	23	1	94,2 %	90,9 – 97,7 %
----	----	---	--------	---------------

Tabelle 45: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bei einem Recall-Intervall von 3-6 Monaten

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u>	<u>Verluste</u>	<u>Überlebenswahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u>
0	20	0	100 %	100 %
5	15	0	100 %	100 %
10	14	0	100 %	100 %
15	10	0	100 %	100 %
20	6	0	100 %	100 %

Tabelle 46: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren ohne Recall-Intervall

J) Kiefer (OK und UK)

Der Vergleich der Überlebenswahrscheinlichkeiten zwischen Implantaten bezogen auf die Kiefer, zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Ober- und Unterkiefer (Log-Rank-Test: $p < ,001$). Nach 25 und 30 Jahren lag die Überlebensrate im Oberkiefer bei 94,2 % (95 %-KI: 91,2 – 97,2 %). Im Unterkiefer erreichten die Implantate eine Überlebensrate von 97,6 % (95 %-KI: 94,6 – 100 %) nach 25 Jahren (Tab. 47).

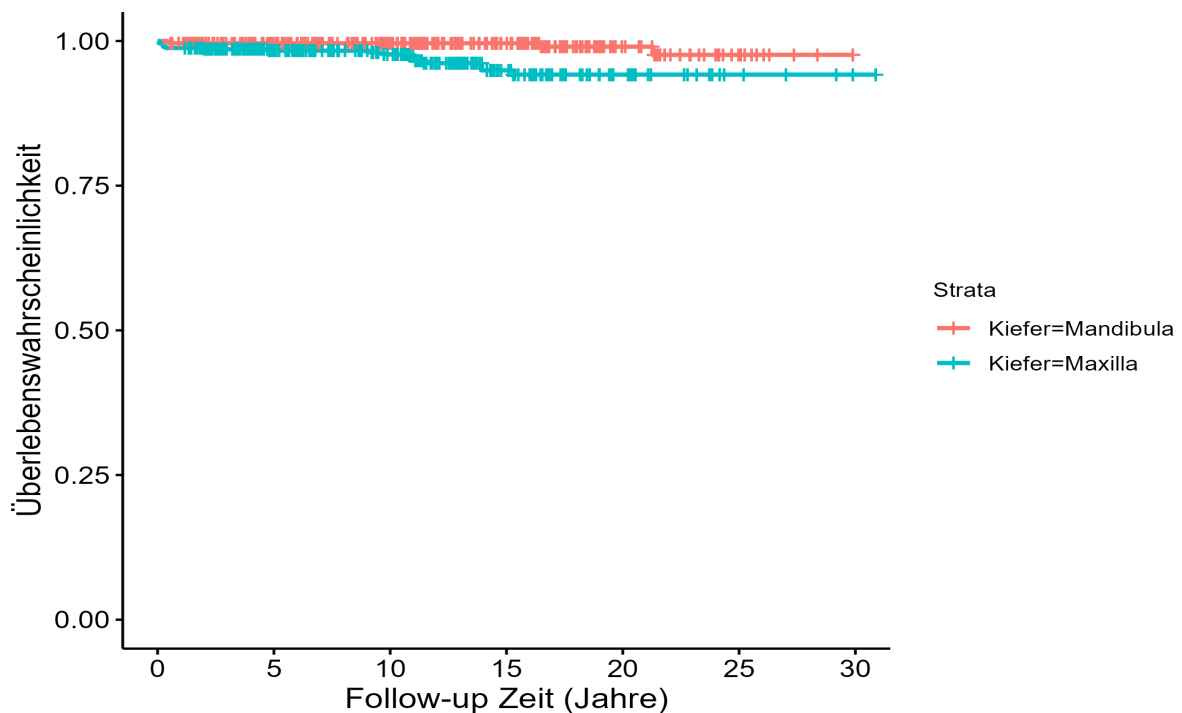


Abbildung 23: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der Kieferregion

<u>Follow-Up</u>	<u>Fälle</u> <u>(UK / OK)</u>	<u>Verluste</u> <u>(UK / OK)</u>	<u>Überlebens-</u> <u>wahrscheinlichkeit</u> <u>in Prozent</u> <u>(UK / OK)</u>	<u>Konfidenzintervall</u> <u>in Prozent</u> <u>(UK / OK)</u>
0	521 / 495	0 / 0	100 % / 100 %	100 % / 100%
5	417 / 376	2 / 8	99,6 % / 98,3 %	99,1 - 100 % / 97,2 – 99,5 %
10	320 / 292	0 / 2	99,6 % / 97,7 %	99,1 - 100 % / 96,2 – 99,1 %
15	212 / 133	0 / 6	99,6 % / 94,9 %	99,1 - 100 % / 92,3 – 97,6 %
20	79 / 51	1 / 1	99,6 % / 94,2 %	97,7 – 100 % / 91,2 – 97,2 %
25	19 / 11	1 / 0	97,6 % / 94,2 %	94,6 – 100 % / 91,2 – 97,2 %
30	- / 2	- / 0	- / 94,2 %	- / 91,2 – 97,2 %

Tabelle 47: Überlebenswahrscheinlichkeit in einem Follow-up Intervall von 5 Jahren bezogen auf die Kiefer

4.2 Hypothesenprüfung

4.2.1 Haupthypothese

H1: Bei BL-Implantaten liegt geringerer Knochenabbau vor.

Ergebnis:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 %KI _{UG}	95 %KI _{OG}	<i>p</i>
(Intercept) ^a	2,09	1,02	3,15	< ,001
Bone Tissue [Tissue] ^b	0,32	0,15	0,49	< ,001
Nikotinkonsum [Ja]	0,58	0,15	1,02	,008
Durchmesser	-0,13	-0,25	-0,00	,042
BOP [Ja]	0,20	0,07	0,33	,004
Fix_Gingiva [Ja]	-0,60	-0,85	-0,35	< ,001
Rezession [Ja]	0,79	0,61	0,96	< ,001
Röntgen [Zahnfilm]	-0,30	-0,48	-0,11	,002
Kiefer [Maxilla]	0,29	0,15	0,43	< ,001
Zement_verschr. [verschraubt]	-0,27	-0,48	-0,06	,012

Proth Art [Festsitzend]	-0,59	-0,91	-0,27	< ,001
Random Effects	Var	r		
Residuen (σ^2)	0,58			
Random Intercept (τ_{00})	0,32			
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,36		
Modellfit	Marginal $R^2 = ,291$		Conditional $R^2 = ,544$	

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, r = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 48: Robustes LMM Knochenabbau BL-Implantate vs. TL-Implantate

Nach der Prüfung der Voraussetzungen des LMM (Anhang 1) wurde ein robustes LMM zur Klärung der Fragestellung bezüglich des Knochenabbaus an TL- und BL-Implantaten erstellt. Dabei zeigten Tissue-Level Implantate, unabhängig von den Implantatvarianten RN / WN oder S / SP, einen signifikant höheren Knochenabbau als Bone-Level Implantate (Abb. 14). Signifikant geringerer Knochenabbau war bei Vorhandensein von fixierter Gingiva ($p < ,001$, $b = -0,60$), bei Auswertung von Zahnfilmen im Vergleich zum OPG ($p = ,002$, $b = -0,30$), bei verschraubten im Vergleich zu zementierten Suprakonstruktionen ($p = ,012$, $b = -0,27$) und bei festsitzendem im Vergleich zu herausnehmbarem Zahnersatz ($p < ,001$, $b = -0,59$) zu verzeichnen. Je kleiner der Implantatdurchmesser war, desto signifikant geringer war der Knochenverlust ($p = ,042$, $b = -0,13$). Signifikant größerer Knochenabbau zeigte sich bei gleichzeitigem Auftreten von Blutungen ($p = ,004$, $b = 0,20$), Rezessionen ($p < ,001$, $b = 0,79$) und bei Raucher*innen ($p < ,008$, $b = 0,58$). Ebenso lag ein signifikant höherer Knochenabbau im Oberkiefer ($p < ,001$, $b = 0,29$) als im Unterkiefer vor (Tab. 48).

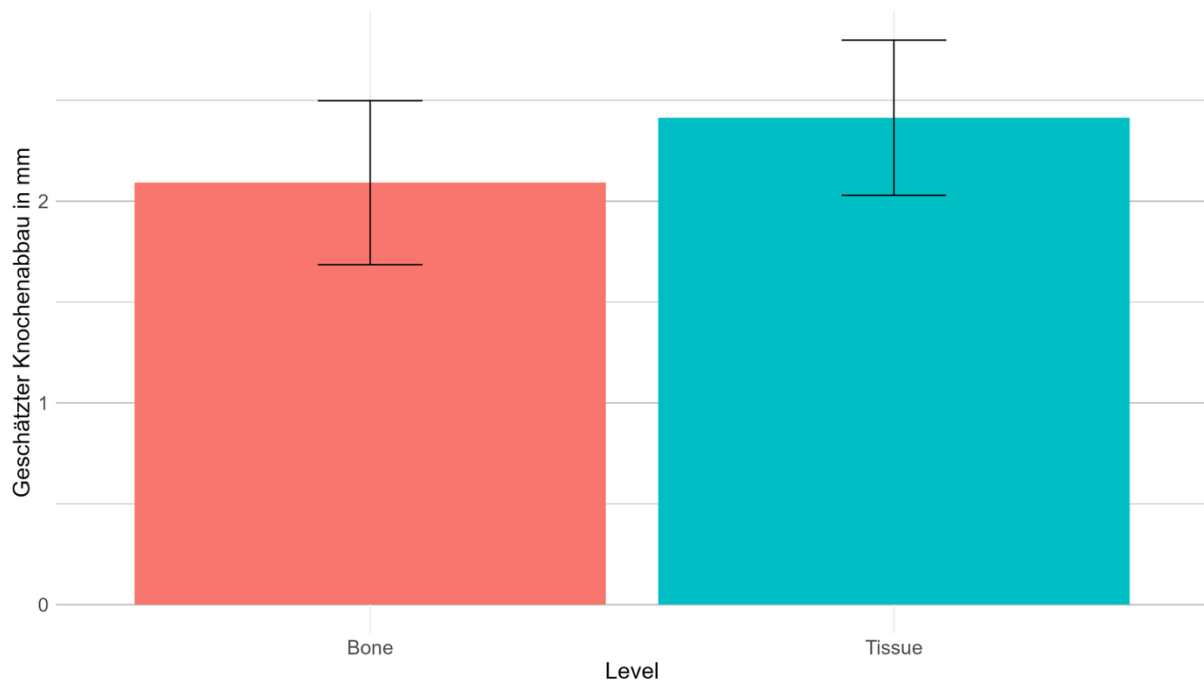


Abbildung 24: Geschätzter röntgenologischer Knochenabbau an BL- vs. TL-Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund: Es lag ein signifikanter Unterschied im Knochenabbau zwischen Bone-Level und Tissue-Level Implantaten zugunsten der Bone-Level Implantate vor. Die Hypothese, dass Knochenniveau-Implantate geringeren Knochenverlust als Weichgewebeniveau-Implantate aufweisen konnte bestätigt werden.

4.2.2 Explorative Hypothesen

H2: Längere unbeschichtete Halspartien (2,8 mm) der Tissue-Level-Implantate weisen mesial und distal höhere Taschentiefen auf.

Ergebnis mesiale Sondierungstiefe TL:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 % <i>KI</i> _{UG}	95 % <i>KI</i> _{OG}	<i>p</i>
Intercept ^a	1,56	0,45	2,67	,006
Tissue Neck [Wide] ^b	0,32	0,09	0,54	,006
Tissue Plus [Plus]	0,02	-0,13	0,18	0,792
Tissue Neck [Wide] × Tissue Plus [Plus]	-0,42	-0,70	-0,15	,003
BOP [Ja]	0,72	0,58	0,85	< ,001

Knochenabbau	0,13	0,09	0,18	< ,001
Kiefer [Maxilla]	0,29	0,14	0,44	< ,001
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,49			
Random Intercept (τ_{00})	0,18			
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,27		
Modellfit	Marginal $R^2 = ,287$		Conditional $R^2 = ,476$	

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, r = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, standardisierter Koeffizient

Tabelle 49: Robustes LMM Taschentiefe mesial Tissue-Level-Implantate

Nach Prüfung der Voraussetzungen des LMM (Anhang 2) wurde aufgrund von Ausreißern ein robustes Modell verwendet. Mit Hilfe der Berechnung des robusten „linearen gemischten Modells“ (robustes LMM), ließen sich signifikante Unterschiede in der mesialen Sondierungstiefe zwischen Tissue-Level RN und WN innerhalb der Standard-Implantate nachweisen ($p = ,006$, $b = 0,32$). Tissue-Level WN-Standard-Implantate wiesen signifikant größere mesiale Sondierungstiefen auf. Anhand des signifikanten Interaktionseffekts ($p = ,003$, $b = -0,42$) ergab sich ein Hinweis auf eine Abhängigkeit der Haupteffekte voneinander. Das bedeutet, dass der Unterschied zwischen TL WN und RN abhängig von der Halspartie Standard (2,8 mm) und Standard Plus (1,8 mm) war. Anhand der Post-hoc-Tests innerhalb TL-WN, TL-RN und Standard, Standard Plus, zeigte sich ein signifikanter Unterschied innerhalb der TL-WN-Implantate zwischen Standard und Standard Plus ($p = ,0009$). Außerdem ließ sich anhand der Kontrollvariablen zeigen, dass die mesialen Taschentiefen signifikant größer waren, wenn zusätzliche Blutungspunkte vorlagen ($p < ,001$, $b = 0,72$). Ebenso zeigten sich signifikant größere Taschentiefen, bei höherem Knochenabbau ($p < ,001$, $b = 0,13$). Bezogen auf die Kiefer konnte nachgewiesen werden, dass im Oberkiefer signifikant größere Sondierungstiefen vorlagen als im Unterkiefer ($p < ,001$, $b = 0,29$) (Tab. 49). Die nachfolgende Abbildung 25 zeigt die geschätzten mesialen Taschentiefen in mm. In diesem Modell lag der Anteil der unaufgeklärten Varianz in der mesial gemessenen Taschentiefe bei $\sigma^2 = 0,49$ mit einer moderaten Streuung. Die Random Intercept Varianz ($\tau_{00} = 0,18$) zeigte einen leichten Unterschied der Variabilität der individuellen Personen. Der Anteil der Gesamtvarianz wurde durch den ICC = 0,27 verdeutlicht und zeigte mit 27 % eine geringe Aufklärung der Varianz der mesialen Taschentiefe durch Random Effects allein. Ca. 29 % (Marginal $R^2 = ,287$) der Varianz der mesialen Taschentiefe konnten durch die Fixed Effects allein aufgeklärt werden.

Und ungefähr 48 % (Conditional $R^2 = ,476$) der Varianz konnten durch beide Effekte zusammen aufgeklärt werden.

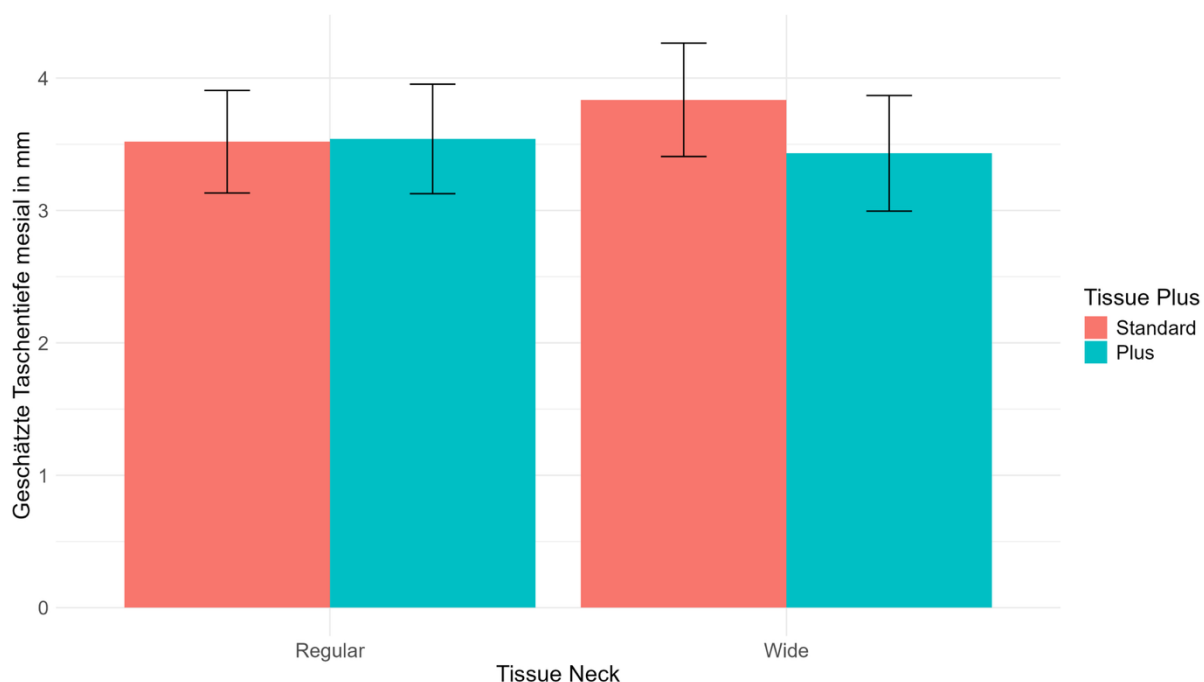


Abbildung 25: Geschätzte Taschentiefen mesial in mm bei TL RN-S, RN-SP und WN-S, WN-SP Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Ergebnis distale Sondierungstiefe TL:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 % <i>KI</i> _{UG}	95 % <i>KI</i> _{OG}	<i>p</i>
Intercept ^a	2,80	1,68	3,91	< ,001
Tissue Neck [Wide] ^b	0,36	0,13	0,59	,002
Tissue Plus [Plus]	-0,03	-0,18	0,13	0,742
Tissue Neck [Wide] × Tissue Plus [Plus]	-0,31	-0,59	-0,03	,028
BOP [Ja]	0,62	0,48	0,76	< ,001
Knochenabbau	0,14	0,09	0,18	< ,001
Kiefer [Maxilla]	0,27	0,12	0,42	< ,001
Proth Befund [Freiende]	0,19	0,04	0,35	,014
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,49			

Random Intercept (τ_{00})	0,17	
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)	0,26	
Modellfit	Marginal $R^2 = ,264$	Conditional $R^2 = ,456$

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, r = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, standardisierter Koeffizient

Tabelle 50: Robustes LMM Taschentiefe mesial Tissue-Level-Implantate

Ähnlich der mesialen Messwerte zeigte sich auch bei dem distal gemessenen Wert anhand eines robusten LMM nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 3), ein signifikanter Unterschied zwischen TL WN und RN innerhalb der Standardreihe ($p = ,002$, $b = 0,36$) (Abb. 26), wobei auch hier die Standard Implantate größere Sondierungstiefen bei WN-Implantaten zeigten ($p = ,028$). Signifikant größere distale Taschentiefen ließen sich im Zusammenhang mit BOP ($p < ,001$, $b = 0,62$) und Knochenabbau feststellen ($p < ,001$, $b = 0,14$). Im Oberkiefer wurden signifikant höhere distale Werte als im Unterkiefer festgestellt ($p < ,001$, $b = 0,27$). Ebenfalls waren bei Freundsituationen im Vergleich zu Schalllücken signifikant größere Messwerte im distalen Bereich festzustellen ($p = ,014$, $b = 0,19$) (Tab. 50).

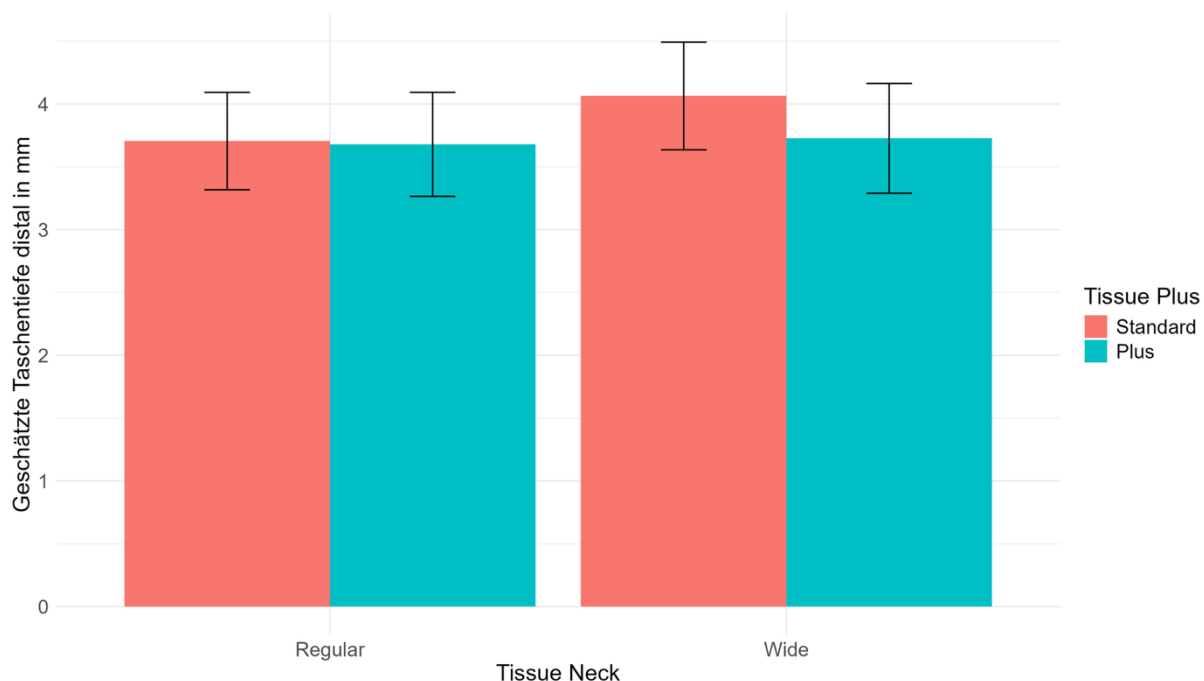


Abbildung 26: Geschätzte Taschentiefen distal in mm bei Tissue-Level RN und WN Standard und Standard Plus Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund:

Tissue-Level WN-Standard-Implantate (2,8 mm) wiesen höhere mesiale und distale TT auf als Standard-Plus-Implantate (1,8 mm). Die Hypothese konnte somit bestätigt werden.

H3: TL-Implantate weisen insgesamt geringere TT auf als BL-Implantate**Ergebnis mesiale Sondierungstiefen BL vs. TL:**

Fixed Effects	<i>b</i>	95 %KI _{UG}	95 %KI _{OG}	<i>p</i>
Intercept ^a	1,22	0,31	2,13	,009
Bone Tissue [Tissue] ^b	0,01	-0,14	0,16	0,911
Nikotinkonsum [Ja]	0,41	0,06	0,76	,021
Durchmesser	0,24	0,13	0,35	< ,001
BOP [Ja]	0,71	0,59	0,83	< ,001
Knochenabbau	0,13	0,09	0,17	< ,001
Kiefer [Maxilla]	0,28	0,15	0,40	< ,001
Proth Befund [Freiende]	0,19	0,06	0,33	,006
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,51			
Random Intercept (τ_{00})	0,16			
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,24		
Modellfit	Marginal $R^2 = ,276$		Conditional $R^2 = ,449$	

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, *r* = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 51: Robustes LMM Taschentiefe mesial BL-Implantate vs. TL-Implantate

Durch die robuste Schätzung eines gemischten Modells ließ sich, mit vorheriger Prüfung der Voraussetzung des LMM (Anhang 4), kein statistisch signifikanter Unterschied in der mesialen Sondierungstiefe zwischen Bone- und Tissue-Level Implantaten aufzeigen ($p = 0,911$) (Abb. 27). Allerdings wurde jeweils ein signifikanter Unterschied beim Nikotinkonsum, innerhalb des Durchmessers, bei BOP, innerhalb des röntgenologischen Knochenabbaus,

zwischen den Kiefern und bei Freundsituationen festgestellt. Signifikant höhere Messwerte in der mesial gemessenen Tasche lagen bei Raucher*innen ($p = ,021$, $b = 0,41$), bei einem größeren Implantat-Durchmesser ($p < ,001$, $b = 0,24$), bei Vorliegen von Blutungspunkten ($p < ,001$, $b = 0,71$) und bei höherem Knochenabbau vor ($p < ,001$, $b = 0,13$) vor. Im Oberkiefer ($p < ,001$, $b = 0,28$) und bei Freundsituationen lagen signifikant höhere mesiale Taschentiefen vor ($p = ,006$, $b = 0,19$) (Tab. 51).

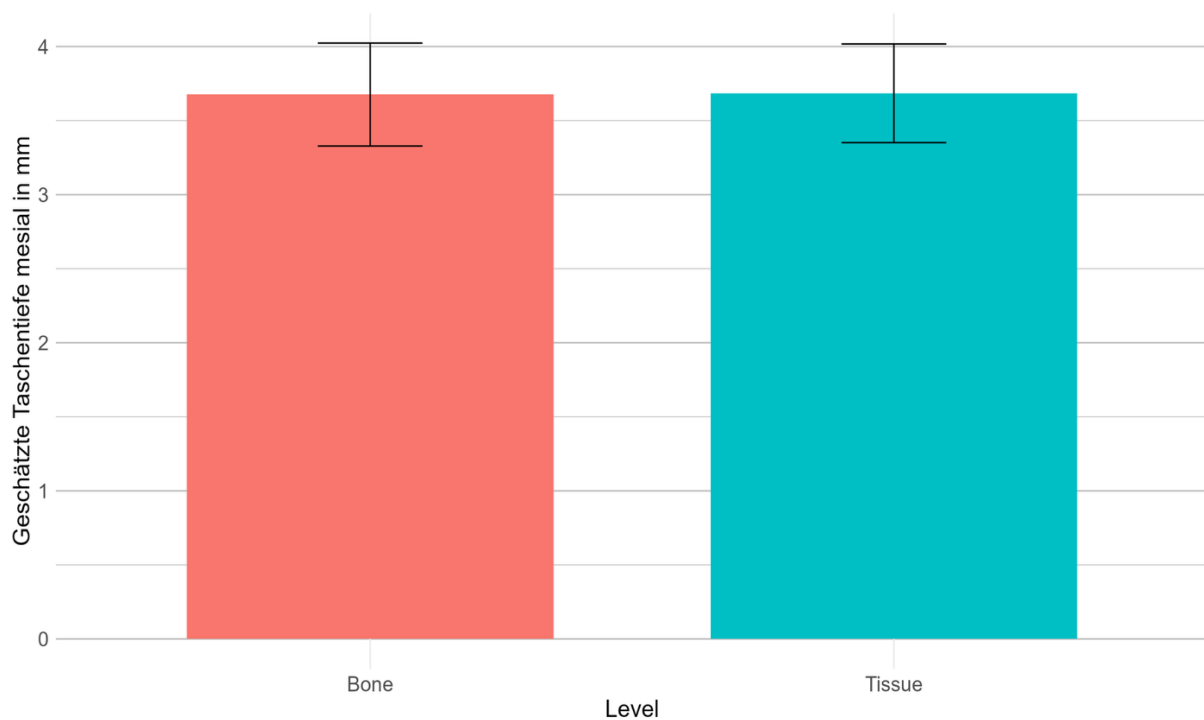


Abbildung 27: Geschätzte mesiale Taschentiefen in mm bei Bone-Level und Tissue-Level Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Ergebnis distale Sondierungstiefen BL vs. TL:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 % <i>KI</i> _{UG}	95 % <i>KI</i> _{OG}	<i>p</i>
Intercept ^a	2,06	1,16	2,97	< ,001
Bone Tissue [Tissue] ^b	0,03	-0,12	0,17	0,735
Durchmesser	0,12	0,01	0,23	,031
BOP [Ja]	0,58	0,47	0,70	< ,001
Knochenabbau	0,14	0,10	0,18	< ,001
Kiefer [Maxilla]	0,24	0,11	0,36	< ,001
Proth Befund [Freiende]	0,24	0,11	0,38	< ,001

Random Effects	Var	r
Residuen (σ^2)	0,47	
Random Intercept (τ_{00})	0,19	
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,28
Modellfit	Marginal $R^2 = ,237$	Conditional $R^2 = ,453$

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, r = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 52: Robustes LMM, distale Taschentiefen BL-Implantate vs. TL-Implantate

Ähnliche Unterschiede ließen sich nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 5) anhand eines robusten linear gemischten Modells in der distalen Taschentiefe zeigen. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen Bone- und Tissue-Level Implantaten bei den distalen Taschentiefen ($p = 0,735$) (Abb. 28). Signifikant höhere distale Taschentiefen ließen sich mit Hilfe der Prädiktoren bei einem größeren Durchmesser der Implantate ($p = ,031$, $b = 0,12$), bei Vorliegen von Blutungen auf Sondieren ($p < ,001$, $b = 0,58$) und höherem Knochenabbau ($p < ,001$, $b = 0,14$) nachweisen. Ebenfalls signifikant höhere Taschentiefen wurden im Oberkiefer ($p < ,001$, $b = 0,24$) und bei Freundsituationen ($p < ,001$, $b = 0,24$) festgestellt (Tab. 52).

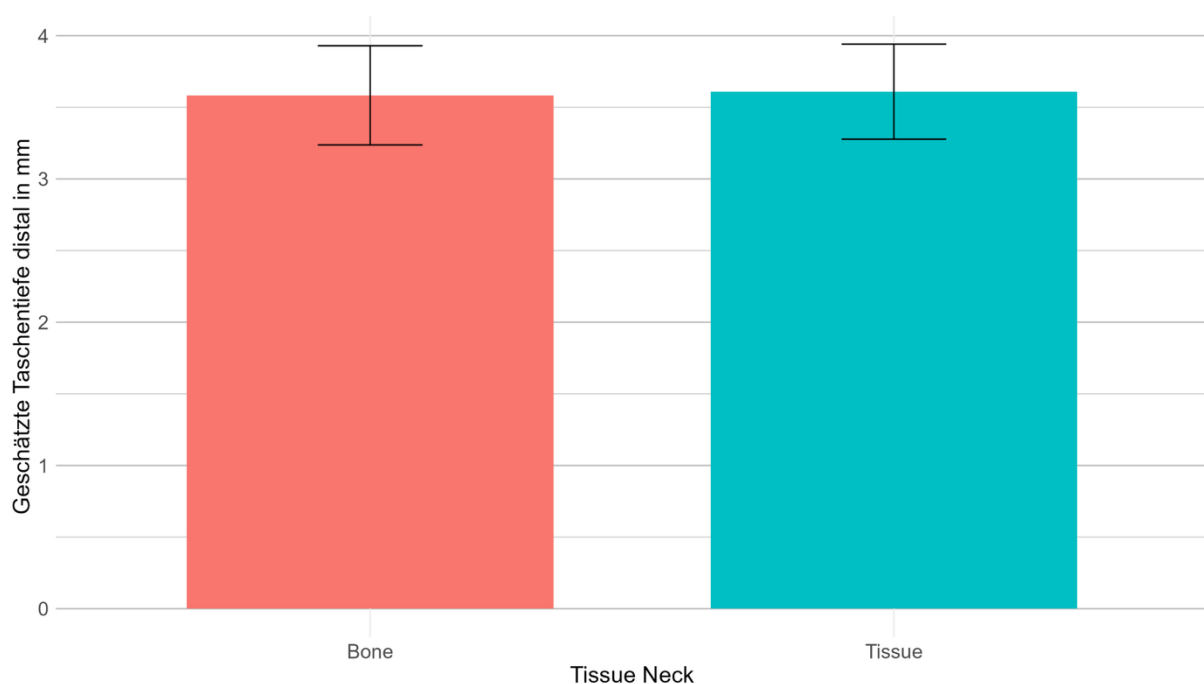


Abbildung 28: Geschätzte distale Taschentiefen in mm bei Bone-Level und Tissue-Level Implantaten, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den mesialen und distalen Taschentiefen zwischen Tissue-Level- und Bone-Level-Implantaten. Die Hypothese konnte somit widerlegt werden.

H4: TL-Implantate weisen häufiger Rezessionen auf als BL-Implantate

Ergebnis:

Prädiktor	OR	95 %CI	Pd (%)
Intercept	2,03e-05	[0,00; 0,01]	99,99 %
Bone_Tissue [Tissue]	4,17	[1,60; 10,65]	99,95 %
Alter	1,06	[1,01; 1,11]	99,15 %
Geschlecht [Männlich]	0,40	[0,14; 0,96]	97,60 %
Fix_Gingiva [Ja]	0,25	[0,09; 0,67]	99,78 %
Knochenabbau	1,91	[1,52; 2,40]	100 %
Recall	1,15	[1,01; 1,32]	98,32 %

Anmerkung. OR = Odds Ratio, 95 %CI = Kreditibilitätsintervall, Pd = posterior probability of direction

Tabelle 53: Binär logistische Regression, Rezessionen TL-Implantat vs. Bone-Level-Implantat

Aufgrund einer insgesamt sehr geringen Anzahl von vorliegenden Rezessionen ($n = 17$ bei BL und $n = 154$ bei TL) und des binären Outcomes wurde die Hypothese anhand einer binär-logistischen Regressionsanalyse (Bayes-Modell) ausgewertet. Die Voraussetzungen wurden geprüft (Anhang 6). Das Bayes'sche Modell zeigte einen signifikanten Effekt mit einem deutlich erhöhten Risiko einer Wahrscheinlichkeit für eine Rezession bei TL-Implantaten im Vergleich zu BL-Implantaten ($OR = 4,17$, 95 %CI [1,60; 10,65], $pd = 99,95$ %) (Tab. 53 und Abb. 29). Mit einem geringen Effekt wirkte sich das Alter der Patient*innen als signifikanter Prädiktor aus. Dabei stieg die Wahrscheinlichkeit für eine Rezession mit Progredienz des Alters ($OR = 1,06$, 95 %CI [1,01; 1,11], $pd = 99,15$ %). Eine geringere Wahrscheinlichkeit wiesen Männer im Vergleich zu Frauen auf ($OR = 0,40$, 95 %CI [0,14; 0,96], $pd = 97,60$ %). Ebenso wirkte sich das Vorhandensein von fixierter Gingiva signifikant protektiv auf die Wahrscheinlichkeit einer Rezession aus ($OR = 0,25$, 95 %CI [0,09; 0,67], $pd = 99,87$ %). Je größer der röntgenologisch gemessene Knochenabbau am Implantat war, desto wahrscheinlicher war dies mit einer Rezession verbunden ($OR = 1,91$, 95 %CI [1,52; 2,40], $pd = 100$ %). Auch eine unregelmäßige Teilnahme am Recall, war mit einer leicht erhöhten Wahrscheinlichkeit für Rezessionen assoziiert ($OR = 1,15$, 95 %CI [1,01; 1,32], $pd = 98,32$ %).

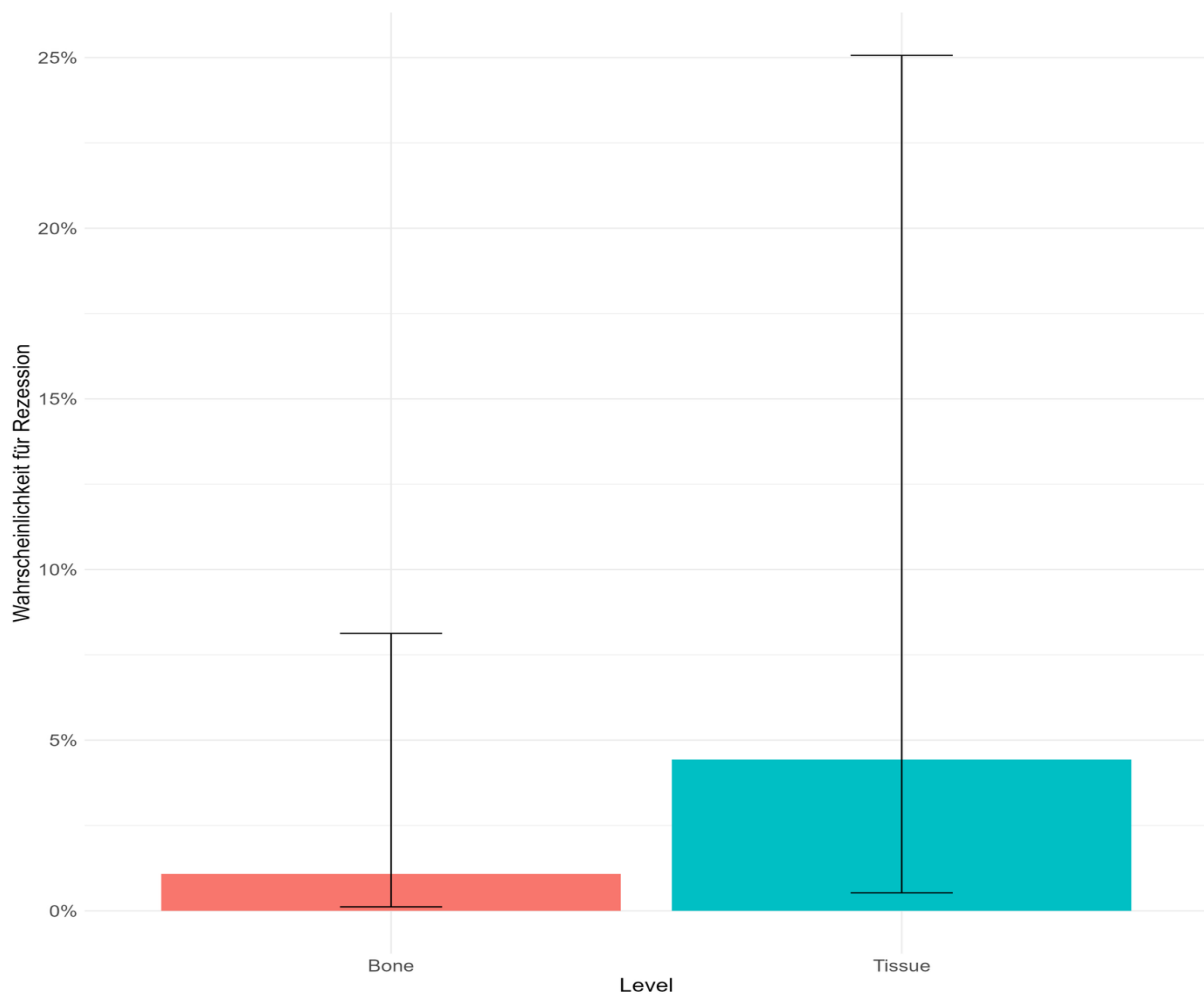


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für eine Rezession für TL- vs. BL-Implantate, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kreditibilitätsintervall

Befund: Die Wahrscheinlichkeit eine Rezession zu erlangen war bei TL-Implantaten signifikant höher als bei BL-Implantaten. Die Hypothese konnte bestätigt werden.

H5: Bei WN S / SP-Implantaten liegt häufiger fixierte Gingiva als bei RN S / SP-Implantaten vor.

Ergebnis:

Prädiktor	OR	95 %CI	Pd (%)
Intercept	10,06	[0,00; 51445,56]	72,55 %
Tissue_Neck [Wide]	2,54	[0,55; 12,36]	88,28 %
Tissue_Plus [Plus]	0,95	[0,34; 2,58]	53,92 %
Länge	1,55	[1,11; 2,17]	99,65 %
Rezession [Ja]	0,27	[0,10; 0,74]	99,53 %
Knochenabbau	0,66	[0,49; 0,87]	99,77 %

Prädiktor	OR	95 %CI	Pd (%)
Sinuslift [Ja]	6,13	[1,14; 32,11]	98,90 %

Anmerkung. OR = Odds Ratio, 95 %CI = Kreditibilitätsintervall, Pd = posterior probability of direction

Tabelle 54: Binär logistische Regression, fixierte Gingiva TL-Implantat S / SP

Das Bayes-Modell zur Vorhersage von fixierter Gingiva ergab keine signifikante Wahrscheinlichkeit für die Implantatvarianten TL-RN und TL-WN ($OR = 2,54$, 95 %CI [0,55; 12,36], $pd = 88,28$ %) und ebenfalls keine ausreichende Signifikanz für einen Zusammenhang zwischen Standard und Standard Plus Implantaten ($OR = 0,95$, 95 %CI [0,24; 2,58], $pd = 53,92$ %) (Abb. 30). Insgesamt lag eine Stichprobengröße von $n = 55$ vor. Die Voraussetzungen des Modells wurden geprüft (Anhang 7). Das Vorliegen einer fixierten Gingiva war bei einer größeren Implantatlänge ($OR = 1,55$, 95 %CI [1,11; 2,17], $pd = 99,65$ %) und einer Sinuslift-Operation ($OR = 6,13$, 95 %CI [1,14; 32,11], $pd = 98,90$ %) mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit vorhersagbar. Eine geringere Wahrscheinlichkeit für eine fixierte Gingiva bestand bei Vorliegen von Rezessionen ($OR = 0,27$, 95 %CI [0,10; 0,74], $pd = 99,53$ %) und einem höheren Knochenverlust ($OR = 0,66$, 95 %CI [0,49; 0,87], $pd = 99,77$ %) (Tab. 54).

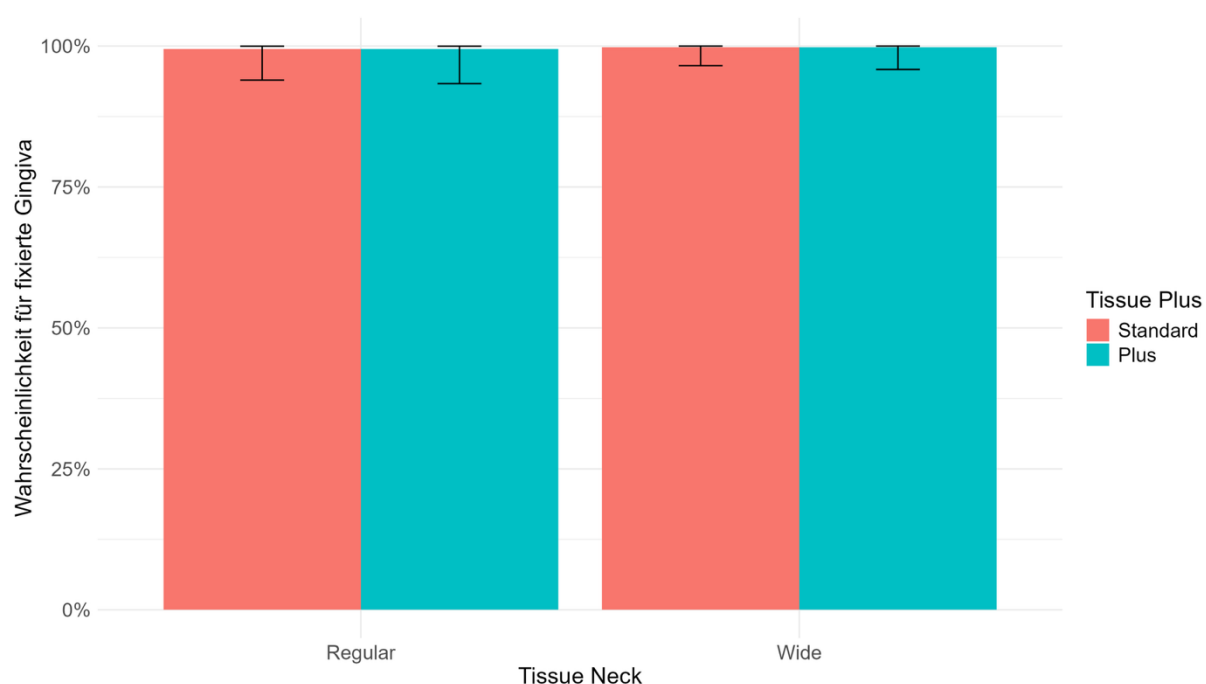


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für fixierte Gingiva, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kreditibilitätsintervall

Befund: Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorliegen von fixierter Gingiva und dem Implantattyp TL-RN Standard, Standard Plus und TL-WN Standard und Standard Plus. Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

H6: Bei Bone-Level Implantaten liegt ein höherer Knochenverlust im OK als im UK vor.

Ergebnis:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 %KI _{UG}	95 %KI _{OG}	<i>p</i>
(Intercept) ^a	1,58	-0,35	3,51	0,108
Kiefer [Maxilla] ^b	0,07	-0,20	0,35	0,595
BOP [Ja]	0,35	0,13	0,57	,002
Rezession [Ja]	1,42	0,94	1,89	< ,001
Proth Art [Festsitzend]	-1,15	-1,69	-0,62	< ,001
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,24			
Random Intercept (τ_{00})	0,47			
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,66		
Modellfit	Marginal $R^2 = ,344$		Conditional $R^2 = ,778$	

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, *r* = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 55: Robustes LMM Knochenabbau Bone-Level Implantate bezogen auf die Kiefer

Nach Prüfung der Voraussetzungen eines LMM (Anhang 8) wurde aufgrund der bestehenden Heteroskedastizität ein robustes linear gemischtes Modell zur Auswertung der Hypothese berechnet. Das Modell zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kiefern innerhalb der Bone-Level Implantatreihe ($p = 0,595$, $b = 0,07$) (Abb. 31). Allerdings zeigte sich bei den Bone-Level Implantaten ein signifikant höherer Effekt im Knochenabbau bei Vorliegen von Blutungen ($p = ,002$, $b = 0,35$) und Rezessionen ($p < ,001$, $b = 1,42$). Signifikant geringerer Knochenabbau war bei festsitzender Versorgung zu beobachten ($p < ,001$, $b = -1,15$) (Tab 55).

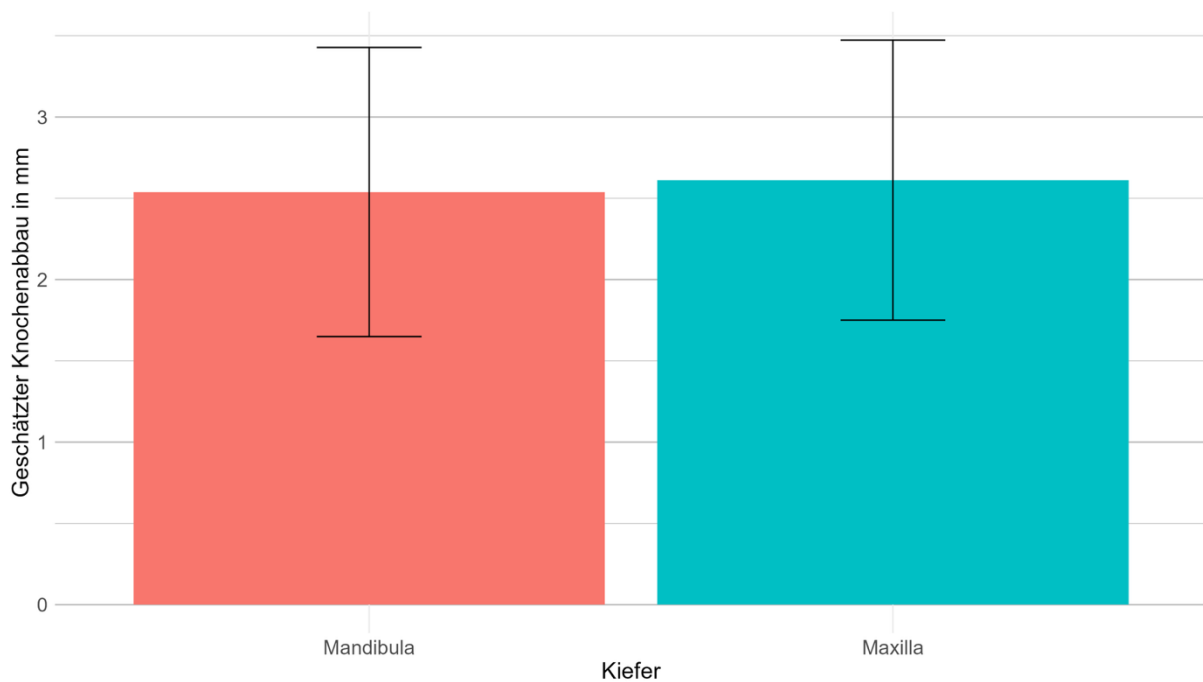


Abbildung 31: Geschätzter Knochenabbau innerhalb der Bone-Level Implantatreihe bezogen auf die Kiefer, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund: Es bestand kein statistisch auffälliger Unterschied zwischen OK und UK im Knochenabbau innerhalb der Bone-Level Implantatreihe. Die Hypothese konnte widerlegt werden.

H7: Bei BL-Implantaten ist der Knochenabbau bei Typ NC höher als bei Typ RC.

Ergebnis:

Fixed Effects	<i>b</i>	95 %KI _{UG}	95 %KI _{OG}	<i>p</i>
(Intercept) ^a	0,15	-2,67	2,98	0,914
Bone_Level [NC] ^b	0,32	-0,14	0,78	0,175
BOP [Ja]	0,35	0,13	0,57	,002
Rezession [Ja]	1,38	0,90	1,86	< ,001
Proth Art [Festsitzend]	-1,17	-1,71	-0,63	< ,001
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,24			
Random Intercept (τ_{00})	0,48			

Modellfit

Marginal $R^2 = ,336$ Conditional $R^2 = ,777$

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, r = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 56: Robustes LMM Knochenabbau Bone-Level Implantate bezogen auf NC und RC

Das, nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 9), robuste linear gemischte Modell zum Knochenabbau bezogen auf RC und NC Bone-Level Implantate zeigte keinen signifikanten Effekt zwischen den beiden Implantatvarianten auf Knochenniveau ($p = 0,175$) (Abb. 32). Lagen zudem Blutungspunkte ($p = ,002$, $b = 0,35$) oder Rezessionen ($p < ,001$, $b = 1,38$) am Implantat vor, war ein signifikant stärkerer Knochenabbau zu verzeichnen. Signifikant geringerer Knochenabbau wurde bei einer festsitzenden Versorgung ($p < ,001$, $b = -1,17$) im Vergleich zu herausnehmbarem Zahnersatz beobachtet (Tab. 56).

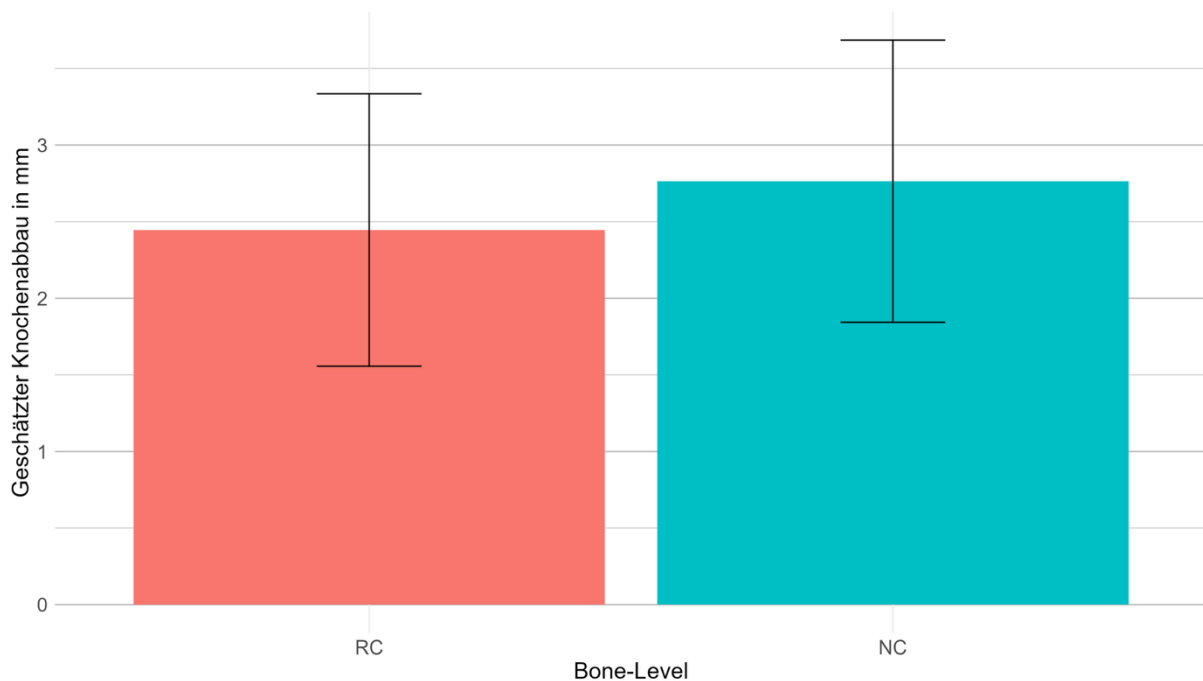


Abbildung 32: Geschätzter Knochenabbau (in mm) bei Bone-Level Implantaten (Typ RC und NC), Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund: Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden, da kein signifikanter Unterschied zwischen den Implantattypen RC und NC Bone-Level Implantaten beim Knochenabbau nachgewiesen werden konnte.

H8: Eine kleinere Halspartie (1,8 mm Standard Plus) bei den Tissue-Level Implantaten ist mit geringerem Knochenabbau assoziiert.

Ergebnis:

Fixed Effects	<i>b</i>	95%KI _{UG}	95%KI _{OG}	<i>p</i>
(Intercept) ^a	1,79	0,48	3,11	,008
Tissue_Neck [Wide] ^b	0,12	-0,14	0,39	0,362
Tissue_Plus [Plus]	0,37	0,19	0,55	< ,001
Tissue_Neck [Wide] *	-0,21	-0,53	0,12	0,216
Tissue_Plus [Plus]				
Nikotin [Ja]	0,91	0,41	1,41	< ,001
Pus [Ja]	0,70	0,05	1,36	,036
Fix_Gingiva [Ja]	-0,61	-0,90	-0,32	< ,001
Rezession [Ja]	0,79	0,59	0,98	< ,001
Röntgen [Zahnfilm]	-0,40	-0,61	-0,19	< ,001
Kiefer [Maxilla]	0,24	0,06	0,41	,008
Random Effects	<i>Var</i>	<i>r</i>		
Residuen (σ^2)	0,66			
Random Intercept (τ_{00})	0,26			
Intra-Klassen-Korrelation (ICC)		0,28		
Modellfit	Marginal $R^2 = ,286$		Conditional $R^2 = ,489$	

Anmerkung. KI = Konfidenzintervall, UG = Untere Grenze, OG = Obere Grenze, Var = Varianz, *r* = Korrelationskoeffizient, R^2 = Multipler Determinationskoeffizient.

^a Unstandardisierter Koeffizient

^b Referenzkategorie = Estimate, unstandardisierter Koeffizient

Tabelle 57: Robustes LMM Knochenabbau Tissue-Level Implantate (S vs. SP)

Kategorie		p-Wert
Standard	RN – WN	0,3620
Standard Plus	RN – WN	0,5666
RN	S – SP	0,0001
WN	S – SP	0,2477

Tabelle 58: Ergebnis des Post-hoc-Tests mit p-Werten für Tissue-Level-Implantate

Durch Verwendung eines robusten LMM) bestand, nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 10), kein signifikanter Interaktionseffekt ($p = 0,216$) zwischen Tissue_Neck (WN vs. RN) und Tissue_Plus (Standard vs. Standard Plus) (Tab. 57). Durch den paarweisen Vergleich, nach durchgeführten Post-hoc-Tests, ließ sich allerdings ein signifikanter Unterschied im Knochenabbau bei TL-RN-Implantaten zwischen Standard und Standard Plus Implantaten ($p = ,0001$) nachweisen. Nähere Betrachtung zeigte einen signifikanten Unterschied bei Standard-Plus Implantaten innerhalb der TL-RN-Implantate ($p < ,001$). Kein signifikanter Effekt bestand weiterhin zwischen RN und WN innerhalb der Standard- ($p = 0,362$) und Standard Plus-Implantate ($p = 0,567$), und zwischen Standard und Standard Plus innerhalb WN-Implantaten ($p = 0,247$) (Tab. 58 und Abb. 33). Außerdem zeigten sich mehrere signifikante Prädiktoren in den Kontrollvariablen. Bei Raucher*innen zeigte sich ein signifikant höherer Knochenabbau ($p < ,001$, $b = 0,91$) als bei Nichtraucher*innen. Ebenfalls signifikant höherer Knochenabbau lag bei Suppurationen ($p = ,036$, $b = 0,70$), bei Rezessionen ($p < ,001$, $b = 0,79$) und im Oberkiefer ($p = ,008$, $b = 0,24$) vor. Lag eine fixierte Gingiva am Implantat vor war der Knochenabbau signifikant geringer ($p < ,001$, $b = -0,61$). Wurde ein Zahnfilm zur Auswertung des röntgenologischen Knochenabbaus verwendet wurde ebenso signifikant geringerer Knochenabbau ($p < ,001$, $b = -0,40$) gemessen.

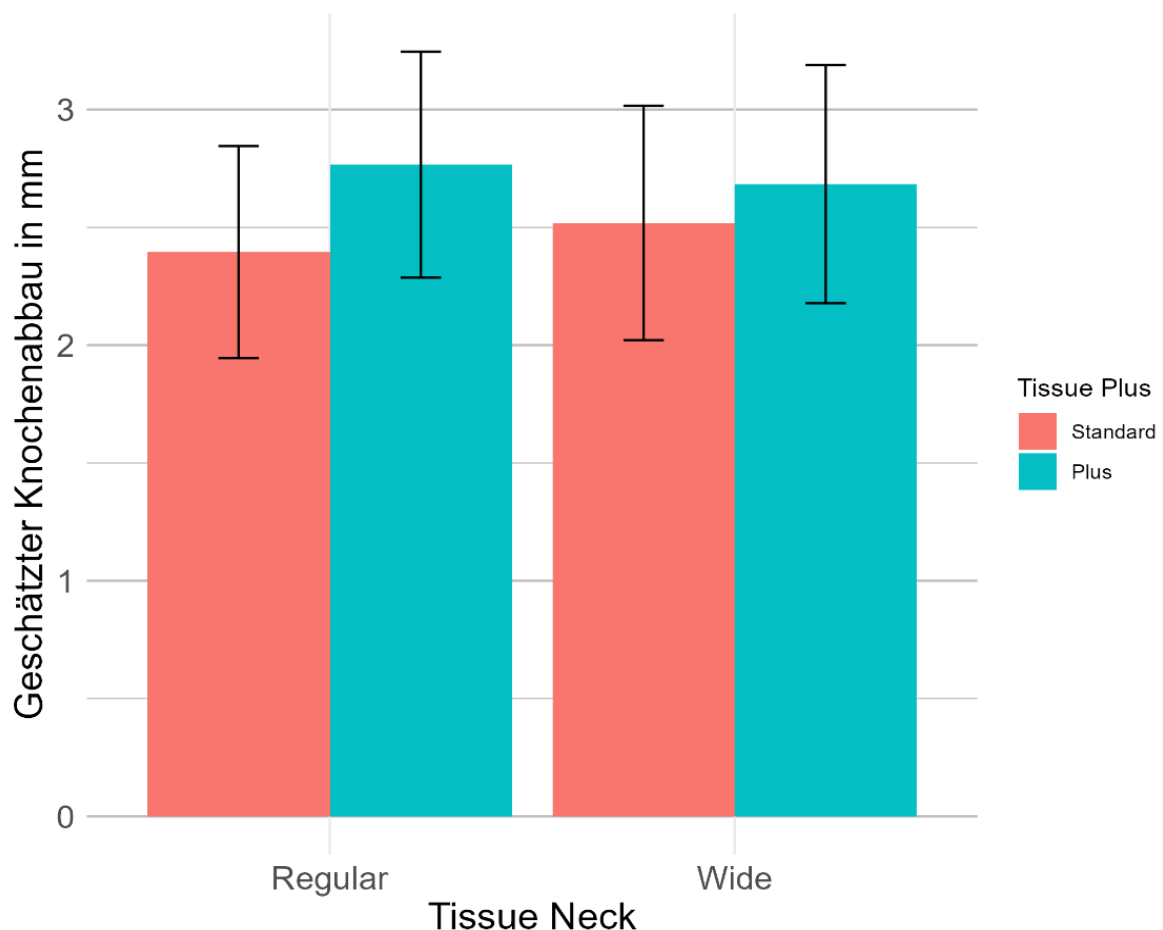


Abbildung 33: Geschätzter Knochenabbau bei Tissue-Level Standard vs. Standard Plus, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall

Befund: Standard Plus Implantate mit einer Halspartie von 1,8 mm zeigten signifikant höheren Knochenabbau innerhalb der RN-Implantate als Standard Implantate mit einer Halspartie von 2,8 mm. Damit konnte die Hypothese widerlegt werden. Auch alle anderen Vergleiche zwischen Standard, Standard Plus und RN, WN zeigten keine Signifikanz im Knochenabbau.

H9: BL-Implantate weisen häufiger Entzündungszeichen wie BOP und Pus auf als TL-Implantate

Ergebnis BOP:

Prädiktor	OR	95 % CI	Pd (%)
Intercept	0,58	[0,01; 23,63]	60,96 %
Bone_Tissue [Tissue]	1,54	[0,84; 2,83]	91,87 %
Pus [Ja]	10,94	[1,72; 63,60]	99,73 %
Knochenabbau [Ja]	1,23	[1,03; 1,46]	99,26 %
Kiefer [Maxilla]	2,63	[1,57; 4,38]	99,99 %

Anmerkung. OR = Odds Ratio, 95 %CI = Kreditibilitätsintervall, Pd = posterior probability of direction

Tabelle 59: Binär logistische Regression, BOP BL vs. TL

Das Bayes-Modell zeigte, nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 11 und 12), keinen signifikanten Unterschied zwischen BL- und TL-Implantaten bezüglich der Blutungspunkte (Abb. 34). Bei gleichzeitiger Suppuration lag eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für eine Blutung vor (OR = 10,94, 95 %CI [1,72; 63,60], *pd* = 99,73 %) (Tab. 59). Bei höherem Knochenabbau war eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für BOP erkennbar (OR = 1,23, 95 %CI [1,03; 1,46], *pd* = 99,26 %). Im Oberkiefer lag eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für BOP vor als im Unterkiefer (OR = 2,63, 95 %CI [1,57; 4,38], *pd* = 99,99 %).

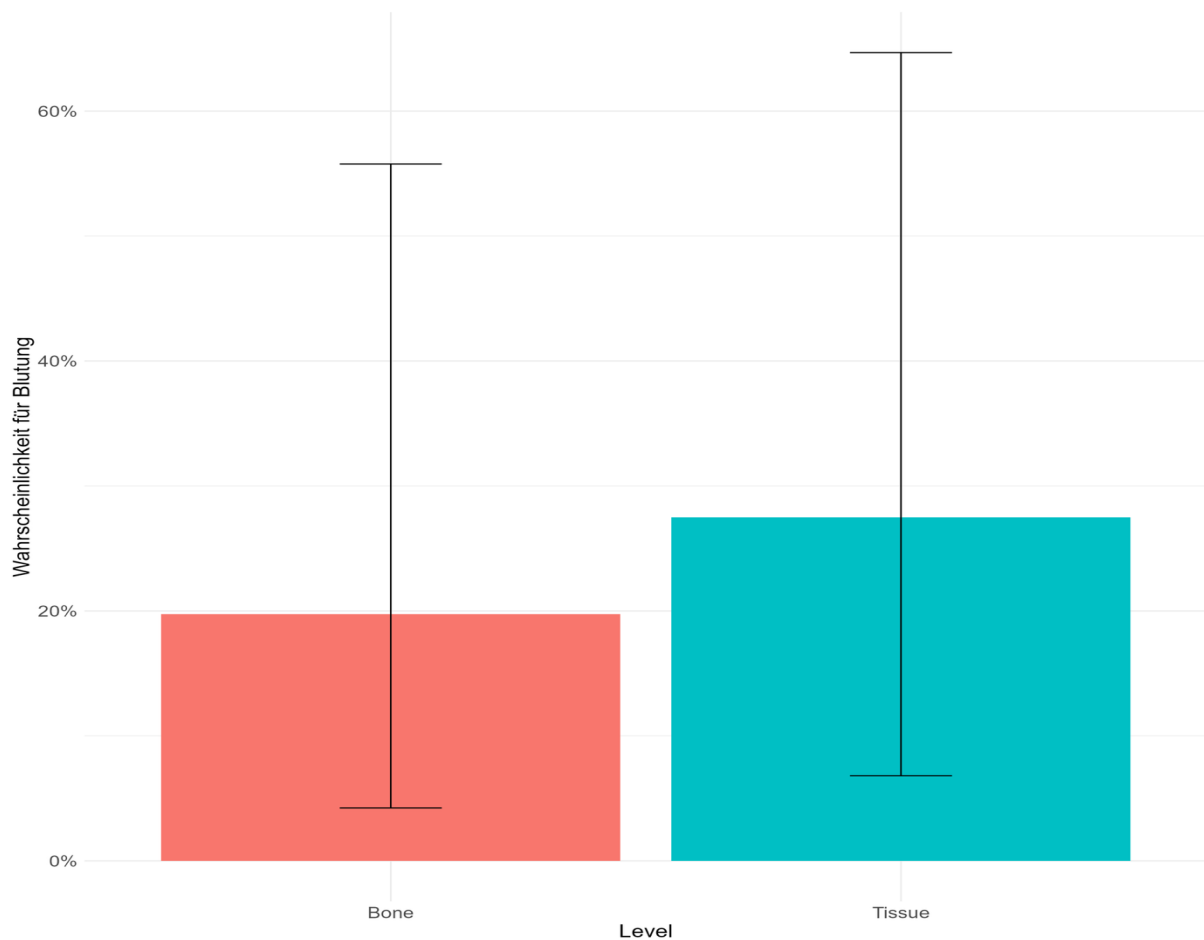


Abbildung 34: Grafische Darstellung der Wahrscheinlichkeit für Blutungen BL- vs. TL-Implantate, Fehlerbalken zeigen das 95 %-Kredibilitätsintervall

Ergebnis Pus:

Prädiktor	OR	95 %CI	Pd (%)
Intercept	1,73e-09	[0,00; 0,11]	99,28 %
Bone_Tissue [Tissue]	1,54	[0,16; 18,86]	64,42 %
BOP [Ja]	9,97	[1,33; 66,72]	99,02 %
Knochenabbau [Ja]	1,98	[0,98; 4,17]	97,98 %

Anmerkung. OR = Odds Ratio, 95 %CI = Kredibilitätsintervall, Pd = posterior probability of direction

Tabelle 60: Binär logistische Regression, Pus BL vs. TL

Es bestand kein signifikanter Effekt zwischen BL- und TL-Implantaten und dem Auftreten von Suppurationen (OR = 1,54, 95 %CI [0,16; 18,86], $pd = 64,42\%$). Allerdings bestand ein hochsignifikanter Effekt von Blutungen (OR = 9,97, 95 %CI [1,33; 66,72], $pd = 99,02\%$) und ein signifikanter Effekt im Zusammenhang mit Knochenabbau (OR = 1,98, 95 %CI [0,98; 4,17], $pd = 97,98\%$) (Tab. 60).

Befund: Die Hypothese wurde durch die Ergebnisse des Bayes-Modells widerlegt.

H10: Bei Standard Implantaten mit einer Halspartie von 2,8 mm lagen häufiger Suppurationen vor

Ergebnis:

Prädiktor	OR	95 %CI	Pd (%)
Intercept	1,70e-12	[0,00; 0,00]	99,68 %
Tissue_Neck [Wide]	1,10	[0,11; 10,33]	53,03 %
Tissue_Plus [Plus]	0,59	[0,06; 5,15]	69,18 %

Anmerkung. OR = Odds Ratio, 95 %CI = Kredititätsintervall, Pd = posterior probability of direction

Tabelle 61: Binär logistische Regression, Pus TL (RNS, RNSP, WNS, WNSP)

Nach Prüfung der Voraussetzungen (Anhang 13) wurden die Daten mittels Bayes-Modell analysiert. Die obenstehende Tabelle 54 zeigte keinen signifikanten Effekt zwischen Tissue-Level RN- und WN-Implantaten (OR = 1,10, 95 %CI [0,11; 10,33], pd = 53,03 %) und Standard- und Standard Plus-Implantaten (OR = 0,59, 95 %CI [0,06; 5,15], pd = 69,18 %) und dem Auftreten von Suppuration (Tab. 61).

Befund: Die Hypothese erwies sich als nicht zutreffend.

4.3 Implantatverluste vs. Implantate in situ unter Berücksichtigung klinischer und implantatbezogener Parameter

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Implantate in situ und Implantatverluste) wurden in Tabelle 62 dargestellt und anhand von p-Werten basierend auf dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Dabei wurde ein p-Wert < 0,05 als statistisch signifikant gewertet. Die deskriptive Auswertung zeigte signifikante Zusammenhänge im Auftreten von Implantatverlusten mit der Implantatlänge (p < ,004) und mit der Kieferregion (p = ,006). Ebenso zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Implantaten in situ und den Explantationen bei den TL-Implantaten (p = ,002). Andere patient*innenbezogene Faktoren, wie das Alter, der Nikotinstatus, eine parodontale Vorerkrankung oder das Geschlecht zeigten keine signifikanten Effekte auf den Implantatverlust. Der Implantatdurchmesser, BL-Implantate, augmentative Verfahren und das Recall-Verhalten zeigten ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge (Tab. 62).

<u>Kategorie</u>	<u>Implantationen</u>	<u>(Häufigkeit)</u> <u>(%)</u>	<u>Explantationen</u>	<u>(Häufigkeit)</u> <u>(%)</u>	<u>p-</u> <u>Werte</u>
n	995	100 %	21	100 %	
Alter [30-60 Jahre]	206	20,7 %	1	4,8 %	0,128
Geschlecht [Männlich]	378	38 %	8	38,1 %	1
Nikotin [Ja]	42	4,2 %	3	14,3 %	0,092
PA [Ja]	419	42,1 %	12	57,1 %	0,248
Durchmesser					0,545
3,3 mm	253	25,4 %	6	28,6 %	
4,1 mm	494	49,6 %	8	38,1 %	
4,8 mm	248	24,9 %	7	33,3 %	
Länge					,004
6-8 mm	80	8,0 %	6	28,6 %	
10-12 mm	871	87,5 %	14	66,7 %	
14-16 mm	44	4,4 %	1	4,8 %	
Bone_Level [NC]	91	38,1 %	3	37,5 %	1
Tissue_Level					,002
RN-S	350	46,3 %	1	7,7 %	
RN-SP	209	27,6 %	7	53,8 %	
WN-S	101	13,4 %	5	38,5 %	
WN-SP	96	12,7 %	0	0 %	
Augmentation					0,42
Nein	580	58,4 %	14	66,7 %	
Autolog	72	7,2 %	0	0 %	
Xenogen	296	29,8 %	7	33,3 %	
Autolog + Xenogen	46	4,6 %	0	0 %	
Sinus-Lift [Ja]	111	11,2 %	4	19,0 %	0,434
Kiefer [Maxilla]	478	48,0 %	17	81,0 %	,006
Recall					0,086
Kein Recall	20	2,0 %	0	0 %	
3-6 Monate	675	67,8 %	19	90,5 %	
12-24 Monate	300	30,2 %	2	9,5 %	

Tabelle 62: Deskriptive Statistik und p-Werte, tabellarischer Vergleich der Implantate in situ und der Explantationen hinsichtlich patient*innen- und implantatspezifischer Risikofaktoren für Implantatverlust

5. Diskussion

Ziel dieser Studie bestand darin einen praxisrelevanten Vergleich innerhalb eines einzelnen Implantatsystems desselben Herstellers über einen außergewöhnlich langen Beobachtungszeitraum von 30 Jahren zu ermöglichen. Eine zentrale Rolle, um eine maximale Homogenität in der Methodik zu erlangen, spielte die Tatsache, dass es sich über den gesamten Zeitraum durchgehend um dieselben Oralchirurgen und ein konstantes Zahnärzt*innen-Team handelte.

5.1 Studiendesign

Eine zentrale Limitation des Studiendesigns stellte die Auswahl der Teilnehmer*innen dar. Nicht alle Patient*innen, die innerhalb der 30 Jahre mit Implantaten versorgt wurden, konnten in die Studie einbezogen werden. Lediglich eine selektive Gruppe von $n = 287$ Patient*innen, die innerhalb eines ungefähren Zeitraums von einem Jahr in der Praxis vorstellig waren, konnte berücksichtigt werden. Eine vollständige Erfassung aller Patient*innen war somit nicht möglich. Diese selektive Auswahl an Patient*innen kann ein Survivorship Bias und damit eine Verzerrung (Selektionsverzerrung) der Überlebensraten begünstigen. Der Ausschluss der Explantationen ($n = 21$) aus den multivariaten Analysen kann zusätzlich einen Survivorship Bias hinsichtlich der klinischen Parameter wie Blutung, Pus, Knochenabbau und Sondierungstiefen entstehen lassen. Hinzu kommt, dass die Zahl an Implantationen pro Patient*in zum Teil stark variierte, was die statistische Auswertung erschwerte und eine Vergleichbarkeit auf Patient*innenebene einschränken kann. Durch den langen Beobachtungszeitraum von ca. 30 Jahren kann es zu einer Verzerrung durch zeitabhängige Faktoren, wie z.B. Veränderung der Behandlungsstandards und der verwendeten Materialien und Änderung des Nachsorgekonzepts kommen. Eine weitere Limitation entstand durch fehlende Dokumentation der Gründe für den Implantatverlust (z.B. fehlende Osseointegration, Früh- oder Spätkomplikationen). Ebenso lag durch das retrospektive Studiendesign keine Kontrollgruppe vor, die einen direkten standardisierten Vergleich mit anderen Systemen bietet.

5.2 Hypothesenauswertung

Insgesamt konnte die primäre Hypothese bestätigt werden und ein signifikanter Zusammenhang im Knochenabbau zwischen den Implantatsystemen BL und TL in

Abhängigkeit von patient*innen- und implantatspezifischen Parametern festgestellt werden. Von den restlichen explorativen Hypothesen ließen sich die Hypothesen 2 und 4 bestätigen. Insgesamt konnten also sieben explorative Hypothesen widerlegt werden. Bezogen auf den Knochenabbau zeigte sich ein signifikant höherer röntgenologischer Knochenabbau bei den TL-Implantaten. Dabei waren ebenfalls die Implantate mit einer kürzeren unbeschichteten Halspartie mit einem signifikant höheren Knochenverlust gekennzeichnet. Innerhalb der BL-Implantatreihe lag kein signifikanter Unterschied im Knochenabbau zwischen den Implantattypen RC und NC oder zwischen der Implantatposition im Ober- und Unterkiefer vor. Im Vergleich der beiden Implantatsysteme BL- vs. TL-Implantaten ließ sich kein signifikanter Zusammenhang in den mesialen und distalen Sondierungstiefen zeigen. Innerhalb der TL-Implantatreihe zeigten sich signifikant höhere Sondierungstiefen bei WN-Implantaten mit einer 2,8 mm glatten Halspartie. Das Auftreten von Rezessionen war mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit bei TL-Implantaten gegenüber BL-Implantaten gegeben. Keine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit lag innerhalb der TL-Implantate, weder für RN / WN noch für S / SP, für das Vorliegen einer fixierten Gingiva vor. Bei periimplantären Entzündungszeichen, wie BOP und Suppurationen bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Implantatsystemen BL- oder TL-Implantaten. Auch innerhalb der TL-Implantatreihe konnte kein signifikanter Unterschied beim Auftreten von Pus an RN- oder WN-Implantaten oder zwischen Standard und Standard-Plus Varianten festgestellt werden,

5.2.1 Haupthypothese

Anhand der statistischen Auswertung konnte die Haupthypothese bestätigt werden. Es zeigte sich, dass TL-Implantate im Vergleich zu BL-Implantaten einen signifikant höheren röntgenologischen Knochenabbau aufwiesen ($p < ,001$, $b = 0,32$). Außerdem zeigten sich mehrere relevante Einflussfaktoren. Das Vorhandensein von fixierter Gingiva, die Verwendung von Zahnfilmen, verschraubte und festsitzende Suprakonstruktionen und Implantate mit einem geringeren Durchmesser waren mit einem signifikant geringeren Knochenabbau assoziiert. Signifikant höherer Knochenabbau lag bei Rauchern, bei vorliegenden Blutungen und Rezessionen vor. Des Weiteren wiesen Implantate im OK signifikant höheren Knochenabbau auf als im UK. Die Beobachtung des höheren Knochenabbaus im OK könnte im Zusammenhang mit einer relativ „weichen“ Knochenqualität und damit verbundenen ungünstigeren Implantatlager, im Vergleich zum „harten“ Unterkiefer, mit einer höheren Knochendichte stehen (Klein et al., 2005). Unterstützt wird dies ebenfalls durch eine Studie mit einem relativ langen Beobachtungszeitraum von 15 Jahren (Anitua and Alkhraisat, 2019). Den Einfluss von BOP und Rezessionen als Risikofaktoren für Knochenrückgang zeigt auch eine prospektive Kohortenstudie. Dabei hatten Tissue-Level Implantate ohne keratinisierte Schleimhaut höhere Prävalenzen von Knochenrückgang, BOP, Rezessionen und

periimplantären Erkrankungen im Vergleich zu Weichgewebe-Implantaten mit vorhandener keratinisierter Schleimhaut (Roccuzzo et al., 2025, Zhang et al., 2025). Dass periimplantärer Schleimhautrückgang und daraus entstehende Dehiszenzen nicht nur mit ästhetischen Einbußen, sondern auch mit Knochenrückgang assoziiert sein können, zeigt eine Studie von Monje et al., 2023. Dies unterstützt auch das Ergebnis, dass das Vorhandensein von fixierter Gingiva einen protektiven Effekt zu haben scheint. Zur optimalen Beurteilung der gingivalen Verhältnisse sollte allerdings eine zusätzliche Einteilung der gingivalen Phänotypen eingeschlossen werden (Jepsen et al., 2018). Ebenso lässt sich anhand der Ergebnisse der negative Einfluss von Nikotin auf den Knochenabbau bestätigen. Dies ließ sich auch mit einem Follow-up nach einem Jahr und nach 3 Jahren zeigen, bei dem ein Einfluss des Raucherstatus und der Kiefer auf den frühen periimplantären Knochenverlust bei Tissue-Level-Implantaten beobachtet werden konnte (Solderer et al., 2025). Bezogen auf den Implantatdurchmesser konnte eine Metaanalyse von 2021 zwar keinen signifikanten Unterschied im marginalen Knochenverlust zwischen schmalem und normalem Implantatdurchmesser aufweisen (Cruz et al., 2021), die Ergebnisse der Haupthypothese können allerdings damit begründet sein, dass Implantate mit einem geringen Durchmesser häufiger im Frontzahnbereich oder bei Einzelzahnversorgungen und daher tendenziell in Kieferbereichen mit weniger Kaudruck verwendet werden. Somit besteht durch geringere mechanische Belastung weniger Okklusionskraft, was mit einem geringeren Knochenabbau assoziiert werden kann, da eine ungünstige und übermäßige Belastung des Implantates mit erhöhtem Knochenabbau einhergehen kann (Mojaver et al., 2025). Schmalere Implantate benötigen bei der Insertion kleinere Bohrungen und provozieren damit weniger Trauma des umliegenden Knochens. Außerdem wird weniger Druck auf die Knochenlamelle ausgeübt, was eine geringere thermische Belastung darstellen kann. Zwar wurde anhand einer In-vitro Studie festgestellt, dass auch bei größeren Durchmessern kein kritischer Schwellenwert in der Wärmeentwicklung erreicht wird, dennoch beeinflussen Faktoren wie Bohrdurchmesser und -geschwindigkeit, aber auch Knochentyp und die Kühlung die entstehende Temperatur (Salomó-Coll et al., 2021).

Bei festsitzender Implantatversorgung kommt es zu einem festen Verbund zwischen Implantatabutment und Suprakonstruktion. Durch die permanente Befestigung können Mikrobewegungen durch ständiges Ein- und Ausgliedern der implantatprothetischen Versorgung bei herausnehmbaren Konstruktionen verhindert werden. Ein höherer Knochenabbau bei herausnehmbarem Zahnersatz konnte anhand einer retrospektiven Studie mit einem Follow-up von 12 Monaten bestätigt werden (Dorj et al., 2022). Auch entgegengesetzt der Annahme, dass herausnehmbare Versorgungen eine bessere Reinigungsfähigkeit aufweisen können, war bei Goodacre und Goodacre (2017) ein höherer Pflegeaufwand und damit verbundene Komplikationen zu verzeichnen. Die Verbindung der

Suprakonstruktion mit dem Implantat zeigte signifikant geringeren Knochenabbau bei verschraubten im Vergleich zu zementierten Konstruktionen. Dieses Ergebnis ist mit der Literatur vereinbar und entspricht einer klinischen Querschnittsstudie, die eine Korrelation zwischen periimplantärer Knochenresorption und Entzündungen und einer Zementierung von implantatgetragenen Zahnersatz herstellt, wobei Zementüberschüsse als Hauptursache vermutet werden (Montevecchi et al., 2025). Dabei war ein insgesamt hohes Risiko für verbliebene Zementüberschüsse bei subgingivaler Lage des Abutment-Implantatübergangs zu beobachten (Kim et al., 2023). Eine mögliche Erklärung für den signifikant geringeren gemessenen röntgenologischen Knochenabbau bei der Auswertung von Zahnfilmen im Vergleich zum OPG, stellt die Aufnahmetechnik dar. Da es sich bei der PSA um eine Projektionsaufnahme handelt und Strukturen überlagern können, entstehen im Vergleich zu Zahnfilmen stärkere Verzerrungen und Artefakte. Daher kann angenommen werden, dass bei der Auswertung durch eine PSA häufig der tatsächliche Knochenabbau, insbesondere im UK-Prämolarenbereich überschätzt wird (Hellén-Halme et al., 2020).

5.2.2 Explorative Hypothesen

H2: Es konnten tendenziell höhere mesiale ($p = ,006$, $b = 0,32$) und distale ($p = ,002$, $b = 0,36$) Sondierungstiefen bei TL-Implantaten der WN-Standardreihe mit einer Halspartie von 2,8 mm als bei Standard-Plus Implantaten mit 1,8 mm nachgewiesen werden und somit die Hypothese bestätigt werden. Es lagen insgesamt tendenziell höhere mesiale und distale Taschentiefen im Oberkiefer vor, ebenso bei gleichzeitigem Auftreten von Blutungspunkten und erhöhtem Knochenabbau. Tendenziell erhöhte distale Sondierungstiefen waren bei Freundsituation zu beobachten. Besonders distal erhöhte Taschentiefen im posterioren Kieferbereich können auf mögliche mechanische und biologische Komplikationen hinweisen. Dabei zeigte eine Studie zwar erhöhte Blutungspunkte bezogen auf eine posteriore Zahnposition (Seitenzahnbereich), dies konnte aber auch an patient*innenspezifischen Faktoren liegen (Farina et al., 2013). Endständige Pfeiler können aufgrund ihrer Position schwierigere Bedingungen für die mechanische Reinigung aufweisen und sind höheren Kaufkräften ausgesetzt. Probleme mit der individuellen Pflege und fehlende Plaquekontrolle, bedingt durch endständige Implantatpositionierung, können Mukositis begünstigen. Daher müssen mehrere Faktoren, wie Implantatposition und patient*innenbezogene Faktoren berücksichtigt werden (Nettemu et al., 2021). Durch periimplantäre Entzündungsprozesse, die sich durch Blutungen und Knochenabbau kennzeichnen, können größere Sondierungstiefen gemessen werden. Durch den entzündlichen Umbauprozess lockert sich das umliegende Gewebe und Knochen baut sich ab, was eine tatsächliche Taschenvertiefung verursachen kann. Die geringere Knochendichte im Oberkiefer kann diese entzündlichen Prozesse begünstigen. Vergleichend mit der Literatur konnte anhand einer Fallstudie, im Zusammenhang mit einer parodontalen

Vorerkrankung, eine höhere Prädisposition für periimplantäre Mukositis und Periimplantitis bei Implantationen im Oberkiefer festgestellt werden (Mengel et al., 2017). Diese Ergebnisse liefern also plausible Zusammenhänge und lassen sich anhand von bekannten pathophysiologischen Mechanismen erklären. Höhere gemessene Werte in den Sondierungstiefen lassen sich mit einem größeren Anteil an unbeschichteter Halspartie bei Standard-Implantaten erklären. Zu der möglichen Erklärung, dass das epitheliale Attachment an glatten Oberflächen geringer ist als an rauen und dadurch eine weniger stabile Anlagerung des Gewebes besteht, ist die Datenlage nicht ganz eindeutig. Kein Unterschied war dabei in einem Artikel aus dem Jahr 2022 zu erkennen (Rothamel et al., 2022), wohingegen ein anderer Artikel, ein Jahr später, bei rauen Oberflächen geringere Sondierungstiefen und weniger Knochenabbau feststellen konnte (Huraib et al., 2023).

H3: Bezüglich der dritten Hypothese ließ sich kein statistisch auffälliger Unterschied in den mesialen ($p = 0,911$, $b = 0,01$) und distalen ($p = 0,735$, $b = 0,03$) Sondierungstiefen bei TL-Implantaten gegenüber BL-Implantaten feststellen. Damit konnte bestätigt werden, dass keine statistisch auffälligen Unterschiede zwischen den beiden Implantatarten in den periimplantären Sondierungstiefen bestehen. Anhand der Untersuchung weiterer Prädiktoren konnten bei einem größeren Implantatdurchmesser, bei Vorliegen von Blutungen und erhöhtem Knochenabbau, als auch bei Implantaten im OK und bei Freundsituationen tendenziell höhere mesiale und distale Taschentiefen ermittelt werden. Zusätzlich lagen höhere mesiale Sondierungstiefen bei Nikotinkonsum vor. Die weiterführende Analyse bestätigt, dass biologische und anatomische Faktoren einen stärkeren Einfluss auf die Sondierungstiefen nehmen, als das Implantatdesign an sich. Vereinbar mit der Literatur ist eine signifikant erhöhte Sondierungstiefe unter Nikotinkonsum, die bestätigt, dass Rauchen als relevanter Risikofaktor für eine Verschlechterung periimplantärer Gewebeverhältnisse eingestuft wird (Şahin, 2023).

Anders als in der vorliegenden Arbeit beschrieben, konnte anhand einer systematischen Überprüfung und Metaanalyse im Hinblick auf Blutungspunkte, Knochenabbau und Sondierungstiefen bei Implantaten mit unterschiedlichen Durchmessern (schmaler Durchmesser $\geq 3,0$ mm bis $< 3,75$ mm und normaler Durchmesser $\geq 3,75$ mm bis < 5 mm) kein Unterschied in den Taschentiefen festgestellt werden (Pesce et al., 2023). Allerdings zeigte sie einen höheren Knochenabbau bei normalen Durchmessern. Implantate mit einem breiteren Durchmesser werden meist in Bereichen mit hoher Kaukraft, im posterioren Kiefer, inseriert um das ehemalige Kronen-Wurzel-Verhältnis von Molaren auszugleichen und eine höhere mechanische Belastung aufzufangen. Eine erschwerte Reinigungsmöglichkeit, und damit verbundene vermehrte Plaqueakkumulation, sowie das Emergenzprofil können das umliegende Gewebe beeinflussen (Pelekos et al., 2023).

H4: Die statistische Auswertung bestätigte eine tendenziell höhere Wahrscheinlichkeit für eine Rezession bei TL-Implantaten gegenüber BL-Implantaten ($OR = 4,17$, 95 %CI [1,60; 10,65], $pd = 99,95$ %). Außerdem lag eine tendenziell höhere Wahrscheinlichkeit für eine Rezession mit Zunahme des Alters, bei höherem Knochenabbau und bei unregelmäßiger Teilnahme am Recall-Programm vor. Tendenzuell geringere Wahrscheinlichkeit für eine Rezession am Implantat bestand interessanterweise für das männliche Geschlecht und bei Vorliegen von fixierter Gingiva. Da das gingivale Attachment bei Knochenrückgang ebenfalls verloren gehen kann, besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen Knochenabbau und Rezessionsbildung durch Weichgeweberückgang. Außerdem scheint eine geringere Weichgewebstdicke die Gefahr einer Rezessionsbildung zu begünstigen (Iorio-Siciliano et al., 2020). Es zeigt sich, dass das Risiko für eine Rezession am Implantat von patient*innenbezogenen und verhaltensabhängigen Faktoren beeinflusst werden kann. Dabei zeigen sich geschlechterspezifische Unterschiede für die Wahrscheinlichkeit einer Rezession mit einem erhöhten Risiko für das männliche Geschlecht. Protektive Faktoren scheinen eine regelmäßige Nachsorge und eine ausreichende Stabilität des Weichgewebes zur Minimierung von Rezessionen zu sein.

H5: Es lag weder für TL-Implantate vom WN- / RN-Typ ($OR = 2,54$, 95 %CI [0,55; 12,36], $pd = 88,28$ %) noch für TL-Implantate vom Standard- / Standard-Plus-Typ ($OR = 0,95$, 95 %CI [0,24; 2,58], $pd = 53,92$ %) eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine fixierte Gingiva vor. Weder der Implantatdurchmesser (WN / RN) noch der Anteil an unbeschichteter Halspartie (S / SP) bei TL-Implantaten hatten Einfluss auf das Vorliegen von fixierter periimplantärer Gingiva. Eine tendenziell höhere Wahrscheinlichkeit für eine fixierte Gingiva lag allerdings bei einer Sinuslift-Operation und bei längeren Implantaten vor. Eine geringere Wahrscheinlichkeit lag bei Vorhandensein einer Rezession und höherem Knochenverlust vor. Dieses Ergebnis stützt die Aussage des engen funktionalen Zusammenspiels zwischen Weich- und Hartgewebe und deutet darauf hin, dass das Vorliegen von fixierter Gingiva von lokalen anatomischen Gegebenheiten abhängen kann. Bei der weiteren Auswertung der Hypothesen zeigte sich ein unerwarteter statistisch auffälliger Zusammenhang zwischen Sinuslift-Operationen und dem Vorliegen von fixierter Gingiva bei TL-Implantaten ($OR = 6,13$, 95 %CI [1,14; 32,11], $pd = 98,90$ %). Eine mögliche Erklärung könnte im Zusammenhang mit einer operativen Weichgeweberekonstruktion durch Lappenbildung während des augmentativen Verfahrens stehen, bei der es auf ein optimales Weichgewebemanagement zur Verhinderung von Pseudotaschen ankommt (Terheyden, 2021). Die engmaschige Nachsorge nach einer solchen Operation kann zusätzlich das Ergebnis begünstigen. Einen kausalen Zusammenhang zwischen Sinuslift-Operation und dem Vorliegen von fixierter Gingiva

herzustellen ist aufgrund multipler Faktoren, wie zum Beispiel dem Zustand der Gingiva (Phänotyp) (Linkevicius et al., 2009), der individuellen Nachsorge, dem Nikotinstatus (Chatzopoulos and Wolff, 2023) und der Operationstechnik (Molina et al., 2022) erschwert. Daher ist dieser Befund trotz Signifikanz mit Vorsicht zu interpretieren.

H6 / H7: Es bestand kein statistisch auffälliger Unterschied im Knochenabbau innerhalb der BL-Implantatreihe zwischen den Kiefern ($p = 0,595$, $b = 0,07$). Die BL-Implantatreihe zeigte ebenfalls keinen statistisch auffällig höheren Knochenverlust bei NC-Implantaten gegenüber den RC-Implantaten ($p = 0,175$, $b = 0,32$). Diese Hypothesen bestätigen, dass innerhalb der Bone-Level-Implantatreihe kein statistisch auffälliger Zusammenhang zwischen dem Knochenabbau und dem Implantatdesign besteht und der Knochenverlust unabhängig von der Kieferlokalisation ist. Allerdings zeigten sich Zusammenhänge in den Kontrollvariablen für beide Hypothesen, die mit der Haupthypothese übereinstimmten. Dabei lag ebenfalls tendenziell höherer Knochenabbau bei Vorhandensein von Blutungen und Rezessionen vor und tendenziell geringerer Knochenabbau, wenn die Suprakonstruktion festsitzend war. Diese Ergebnisse bekräftigen ebenfalls den bereits angenommenen Zusammenhang zwischen periimplantärer Entzündung und marginalem Knochenverlust. Im Rahmen der Auswertung zeigten sich insgesamt eher entzündungsbedingte und prothetische Einflussfaktoren auf den Knochenabbau.

H8: TL-Implantate vom RN-Typ mit einer Halspartie von 1,8 mm (SP) zeigten tendenziell höheren Knochenabbau als die Standard-Implantate mit einer Halspartie von 2,8 mm ($p < ,001$, $b = 0,37$). Damit wurde die Hypothese widerlegt. Anders als bei den Bone-Level-Implantaten zeigten die TL-Implantate hinsichtlich des Knochenabbaus statistisch auffällige Unterschiede bei unterschiedlichem Implantatdesign. Im Gegensatz dazu zeigte diesmal die kürzere unbeschichtete Halspartie (1,8 mm, SP-Typ) einen höheren Knochenabbau. Raucher*innen, Implantate mit Suppurationen und Rezessionen und Implantationen im OK zeigten tendenziell höheren Knochenabbau. Das Vorliegen von fixierter Gingiva und die Auswertung von Zahnfilmen zeigten tendenziell geringeren Knochenabbau. Dies unterstützt die These eines stabilen Weichgewebemanagements zur Reduktion von periimplantärem Knochenabbau.

H9: Bei BL-Implantaten zeigte sich kein statistisch auffälliger Zusammenhang im Auftreten von Blutungen ($OR = 1,54$, 95 %CI [0,84; 2,83], $pd = 91,87$ %) und Suppurationen ($OR = 1,54$, 95 %CI [0,16; 18,86], $pd = 64,42$ %) im Vergleich zu den TL-Implantaten. Es konnte bestätigt werden, dass das Auftreten klinischer Entzündungszeichen nicht mit dem Implantatdesign (TL, BL) korreliert, aber ein statistisch auffälliger Zusammenhang zwischen Blutungen,

Suppurationen und Knochenabbau besteht. Dabei traten Blutungen häufiger in Verbindung mit Suppurationen, erhöhtem Knochenabbau und im OK auf. Ebenso lagen Suppurationen häufiger bei gleichzeitigem Vorliegen von Blutungen und erhöhtem Knochenabbau vor. Die Kieferlokalisation war dabei nicht bedeutend. Das gemeinsame Auftreten von Blutungen und Suppurationen deutet auf eine vorliegende Mukositis hin, wobei ein zusätzlicher Knochenabbau mit einer beginnenden oder bestehenden Periimplantitis vereinbar ist. Dass Blutungen verstärkt im OK auftraten und Suppurationen eher kieferunabhängig lokalisiert waren lässt darauf schließen, dass primär lokal hygienische und patient*innenbezogene Faktoren eine übergeordnete Rolle spielen, als anatomische Unterschiede oder das Implantatdesign.

H10: Die Inzidenz von Pus lag bei TL-Implantaten weder bei RN- / WN-Implantaten ($OR = 1,10$, 95 %CI [0,11; 10,33] $pd = 53,03$ %) noch bei unterschiedlichen Halspartien (S / SP) ($OR = 0,59$, 95 %CI [0,06; 5,15], $pd = 69,18$ %) vor. Ergänzend zu Hypothese 9 zeigt auch ein Vergleich innerhalb der TL-Implantatreihe keinen statistisch auffälligen Zusammenhang im Auftreten von Suppurationen. Dabei zeigten sich Hinweise darauf, dass der Implantatdurchmesser oder die Länge der glatten Halspartie keinen Einfluss auf das Risiko einer bakteriellen Infektion am Implantat hatten.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bei der Implantatplanung und -auswahl besonders in ästhetisch relevanten Bereichen zwischen BL- und TL-Implantaten abgewogen werden sollte. Die Auswertung dieser Untersuchung zeigte, dass TL-Implantate im Vergleich zu BL-Implantaten mit einem höheren Knochenabbau und Rezessionsbildung verbunden sind, wobei die Rezessionsgefahr durch die insgesamt kleine Stichprobengröße gering einzuschätzen ist. Daher können Bone-Level-Implantate bei hohen ästhetischen Ansprüchen oder bei Vorliegen von dünnem Weichgewebe einen Vorteil gegenüber TL-Implantaten bieten. Innerhalb der Bone-Level-Implantatreihe scheint es im Bereich des Knochenabbaus, periimplantärer Entzündungen oder des periimplantären Weichgewebes weniger auf das Implantatdesign (NC, RC) anzukommen. Bei TL-Implantaten zeigte sich ein Unterschied zwischen den Designs RN, WN und S, SP. Dabei zeigten RN-Implantate mit einem kurzen unbeschichteten Hals (1,8 mm) mehr Knochenabbau und WN-Implantate mit einer längeren glatten Halspartie (2,8 mm) höhere Sondierungstiefen. Für die implantologische Planung bedeutet dies, dass die Wahl der Halspartie in Abhängigkeit des vorliegenden Gingivatypen, der Implantatposition und des ästhetischen Anspruchs erfolgen sollte. Insgesamt zeigten sich weniger statistisch auffällige Unterschiede zwischen den beiden Implantatsystemen (BL, TL), als vielmehr in individuellen Risikokonstellationen der Patient*innen (z.B. Rauchen, Recall-Programm, Alter, Entzündungen und Knochenabbau). Der langfristige Erfolg liegt also

weiterhin in einer patientenorientierten Nachsorge und präventiver Betreuung, aber auch in einer sorgfältigen klinischen Indikationsstellung, die individuelle Risikofaktoren berücksichtigt.

5.3 Patientenbezogene Daten

Alter und Geschlecht der Patient*innen

Berücksichtigt wurde das aktuelle Alter der Patient*innen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung und nicht der Insertionszeitpunkt. Das Durchschnittsalter innerhalb des Studienkollektives lag bei 66,36 Jahren ($\pm 11,33$ Jahren). Eine ähnliche Altersverteilung zeigte eine retrospektive Kohortenstudie mit einem Durchschnittsalter von 60 Jahren (Schoenbaum et al., 2021) und eine Fall-Kontroll-Studie mit einem durchschnittlichen Alter von 53 Jahren mit einer Geschlechterverteilung von ca. 50 / 50 % (Basson et al., 2023). Die Geschlechterverteilung in der vorliegenden Arbeit beläuft sich auf 38,7 % Männer und 61,3 % Frauen, wobei zu erwähnen ist, dass die Verteilung des Geschlechts in dieser Population durch eine zufällige Auswahl entstanden ist und daher keine eindeutige Aussage über geschlechtsspezifische Unterschiede hergestellt werden kann.

Komorbiditäten des Patient*innenkollektivs

Laut dem Jahresbericht von 2023 der deutschen Herzstiftung e.V. Deutsche Stiftung für Herzforschung haben in Deutschland ca. 30 % der Bevölkerung eine vorliegende Hypertonie, ca. 5 % eine Herzinsuffizienz und ca. 8 % sind an koronarer Herzkrankheit erkrankt.

Damit liegen die Werte der Studie, mit ca. 23 % vorliegender Hypertonie bei $n = 233$ Implantaten und 66 Patient*innen, ca. 1,7 % vorliegender KHK bei $n = 17$ Implantaten bei fünf Patient*innen leicht unterhalb der, auf die Gesamtbevölkerung angegebenen Daten. Bei ungefähr 4,7 % ($n = 47$ Implantaten) und 16 Patient*innen lag ein Diabetes mellitus (Typ I und II) vor. Laut dem Geschäftsbericht von 2024 der deutschen Diabetes Hilfe (DiabetesDE) beträgt die Diabetes Prävalenz inklusive Dunkelziffer bezogen auf Typ I und II in Deutschland ca. 13,1 % und liegt damit deutlich über dem Wert der untersuchten Studienpopulation. Durch die retrospektive Analyse der Komorbiditäten ist unklar, ob die Erkrankungen bereits vor Implantatinserterion bestanden oder nachträglich erworben wurden. Hinzu kommt, dass sich die angegebenen Werte in dieser Studie zwar auf Implantat- und auf Patient*innenebene beziehen, sich die berichteten Prävalenzen aber durch multiple Begleiterkrankungen überschneiden können.

Raucherstatus

Der Raucherstatus der einzelnen Patient*innen wurde zum Zeitpunkt der Untersuchung festgehalten. Dabei blieb unberücksichtigt, dass Patient*innen zum Zeitpunkt der Implantation geraucht haben konnten und im Laufe der Jahre vom Nikotinkonsum zur Nikotinkarenz

übergegangen sind. Der Faktor Rauchen stellt daher einen dynamischen Parameter dar, der die Interpretation der Ergebnisse beeinflussen kann. Der Anteil an Raucher*innen lag in dieser Studienpopulation bei lediglich 5,2 %. Nur 15 Patient*innen ($n = 42$ Implantate, 4,2%) gaben an regelmäßig zu rauchen. Verglichen mit der Literatur liegt dieser Wert deutlich unterhalb der Norm mit ca. 20 % (Costa et al., 2022). Geringe Prävalenz zeigt sich auch im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung in Deutschland, da laut GEDA 24 % der Frauen und ca. 34 % der Männer rauchen. Die geringe Quote von ca. 5 % kann mit dem durchschnittlichen mittleren Lebensalter (> 65 Jahre) des Patient*innenkollektivs korrelieren. Aufgrund der geringen Anzahl an Raucher*innen ist die Aussagekraft nikotinbezogener Analysen allerdings eingeschränkt.

Parodontale Erkrankungen und Risikofaktoren für Periimplantitis

Wie bei Eickholz et al., (2025) beschrieben, lag die insgesamt Prävalenz für eine Parodontitis, wenn alle Stadien berücksichtigt werden, bei 95,1 % bei jüngeren Erwachsenen (35 – 44 Jahre) und 85,2 % bei jüngeren Senioren und Seniorinnen (65 – 74 Jahren). Damit liegt die Prävalenz parodontaler Erkrankungen in der vorliegenden Studie mit 36,2 % bei $n = 104$ Personen bei einem Durchschnittsalter von 66 Jahren, deutlich unter der, laut der DMS-6 Studie veröffentlichten Gesamtprävalenz von 95,1 % und 85,2 %. Für die Stadien III und IV lag der Wert dieser Studie im Bereich der beschriebenen Prävalenzen von 17,5 % für 35 – 44-Jährige und 52,7 % für 65 – 74-Jährige. In der vorliegenden Arbeit wurde eine parodontale Erkrankung binär, also mittels Ja / Nein-Entscheidung dokumentiert ohne die jeweiligen Stadien zu berücksichtigen. Weiterhin kann argumentiert werden, dass durch die Selektivität der Stichprobe nur eine geringe Anzahl an parodontaler Erkrankungen erfasst werden konnte.

Recall- und Nachsorgeverhalten

Die rein deskriptive Auswertung des Recall-Verhaltens der Patient*innen zeigt eine hohe Frequenz mit einem durchschnittlichen Intervall von 7,59 Monaten $\pm$ 3,18 Monaten auf Implantatebene ($n = 995$) und von 7,85 Monaten $\pm$ 3,27 Monaten auf Patient*innenebene. Dieses Ergebnis ist ähnlich der Empfehlung der EFP-Leitlinie, bei der ein Intervall von 3 – maximal 12 Monaten, je nach parodontalem Zustand vorliegen sollte. Mit nur $n = 20$ Implantaten ohne jegliche Nachsorge in Form von professionellen Zahnreinigungen und einer insgesamt geringen Standardabweichung lässt sich sagen, dass in dieser Patient*innenkohorte eine gute Compliance, bezogen auf das Recall-Verhalten, bestand. Trotzdem empfiehlt sich für jede einzelne Patientin, jeden einzelnen Patienten, abhängig von den jeweiligen unterschiedlichen Risikofaktoren (möglichen Vorerkrankungen, der individuellen Compliance, Möglichkeit der häuslichen Zahnpflege) ein individuelles Recall-Intervall festzulegen (Sahrmann, 2015). Insgesamt lässt sich sagen, dass das Nachsorge-

Verhalten in diesem Studiendesign weitgehend den aktuellen Empfehlungen entspricht. Es sollten allerdings auch subjektive Faktoren wie Motivation der Patient*innen und finanzielle Möglichkeiten zur Teilnahme an engmaschigen Zahnreinigungen berücksichtigt werden.

5.4 Implantatbezogene und periimplantäre Daten

Knochenabbau

Der röntgenologische Knochenabbau wurde anhand von $n = 296$ Zahnfilmen und $n = 699$ angefertigten Panoramaschichtaufnahmen (OPG) ausgewertet. Beide Varianten sowohl die Einzelzahnaufnahme als auch die Übersichtsaufnahme zeigten durch eine am Schweinekiefer durchgeführte Studie, bezogen auf den periimplantären Knochenabbau, relativ hohe Abweichungen von $0,34 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ bei Zahnfilmen und $0,41 \text{ mm} \pm 0,35 \text{ mm}$ bei Panoramaschichtaufnahmen (Kruse, 2008). Beide Aufnahmen unterliegen gewissen Techniken, die bei korrekter Anwendung dazu dienen Verzerrungen möglichst gering zu halten, wobei gezeigt werden konnte, dass die auftretenden Verzerrungen, die durch Projektion und Positionierung der Patient*innen entstehen können, gleichermaßen bei Zahnfilmen, als auch bei der PSA vorliegen (Schulze et al., 2000). Im Vergleich zu einer dreidimensionalen Aufnahme zeigen die zweidimensionalen Röntgenbilder zwar höhere Anfälligkeiten für Messfehler, sind aber aufgrund der Genauigkeit für Routineuntersuchungen geeignet (Werner, 2016). Aufgrund der geringeren Strahlenbelastung wurden in der Zahnarztpraxis Dentalpro zur regelmäßigen Nachkontrolle die zweidimensionalen Aufnahmen (OPG und ZF) routinemäßig präferiert und dreidimensionale Bildgebungen eher zur Implantatplanung herangezogen. Eine Reliabilitätsanalyse sollte allerdings für zukünftige Studien mit Durchführung einer unabhängigen Doppelmessung mit Berechnung des ICC's zur Erhöhung der Präzision durchgeführt werden. Auch sollten standardisierte Messmethoden herangezogen werden. Bei der Auswertung der Röntgenbilder bezogen auf den Knochenabbau lag bei $n = 701$ Implantaten messbarer Knochenrückgang vor. Dabei lag der durchschnittlich gemessene Wert bei $1,21 \text{ mm} \pm 1,43 \text{ mm}$ über alle Implantate hinweg. Bei BL-Implantaten wurde in der RC-Reihe ein Mittelwert von $0,76 \text{ mm} \pm 1,11 \text{ mm}$ und bei NC $1,06 \text{ mm} \pm 1,22 \text{ mm}$ ermittelt. Innerhalb der TL-Implantatreihe wurde für RN-S ein mittlerer Knochenabbau von $1,41 \text{ mm} \pm 1,59 \text{ mm}$, RN-SP $1,47 \text{ mm} \pm 1,41 \text{ mm}$, WN-S $0,99 \text{ mm} \pm 1,16 \text{ mm}$ und für WN-SP $1,02 \text{ mm} \pm 1,51 \text{ mm}$ erhoben. Nach den Erfolgskriterien von Albrektsson & Zarb (1986) liegt der Grenzwert des durchschnittlichen Knochenabbaus im ersten Jahr bei $\leq 1,5 \text{ mm}$ nach Insertion und bei $\leq 0,2 \text{ mm}$ jährlich in den Folgejahren (Albrektsson et al., 1986). Daher kann, trotz der unterschiedlichen Messverfahren und einer nicht auszuschließenden Messungenauigkeit von einer erfolgreichen Langzeitstabilität der untersuchten Implantate gesprochen werden. Das Maximum von $9,30 \text{ mm}$ Knochenabbau und

die relativ hohe Standardabweichung von 1,43 mm weisen auf einige Ausreißer mit massivem Knochenverlust in Einzelfällen hin.

Implantatlänge und Implantatdurchmesser

Am häufigsten wurden Implantate mit einem Durchmesser von 4,1 mm ($n = 494$) und einer Länge von 10 mm ($n = 452$) und 12 mm ($n = 419$) verwendet. Zwar gibt es Studien die zeigen, dass kürzere Implantate (< 10 mm) mit geringeren Komplikationen und Knochenverlusten einhergehen können (Sáenz-Ravello et al., 2023). In dem vorliegenden Studiendesign kommt allerdings hinzu, dass sehr kurze Implantate (≤ 6 mm, $n = 6$) und sehr lange Implantate (≥ 14 mm, $n = 42$) insgesamt kaum Anwendung fanden und damit keine ausreichende Aussagekraft erhalten können.

Augmentationen und Sinuslift-Operationen

Bei der Mehrzahl der Implantate ($n = 580$) fanden keine Augmentationen statt. Am häufigsten ($n = 296$) wurde eine Augmentation mit xenogenem Material durchgeführt. Ein Vergleich der Augmentationsmaterialien autologer Knochen mit BioOss zeigte keinen Unterschied in der vertikalen Dimension des Knochens nach 5 Jahren und wies unabhängig vom verwendeten Material hohe Implantatüberlebensraten auf (Starch-Jensen et al., 2018).

Sinuslift-Operationen fanden trotz einer relativ hochfrequentierten Implantation im seitlichen Oberkiefer (Regio 13-18: $n = 186$ im ersten Quadranten und Regio 23-28: $n = 195$ im zweiten Quadranten) mit 11,16 % ($n = 111$ Implantate) insgesamt nur wenig statt. Berücksichtigt wurde dabei nicht, ob die Augmentationen oder Sinusliftoperationen einzeitig oder zweizeitig stattgefunden haben. Es fand keine weitere Unterteilung innerhalb der operativen Technik (externer / interner Sinuslift) statt.

Periimplantäres Weichgewebe (fixierte Gingiva / Rezessionen)

BL-Implantate zeigten eine Prävalenz für Rezessionen bei nur 7,1 % der Implantate, TL-Implantate zeigten dabei eine etwas höhere Prävalenz von 20,4 % für eine Rezession. Ebenso lag bei nur 7,04 % der Implantate eine bewegliche vestibuläre Gingiva vor. Verglichen mit der gesamten Studienpopulation lässt sich sagen, dass Rezessionen und Fehlen von fixierter Gingiva insgesamt nur sehr selten auftraten.

5.5 Prothetik

Implantatprothetische Versorgung, Befestigungsart und klinische Ausgangssituation

Im Hinblick auf die prothetische Versorgung und die Befestigung der Suprakonstruktionen ließ sich eine deutliche Tendenz zu zementierten Implantataufbauten mit einer Häufigkeit von 69,95 % erkennen. Eine ältere retrospektive Studie von 2008 zeigt bei 1939 nachuntersuchten

Implantaten ebenfalls eine deutlich höhere Frequenz bei einer Zementierung (1551 Implantate) als bei der verschraubten Variante (330 Implantate) (Cicciù et al., 2008). Trotz des potenziellen Nachteils von Zementüberschüssen im periimplantären Gewebe und der fehlenden Abnahmefähigkeit wurde die Mehrheit der implantatprothetischen Versorgung zementiert. Das kann mit einem fehlenden okklusalen Platzangebot im Seitenzahnbereich oder einer ästhetischen Einschränkung in der Front zusammenhängen. Es zeigt, dass Zementierungen der klinischen Realität entsprechen, da sie zudem eine höhere Flexibilität in der prothetischen Ausrichtung erlauben können.

Da sich die meisten Studien damit befassen den Unterschied von zementierten im Vergleich zu verschraubten Konstruktionen anhand von Einzelzahnrestaurationen zu untersuchen (Wolfart et al., 2021, Lamperti et al., 2022), wurde in diesem Studiendesign ebenfalls die Art der unterschiedlichen Versorgung berücksichtigt. Dabei war auffällig, dass die festsitzende Versorgung durch verblockte Kronen ($n = 355$, 35,68 %) am häufigsten, unverblockte implantatgetragene Einzelkronen ($n = 218$, 21,9 %) am zweithäufigsten, gefolgt von der Brückenversorgung ($n = 194$, 19,50 %) Anwendung fand. Herausnehmbarer Zahnersatz (u.a. Steg-, Teleskop-, Locator- und Kombinationsprothesen) lag bei $n = 228$ Implantaten vor. Eine Versorgung im zahnlosen Kiefer fand insgesamt mit $n = 185$ Implantaten statt. Am häufigsten wurden Freiendsituationen mit $n = 407$ Implantaten versorgt, dabei $n = 39$ Implantate als Einzelversorgungen. Schaltlücken wurden mit $n = 217$ Implantaten und $n = 147$ davon als Einzelimplantate versorgt. Dieses Ergebnis lässt die Annahme zu, dass Einzelzahnversorgungen im posterioren Kieferbereich, als Freiendsituation, keinen häufigen Anklang fanden, da sich diese im nicht sichtbaren Bereich befinden und das Belassen einer verkürzten Zahnreihe unter gewissen Gesichtspunkten durchaus vertretbar sein kann (Gerritsen et al., 2013). Zudem kann dies ein kostengünstigeres Konzept darstellen (Armellini und von Fraunhofer, 2004). Bei Schaltlücken liegt eine höhere Präferenz zur Versorgung vor, um zum Beispiel ungünstigen Abstützungsverhältnissen oder Elongationen des Restzahnbestandes entgegenzuwirken. Auch kann trotz des Durchschnittsalters von ca. 66 Jahren der Studienpopulation insgesamt ein guter Restzahnbestand beobachtet werden. Die Wahl der verwendeten Prothetik unterliegt nicht nur ästhetischen, funktionellen oder anatomischen Faktoren, sondern eben auch patient*innenindividuellen Gesichtspunkten.

Prothetische Komplikationen

Die Erfassung der Dokumentation der prothetischen Komplikationen war durch die langen Zeiträume der Verweildauer von bis zu 30 Jahren deutlich limitiert. Eine ausreichende Dokumentation über mögliche prothetische Komplikationen zu erlangen war erschwert. Dadurch ist eine mögliche Untererfassung der Ereignisse nicht auszuschließen und begünstigt Reporting Bias. Zudem konnte keine Ereignis-Zeit-Analyse durchgeführt werden, da der

genaue Zeitpunkt des Auftretens der jeweiligen Komplikation nicht dokumentiert werden konnte. Insgesamt konnten bei $n = 75$ Implantaten prothetische Komplikationen festgestellt werden. Aufgrund der geringen Anzahl ist das Ergebnis allerdings kritisch zu hinterfragen.

5.6 Überlebensrate und Risiken für Implantatverlust

Insgesamt konnten nur wenige Implantatverluste ($n = 21$) und somit eine stabile Langzeitprognose verzeichnet werden. Nach 30 Jahren bestand eine Implantatüberlebenswahrscheinlichkeit von 95,9 % mit einem Konfidenzintervall von 93,5 % bis 98,3 %. Eine ältere Studie zeigte noch deutlich geringere Überlebensraten beim ITI-System von nur 92,4 % nach 5 Jahren, 91,5 % nach 10 Jahren und 84,5 % nach ungefähr 14 Jahren (Roßmann, 2015). Ebenfalls eine geringere Rate des Implantatüberlebens zeigte eine Studie mit einer 92,73 %igen Überlebensrate bei einem Beobachtungszeitraum von ungefähr 5 Jahren (Chepernate Vieira Dos Santos et al., 2023). Ähnliche Überlebensraten zeigte eine Studie nach 5-6 Jahren Follow-up von 96,8 % in der Testgruppe und 98,5 % in der Kontrollgruppe innerhalb der Bone-Level Implantatreihe von Straumann (Herrmann, 2022). Eine Metaanalyse, die sich mit der Langzeitüberlebensrate von Titanimplantaten über 20 Jahre beschäftigte, zeigte eine mittlere Überlebensrate von 92 % anhand prospektiver Studien und 88 % mittels retrospektiver Studien (Kupka et al., 2024). Insgesamt waren nur wenige Studien mit einem Follow-up von > 20 bzw. 25 Jahren zu finden. Im Vergleich zur Literatur zeigt sich also eine überdurchschnittlich hohe Überlebenswahrscheinlichkeit für das Implantatsystem. Dabei ist allerdings zu sagen, dass es sich bei dem hier vorliegenden Patient*innenkollektiv um eine Stichprobe handelt, die lediglich einen Teil der Gesamtpopulation der implantologisch versorgten Patient*innen der Praxis widerspiegelt und somit eine Selektionsverzerrung möglich ist.

Trotz der geringen Anzahl an Explantationen zeigten sich mehrere signifikante Risikofaktoren für einen Implantatverlust. Signifikante Zusammenhänge ergaben sich in Bezug auf den Nikotinstatus, das Implantatsystem (BL, TL), die Implantatlänge und die Kieferregion. Bei Raucher*innen zeigte sich eine deutliche Abnahme der Implantatüberlebenswahrscheinlichkeit, die nach 25 Jahren nur 87,2 % betrug, wohingegen Nichtraucher*innen nach 30 Jahren noch eine Wahrscheinlichkeit von 96,3 % aufwiesen. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass Nikotin nicht nur in der frühen Phase, der Einheilphase, einen negativen Effekt hat, sondern die schädigende Wirkung auch im Langzeitverlauf zu erkennen ist und das Risiko eines Implantatverlustes signifikant erhöht. TL-Implantate zeigten ein signifikant höheres Risiko für einen Implantatverlust bei WN-Standard-Implantaten mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 92 % nach 20 Jahren, wobei RN-Standard-Implantate nach 30 Jahren noch eine Wahrscheinlichkeit von 99,5 % aufwiesen. Kein Verlust konnte bei den WN-SP-Implantaten verzeichnet werden, daher betrug die

Überlebenswahrscheinlichkeit 100 %. Insgesamt lässt sich für das TL-Implantatsystem eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit mit geringen Unterschieden feststellen, die auf unterschiedliche Implantatdesigns zurückzuführen sein können. Kürzere Implantate mit einer Länge von 6-8 mm wiesen eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 86,9 % nach 25 Jahren auf. Eine mittlere Länge von 10-12 mm zeigte nach 30 Jahren eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit von 96,4 % und lange Implantate mit 14-16 mm zeigten die höchste Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,8 % nach 25 Jahren. Ein möglicher Zusammenhang könnte bei längeren Implantaten mit einem höheren BIC (Bone-to-Implant Contact) und damit größerer Kontaktfläche am Implantat bestehen. Die Kieferlage wies eine etwas geringere Überlebenswahrscheinlichkeit im OK von 94,2 % nach 30 Jahren im Vergleich zum UK mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,6 % nach 25 Jahren auf. Unterschiede in der Überlebensrate können durch die verschiedenen Knochenqualitäten bedingt sein.

5.7 Schlussfolgerung zur deskriptiven Statistik

Die geringe Anzahl an Raucher*innen, eine insgesamt hohe und gleichmäßige Frequenz an einer Recall-Teilnahme, wenig parodontale Erkrankungen und Suppurationen an den Implantaten sprechen für ein gesundheitsbewusstes und gut betreutes Patient*innenkollektiv. Das kann zum einen daran liegen, dass eine Implantation häufig erst nach einer ausreichenden konservierenden und / oder parodontalen Vorbehandlung stattfindet und damit bereits eine prächirurgische Keimreduktion stattfinden kann. Zum anderen, dass sich Bestandspatient*innen bereits vor Implantation in einem festen Recall- und Nachsorgeprogramm befanden, bei denen im Vorfeld eine ausreichende Mundhygieneaufklärung und -kontrolle stattgefunden hatte.

6. Zusammenfassung

Einleitung

Ziel dieser Arbeit war es einen möglichst praxisnahen und praxisrelevanten Vergleich innerhalb eines einzelnen Implantatsystems, über einen langen Zeitraum (> 30 Jahre), welches durchgehend von den gleichen Behandlerinnen und Behandlern in einer niedergelassenen Zahnarztpraxis verwendet wurde, herzustellen und die einzelnen Implantattypen (BL, TL) unter der Berücksichtigung möglichst vieler Kontrollvariablen miteinander zu vergleichen. Implantatverluste sollten hinsichtlich patient*innen- und implantatspezifischer Risikofaktoren systematisch analysiert werden und der Einfluss auf das Langzeitüberleben bewertet werden. Da jede Patientin, jeder Patient individuell ist und multifaktorielle implantologische Herausforderungen bieten kann, war es unter anderem Ziel,

möglichst viele klinische Vergleichsparameter mit einzubeziehen. Daher wurden patient*innen- und implantatbezogene sowie prothetische Faktoren hinzugezogen.

Material und Methoden

Die erhobenen Daten wurden deskriptiv berichtet und die Hypothesen mit der Statistiksoftware RStudio durch Regressionsanalysen (LMM) und Bayes'sche Modelle ausgewertet. Überlebenswahrscheinlichkeiten wurden anhand von Kaplan-Meier-Analysen (Log-Rank-Tests) erstellt. Dabei wurden die einzelnen Risikofaktoren nach Systemgruppen untersucht. Implantatverluste ($n = 21$) wurden deskriptiv berichtet und aus der Hypothesenauswertung ausgenommen. Ein Vergleich der Explantation mit den Implantaten in situ wurde mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests ausgewertet. Um ein möglichst breites Patient*innenspektrum abzubilden, wurden insgesamt 288 Patient*innen und 1016 Implantate retrospektiv untersucht, wobei nach Abzug der Implantatverluste noch $n = 287$ Patient*innen und $n = 995$ Implantate für die statistische Auswertung verblieben. Auffällig war ein sehr geringer Verlust von $n = 21$ Implantaten, wodurch insgesamt $n = 995$ für die Analysen zur Verfügung standen. Davon waren 148 Bone-Level-RC-Implantate und 91 Bone-Level-NC-Implantate. Bei den TL-Implantaten lagen 350 RN-Standard-, 209 RN-Standard-Plus-, 101 WN-Standard-, 96 WN-Standard-Plus-Implantate vor. Die Analysen bezogen sich auf die Sondierungstiefen (mesial / distal), den röntgenologischen Knochenabbau, BOP und Pus sowie das Vorhandensein von fixierter Gingiva und Rezessionen. Weitere Prädiktoren waren das Alter und das Geschlecht, der Nikotinstatus, eine parodontale Vorerkrankung, Implantatdurchmesser und -länge, Augmentationen und Sinuslift-Operationen, Implantationsregion und Kieferbereiche und die Art der röntgenologischen Aufnahme (ZF / OPG). Prothetische Kontrollvariablen waren der prothetische Befund, die Versorgung, die Art der Befestigung der Suprakonstruktion und die prothetischen Komplikationen.

Ergebnisse

Die Überlebenswahrscheinlichkeit nach Kaplan-Meier betrug nach 30 Jahren 95,9 % (KI 93,5 – 98,3 %). Besonders hervorzuheben ist dabei die maximale Verweildauer einzelner Implantate von 30,86 Jahren bei einer insgesamt durchschnittlichen Verweildauer von $11,99 \pm 6,80$ Jahren. Eine parodontale Erkrankung lag bei 36,2 % auf Patient*innenebene, 42,1 % auf Implantatebene vor, das Recall-Verhalten lag mit einem regelmäßigen Intervall im Durchschnitt bei $7,85 \pm 3,27$ Monaten (Patient*innenebene) und bei $7,59 \pm 3,18$ Monaten (Implantatebene) vor. Chirurgische Augmentationen fanden mit unterschiedlichen Materialien statt, wobei autologes Material bei 7,24 %, xenogenes Material bei 29,75 %, und die Kombination bei 4,62 % Implantationen verwendet wurden. Sinuslift-Operationen im seitlichen Oberkiefer fanden auf Implantatebene mit 11,16 % (9,76 % auf

Patient*innenebene) selten statt. Blutungen (BOP +) lagen bei insgesamt 320 Implantaten vor, davon entsprachen 27,2 % bei BL-Implantaten und 33,7 % bei TL-Implantaten. Suppurationen wiesen 15 Implantate auf, davon 0,8 % bei BL- und 1,7 % bei TL-Implantaten. Die durchschnittliche mesiale / distale Sondierungstiefe bei BL- und TL-Implantaten lag bei $3,38 \text{ mm} \pm 1,00 \text{ mm}$ / $3,43 \text{ mm} \pm 0,98 \text{ mm}$. Bezogen auf die einzelnen Implantattypen betrug die durchschnittliche mesiale / distale Sondierungstiefe bei BL-Implantaten bei RC $3,30 \text{ mm} \pm 1,06 \text{ mm}$ / $3,22 \text{ mm} \pm 0,86 \text{ mm}$ und bei NC $3,09 \text{ mm} \pm 0,90 \text{ mm}$ / $3,49 \text{ mm} \pm 0,90 \text{ mm}$. Bei den TL-Implantaten betrug sie für mesiale / distale Messungen bei RN-S $3,33 \text{ mm} \pm 0,95 \text{ mm}$ / $3,38 \text{ mm} \pm 0,99 \text{ mm}$, RN-SP $3,46 \text{ mm} \pm 1,02 \text{ mm}$ / $3,49 \text{ mm} \pm 0,92 \text{ mm}$, WN-S $3,82 \text{ mm} \pm 0,91 \text{ mm}$ / $3,89 \text{ mm} \pm 0,94 \text{ mm}$, WN-SP $3,34 \text{ mm} \pm 1,08 \text{ mm}$ / $3,51 \text{ mm} \pm 1,21 \text{ mm}$. Die Ergebnisse der Untersuchung des periimplantären Weichgewebes ergaben vorliegende Rezessionen bei BL- mit 7,1 % und bei TL-Implantaten mit 20,4 %. Das Fehlen von fixierter Gingiva im vestibulären Bereich betrug insgesamt 7,04 %. Die Auswertung des röntgenologischen Knochenabbaus erfolgte mit Hilfe von OPGs bei 699 Implantaten und Zahnfilmen bei 296 Implantaten. Der röntgenologische Knochenabbau betrug im Durchschnitt $1,21 \text{ mm} \pm 1,43 \text{ mm}$ mit einem Maximum bei 9,30 mm. Verteilt auf die einzelnen Implantatsysteme belief sich der Knochenabbau bei BL RC auf $0,76 \text{ mm} \pm 1,11 \text{ mm}$ und bei NC auf $1,06 \text{ mm} \pm 1,22 \text{ mm}$. Bei den TL-Implantaten zeigte sich ein Abbau bei RN-S von $1,41 \text{ mm} \pm 1,59 \text{ mm}$, bei RN-SP von $1,47 \text{ mm} \pm 1,41 \text{ mm}$, bei WN-S von $0,99 \text{ mm} \pm 1,16 \text{ mm}$ und bei WN-SP von $1,02 \text{ mm} \pm 1,51 \text{ mm}$.

Bezogen auf die prothetische Versorgung waren 69,95 % der Suprakonstruktionen zementiert und 30,05 % verschraubt. Anhand des Restzahnbestandes wurden die Implantatpositionen aufgeteilt in vorliegende Schalltlücken mit 21,81 %, Freiendsituationen mit 40,90 % und die Versorgung im zahnlosen Kiefer mit 18,59 %. Unverblockte Einzelversorgungen fanden innerhalb von Schalltlücken bei 14,77 % und bei Freiendsituationen 3,92 % statt. Eine genauere Aufteilung der prothetischen Rehabilitation zeigte eine Verteilung von festsitzenden Versorgungen mit verblockten Kronen bei 35,68 %, unverblockten Kronen bei 21,91 %, Brückenkonstruktionen mit 19,50 % und herausnehmbaren Prothesen mit insgesamt 22,92 %. Prothetische Komplikationen waren unabhängig des Implantattyps bei 7,54 % zu verzeichnen. Der Chi-Quadrat-Test zeigte anhand eines Vergleichs der Explantationen mit den Implantaten in situ signifikante Zusammenhänge bei der Implantatlänge ($p = ,004$), innerhalb der TL-Implantatreihe ($p = ,002$) und der Kieferlage ($p = ,006$). Die rein deskriptive Statistik zeigte stabile Langzeitergebnisse für ein insgesamt erfolgreiches Implantatsystem über eine Dauer von 30 Jahren mit geringen prothetischen Komplikationen, wobei dieses Ergebnis anhand der retrospektiven Auswertung und möglicher fehlender Aufzeichnungen über die Zeit kritisch zu hinterfragen ist. Signifikante Zusammenhänge für einen Implantatverlust lagen anhand der Auswertung der Kaplan-Meier-Analysen und Log-Rank-Tests bei einem positiven

Nikotinstatus vor, wobei nach 25 Jahren eine geringe Überlebenswahrscheinlichkeit von 87,2 % bei Raucher*innen bestand. Ebenso signifikant waren das Implantatdesign und die Kieferlage. Bei TL-Implantaten lag bei WN-Standard Implantaten eine geringere Überlebenswahrscheinlichkeit von 92 % nach 20 Jahren vor. Bei kurzen (6-8 mm) Implantaten betrug die Wahrscheinlichkeit nach 25 Jahren nur 86,9 %. Eine geringere Überlebenswahrscheinlichkeit lag im Oberkiefer mit 94,2 % nach 30 Jahren vor. Drei von insgesamt zehn Hypothesen konnten bestätigt werden (**H1 / H2 / H4**). TL-Implantate zeigten dabei höhere mesiale und distale Sondierungstiefen bei Standard-Implantaten (Halspartie 2,8mm) (**H2**) und insgesamt traten bei TL-Implantaten häufiger Rezessionen auf (**H4**). Hingegen BL-Implantate geringeren röntgenologischen marginalen Knochenabbau aufwiesen (**H1**). Sieben Hypothesen (**H3 / H5 / H6-H10**) wurden bei der statistischen Auswertung widerlegt. TL-Implantate zeigten keine reduzierten Taschentiefen gegenüber BL-Implantate (**H3**). Bei Standard Plus Implantaten lag kein geringerer Knochenabbau vor (**H8**) und Standard-Implantate zeigten keine häufigeren Suppurationen als Standard-Plus-Implantate auf (**H10**). Bei WN-Implantaten vom S- und SP-Typ lag kein statistisch auffälliger Unterschied beim Vorliegen von fixierter Gingiva gegenüber RN-S- und RN-SP-Implantaten vor (**H5**). Kein Vorteil bestand bei BL-Implantaten gegenüber TL-Implantaten in Bezug auf Entzündungszeichen (BOP / Pus) (**H9**). Auch die Kieferlage (OK / UK) ergab keinen statistisch auffälligen Nachteil im Knochenabbau bei BL- gegenüber TL-Implantaten (**H6**). Innerhalb der BL-Reihe zeigte sich keine statistische Auffälligkeit im Knochenabbau zwischen RC- und NC-Implantaten (**H7**).

Zusammenfassung

Beide Implantattypen (BL vs. TL) sind mit einer hohen Erfolgsquote und klinischer Zuverlässigkeit gekennzeichnet, was sich durch das Widerlegen von sieben Hypothesen bestätigen ließ. Es verdeutlicht, dass viele der angenommenen Unterschiede / Einflussfaktoren nicht unbedingt von der Implantatgeometrie abhängig sind und sich im klinischen Alltag weniger deutlich manifestieren. Allerdings zeigte sich klinische Relevanz hinsichtlich des Implantatdesigns. Bei der Verwendung von TL-Implantaten können im ästhetischen Bereich Nachteile durch Rezessionen entstehen. Allerdings lagen Rezessionen insgesamt nur sehr selten vor. Ein höherer Anteil der unbeschichteten Halspartie (2,8 mm) bei TL-Implantaten kann zu tieferen Taschentiefen führen. Daher sollte die Auswahl des Implantattyps (Standard vs. Standard Plus) besonders bei Patient*innen mit parodontal vorgeschädigten Gebissen, einer höheren Prävalenz für Plaqueakkumulation, fehlender oder eingeschränkter Compliance oder ungünstiger mechanischer Reinigungsmöglichkeit (z.B. im posterioren Kieferbereich) sorgfältig erfolgen. Bone-Level-Implantate bieten eine gute Alternative und zeigten im direkten Vergleich insgesamt signifikant geringeren marginalen

Knochenabbau als TL-Implantate. Eine geringe Inzidenz von BOP und Suppurationen verdeutlicht die Relevanz von patient*innenorientiertem Biofilmmangement. Limitationen durch Selektionsverzerrung und Dokumentationsbias sowie fehlende Reliabilitätsanalyse bei der Röntgenbildauswertung waren gegeben. Daher sind weitere standardisierte Analysen sowie prospektive und randomisierte Studien notwendig um kausale Zusammenhänge eindeutiger herauszuarbeiten. Verzerrung durch Ausschluss der Explantation aus multivariaten Analysen kann einen Survivorship Bias hinsichtlich der Auswertung der Hypothesen begünstigen. Die Kaplan-Meier-Analysen und Log-Rank-Tests hinsichtlich des Risikos eines Implantatverlustes zeigen signifikante Zusammenhänge. Aufgrund der geringen Anzahl an Verlusten ist das Ergebnis vorsichtig zu interpretieren. Die vorliegende Arbeit bietet einen breiten Überblick über klinisch relevante Faktoren, die die Langlebigkeit der Implantate beeinflussen können. Weitere Analysen bzgl. individueller Risikofaktoren (z.B. Bruxismus, gingivaler Phänotyp, implantatprothetisches Design, Patientenzufriedenheit) sollten dabei detaillierter untersucht werden.

7. Literaturverzeichnis

Albrektsson, T., Chrcanovic, B., Östman, P.-O., Sennerby, L., 2017. Initial and long-term crestal bone responses to modern dental implants. *Periodontology* 2000 73, 41–50.

Albrektsson, T., Zarb, G., Worthington, P., Eriksson, A.R., 1986. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 1, 11–25.

Ali, D.S., Khan, A.A., Morrison, A., Tetradis, S., Mirza, R.D., El Rabbany, M., Abrahamsen, B., Aghaloo, T.L., Al-Alwani, H., Al-Dabagh, R., Anastasilakis, A.D., Bhandari, M., Body, J.-J., Brandi, M.L., Brignardello-Petersen, R., Brown, J.P., Cheung, A.M., Compston, J., Cooper, C., Diez-Perez, A., Ferrari, S.L., Guyatt, G., Hanley, D., Harvey, N.C., Josse, R.G., Kendler, D.L., Khan, S., Kim, S., Langdahl, B.L., Magopoulos, C., Masri, B.K., Morgan, S.L., Morin, S.N., Napoli, N., Obermayer-Pietsch, B., Palermo, A., Pepe, J., Peters, E., Pierroz, D.D., Rizzoli, R., Saunders, D.P., Stanford, C.M., Sulimani, R., Taguchi, A., Tanaka, S., Watts, N.B., Zamudio, J., Zillikens, M.C., Ruggiero, S.L., 2025. Antiresorptive Therapy to Reduce Fracture Risk and Effects on Dental Implant Outcomes in Patients With Osteoporosis: A Systematic Review and Osteonecrosis of the Jaw Taskforce Consensus Statement. *Endocrine Practice* 31, 686–698.

Al-Juboori, M.J., Al-Attas, M.A., Minichetti, J., Akhikar, J., 2024. The Use of Splinted Versus Nonsplinted Prosthetic Design in Dental Implants: A Literature Review. *Journal of Oral Implantology* 50, 50–64.

Anitua, E., Alkhraisat, M.H., 2019. 15-year follow-up of short dental implants placed in the partially edentulous patient: Mandible vs maxilla. *Annals of anatomy*. 222, 88–93.

Antalainen, A.-K., Helminen, M., Forss, H., Sándor, G.K., Wolff, J., 2013. Assessment of removed dental implants in Finland from 1994 to 2012. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 28.

Arango Santander, S., Pelaez Vargas, A., Saldarriaga Escobar, J., Monteiro, F.J., Restrepo Tamayo, L.F., 2010. Ceramics for dental restorations-An Introduction. *Dyna* 77(163), 26–36.

Armellini, D., von Fraunhofer, J. A. (2004). The shortened dental arch: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry* 92, 531–535.

Armitage, G.C., Xenoudi, P., 2016. Post-treatment supportive care for the natural dentition and dental implants. *Periodontology* 2000, 71, 164–184.

Ata-Ali, J., Ata-Ali, F., Bagan, L., 2015a. A Classification Proposal for Peri-Implant Mucositis and Peri-Implantitis: A Critical Update. *Open Dentistry Journal* 9, 393–395.

Basson, A.A., Mann, J., Findler, M., Chodick, G., 2023. Correlates of Early Dental Implant Failure: A Retrospective Study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 38, 897–906.

Becker, S.T., Beck-Broichsitter, B.E., Rossmann, C.M., Behrens, E., Jochens, A., Wiltfang, J., 2016. Long-term Survival of Straumann Dental Implants with TPS Surfaces: A Retrospective Study with a Follow-up of 12 to 23 Years. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 18, 480–488.

Bruckmann, C., Durstberger, G., Matejka, M., 2006. Das Wiener parodontologische Behandlungskonzept, Teil I. Epidemiologie-Diagnostik-Behandlungsplan-Basistherapie. *Stomatologie* 103, 5–10.

Buser, D., Schenk, R.K., Steinemann, S., Fiorellini, J.P., Fox, C.H., Stich, H., 1991. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *Journal of Biomedical Materials Research* 25, 889–902.

Buser, D., Von Arx, T., Ten Bruggenkate, C., Weingart, D., 2000. Basic surgical principles with ITI implants Note. *Clinical Oral Implants Research*, Chapter 3, 59–68.

Chatzopoulos, G.S., Wolff, L.F., 2023. Dental implant failure and bone augmentation: A retrospective study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 15, e195–e204.

Chepernate Vieira Dos Santos, C., Gonçalves, M.G., Souza Campos Costa, M., da Silva Costa, S.M., Ferreira Santiago Junior, J., de Almeida, A.L.P.F., 2023. Survival Rate of Dental Implants in the Cleft Area: A Cross-Sectional Retrospective Study. *Journal of Craniofacial Surgery* 34, 2146–2148.

Cicciù, M., Beretta, M., Risitano, G., Maiorana, C., 2008. Cemented-retained vs screw-retained implant restorations: an investigation on 1939 dental implants. *Minerva Stomatologica* 57, 167–179.

Cochran, D.L., 2000. The scientific basis for and clinical experiences with Straumann implants including the ITI Dental Implant System: a consensus report Note. *Clinical Oral Implants Research*, Chapter 2, 11, 33–58.

Costa, F.O., Lages, E.J.P., Cortelli, S.C., Cortelli, J.R., Mattos-Pereira, G.H., Lima, R.P.E., Cota, L.O.M., 2022. Association between cumulative smoking exposure, span since smoking cessation, and peri-implantitis: a cross-sectional study. *Clinical Oral Investigations* 26, 4835–4846.

Cruz, R.S., Lemos, C.A.A., de Batista, V.E.S., Yogui, F.C., Oliveira, H.F.F., Verri, F.R., 2021. Narrow-diameter implants versus regular-diameter implants for rehabilitation of the anterior region: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral Maxillofacial Surgery* 50, 674–682.

Davies, J.E., 2003. Understanding peri-implant endosseous healing. *Journal of Dental Education* 67, 932–949.

De Boever, A.L., Quirynen, M., Coucke, W., Theuniers, G., De Boever, J.A., 2009. Clinical and radiographic study of implant treatment outcome in periodontally susceptible and non-susceptible patients: a prospective long-term study. *Clinical Oral Implants Research* 20, 1341–1350.

Dehghanpour, A.A., Rouhi, G., 2025. A Critical Review on the Effects of Dental Implants Micro-roughness on Osseointegration. *Biomedical Materials and Devices* 1–25.

Deschner, J., Hagner, M., 2023. Parodontitis und Periimplantitis: Gemeinsamkeiten und Unterschiede. *Der Freie Zahnarzt* 67, 60–69.

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2018. S3-Leitlinie: Antiresorptiva-assoziierte Kiefernekrosen (AR-ONJ) (AWMF 007-091) [Internet]. 12/2018 [zitiert am 29. 06.2025]. URL: <https://www.awmf.org>

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2019. S3-Leitlinie: Dentale Implantate bei Patienten mit Immundefizienz [Internet]. 07/2019 [zitiert am 16.03.2014]. URL: <https://www.awmf.org>

Diehl, D., Winkler, M., Bilhan, H., Friedmann, A., 2022. Implant stability of narrow diameter implants in hyperglycemic patients-A 3-month case-control study. *Clinical and Experimental Dental Research* 8, 969–975

Dorj, O., Lin, C.-K., Salamanca, E., Pan, Y.-H., Wu, Y.-F., Hsu, Y.-S., Lin, J.C.-Y., Lin, H.-K., Chang, W.-J., 2022. Marginal Bone Loss around Implant-Retaining Overdentures versus Implant-Supported Fixed Prostheses 12-Month Follow-Up: A Retrospective Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 1750.

Eickholz, P., Holtfreter, B., Kuhr, K., Dannewitz, B., Jordan, A.R., Kocher, T., 2025. Prevalence of the periodontal status in Germany: results of the 6th German Oral Health Study (DMS• 6). *Quintessence International* 56.

Elagib, M.F.A., Alqaysi, M.A.H., Almushayt, M.O.S., Nagate, R.R., Gokhale, S.T., Chaturvedi, S., 2023. Dental implants in growing patients: A systematic review and meta-analysis. *Technology and Health Care* 31, 1051–1064.

Enteghad, S., Shirban, F., Nikbakht, M.H., Bagherniya, M., Sahebkar, A., 2024. Relationship Between Diabetes Mellitus and Periodontal/Peri-Implant Disease: A Contemporaneous Review. *International Dental Journal* 74, 426–445.

European Federation of Periodontology, 2020. S3-Level Clinical Practice Guideline: Treatment of Stage I–III Periodontitis [Internet]. [zitiert am 26.07.2025].URL: <https://www.efp.org>

Farina, R., Tomasi, C., Trombelli, L., 2013. The bleeding site: a multi-level analysis of associated factors. *Journal of Clinical Periodontology* 40, 735–742.

Fillies, T., Wiesmann, H.P., Sommer, D., Joos, U., Meyer, U., 2005. Primäre Osteoblastenreaktionen auf SLA-und mikrostrukturierten Implantatoberflächen. *Oral and Maxillofacial Surgery* 9, 24.

Fiorillo, L., D’Amico, C., Ronsivalle, V., Cicciù, M., Cervino, G., 2024. Single dental implant restoration: cemented or screw-retained? A systematic review of multi-factor randomized clinical trials. *Prosthesis* 6, 871–886

Friedmann, A., Winkler, M., Diehl, D., Yildiz, M.S., Bilhan, H., 2021. One-year performance of posterior narrow diameter implants in hyperglycemic and normo-glycemic patients-a pilot study. *Clinical Oral Investigations* 25, 6707–6715.

Galli, S., Jimbo, R., Naito, Y., Berner, S., Dard, M., Wennerberg, A., 2017. Chemically modified titanium–zirconium implants in comparison with commercially pure titanium controls stimulate the early molecular pathways of bone healing. *Clinical Oral Implants Research* 28, 1234–1240.

Geisel, C., 2011. Zusammenhänge zwischen Zigarettenrauchen und Mundgesundheit-Ein systematischer Literatur-Review der Jahre 1997-2008 [Dissertation]. Heidelberg: Universität.

Gerritsen, A.E., Witter, D.J., Bronkhorst, E.M., Creugers, N.H.J., 2013. An observational cohort study on shortened dental arches--clinical course during a period of 27-35 years. *Clinical Oral Investigations* 17, 859–866.

Gómez-Polo, M., Ortega, R., Gómez-Polo, C., Martín, C., Celemín, A., Del Río, J., 2016. Does Length, Diameter, or Bone Quality Affect Primary and Secondary Stability in Self-Tapping Dental Implants? *Journal of Oral Maxillofacial Surgery* 74, 1344–1353.

Goodacre, C., Goodacre, B., 2017. Fixed vs removable complete arch implant prostheses: A literature review of prosthodontic outcomes. *European Journal of Oral Implantology*, 1, 13–34.

Graf, T., Schubert, O., Erdelt, K., Kraus, V., Edelhoff, D., Stimmelmayer, M., 2023. Festsitzend versus herausnehmbar. *Implantologie*.

Greenstein, G., Cavallaro, J., 2017. Implant Insertion Torque: Its Role in Achieving Primary Stability of Restorable Dental Implants. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 38, 88–95.

Grischke, J., Karch, A., Wenzlaff, A., Foitzik, M.M., Stiesch, M., Eberhard, J., 2019. Keratinized mucosa width is associated with severity of peri-implant mucositis. A cross-sectional study. *Clinical Oral Implants Research* 30, 457–465.

Gross, C., Nelson, K., Schmelzeisen, R., Fretwurst, T., 2021. Wahl des Implantatmaterials: Relevanz für das periimplantäre Gewebe. *Der Freie Zahnarzt* 65, 82–87.

Gupta, R., Gupta, N., Weber, D.D.S., 2025. Dental Implants, in: *StatPearls*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).

Heimes, D., Becker, P., Pabst, A., Smeets, R., Kraus, A., Hartmann, A., Sagheb, K., Kämmerer, P.W., 2023. How does dental implant macrogeometry affect primary implant stability? A narrative review. *International Journal of Implant Dentistry* 9, 20.

Heitz-Mayfield, L.J.A., 2008. Peri-implant diseases: diagnosis and risk indicators. *Journal of Clinical Periodontology* 35, 292–304.

Hellén-Halme, K., Lith, A., Shi, X.-Q., 2020. Reliability of marginal bone level measurements on digital panoramic and digital intraoral radiographs. *Oral Radiology* 36, 135–140.

Herrmann, J., 2022. Überleben und Patientenzufriedenheit von durchmesserreduzierten Implantaten bestehend aus einer Titan-Zirkonium-Legierung: eine retrospektive Kohortenstudie mit 550 Implantaten in 311 Patienten [Dissertation]. Erlangen-Nürnberg: Friedrich-Alexander-Universität.

Howe, M.-S., Keys, W., Richards, D., 2019. Long-term (10-year) dental implant survival: A systematic review and sensitivity meta-analysis. *Journal of Dentistry* 84, 9–21.

Huraib, W.M., Pullishery, F., Al-Ghalib, T.A., Niyazi, A.A.T., Binhuraib, H., El Homossany, M., Bamigdad, M.S., 2023. Influence of rough micro-threaded and laser micro-textured implant-neck on peri-implant tissues: A systematic review. *The Saudi Dental Journal* 35, 602–613.

Iorio-Siciliano, V., Blasi, A., Sammartino, G., Salvi, G.E., Sculean, A., 2020. Soft tissue stability related to mucosal recession at dental implants: a systematic review. *Quintessence International* 51, 28–36.

Jaffin, R.A., Berman, C.L., 1991. The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone: a 5-year analysis. *Journal of Periodontology* 62, 2–4.

Jepsen, S., Caton, J.G., Albandar, J.M., Bissada, N.F., Bouchard, P., Cortellini, P., Demirel, K., de Sanctis, M., Ercoli, C., Fan, J., Geurs, N.C., Hughes, F.J., Jin, L., Kantarci, A., Lalla, E., Madianos, P.N., Matthews, D., McGuire, M.K., Mills, M.P., Preshaw, P.M., Reynolds, M.A., Sculean, A., Susin, C., West, N.X., Yamazaki, K., 2018. Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45 Supplement 20, S237–S248.

Kearns, G., Sharma, A., Perrott, D., Schmidt, B., Kaban, L., Vargervik, K., 1999. Placement of endosseous implants in children and adolescents with hereditary ectodermal dysplasia. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 88, 5–10.

Khan, M.K., Jindal, D., Selvaganesh, S., Jindal, M.K., 2025. Effective modalities to manage the failure of dental implants in pediatric patients. *National Journal of Maxillofacial Surgery* 16, 14–18.

Kim, H.J., Karasan, D., Park, K., Kwon, H.-B., Han, J.-S., Lee, J.-H., 2023. Abutment margin levels and residual cement occurrence in cement-retained implant restorations: An observational study. *Clinical Oral Implants Research* 34, 33–41.

Klein, M., Grötz, K.A., Kann, P., Al-Nawas, B., 2005. Noninvasiver Vergleich der Knochenqualität des Ober- und Unterkiefers mittels Ultraschalltransmissionsgeschwindigkeit (UTG). *Ultraschall in der Medizin-European. Journal of Ultrasound* 26, P073.

Körmöczy, K., Komlós, G., Papócsi, P., Horváth, F., Joób-Fancsaly, Á., 2021. The early loading of different surface-modified implants: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health* 21, 207.

Kruse, B.A., 2008. Digitale Volumetomographie in der Diagnostik von periimplantären Knochendefekten In-vitro Studie an Schweinekiefern [Dissertation]. Marburg: Philipps-Universität.

Kupka, J.R., König, J., Al-Nawas, B., Sagheb, K., Schiegnitz, E., 2024. How far can we go? A 20-year meta-analysis of dental implant survival rates. *Clinical Oral Investigations* 28, 541.

Lamperti, S.T., Wolleb, K., Hämmerle, C.H.F., Jung, R.E., Hüsler, J., Thoma, D.S., 2022. Cemented versus screw-retained zirconia-based single-implant restorations: 5-year results of a randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research* 33, 353–361.

Laugisch, O., Salvi, G.E., Sculean, A., 2011. Zahnimplantate im parodontal vorgeschädigten Gebiss. *Wissen Kompakt* 5, 3–10.

Lemos, C.A.A., Faé, D.S., Oliveira, H.F.F.E., Del Rei Daltro Rosa, C.D., Bento, V.A.A., Verri, F.R., Pellizzer, E.P., 2023. Do dental implants placed in patients with osteoporosis have higher risks of failure and marginal bone loss compared to those in healthy patients? A systematic review with meta-analysis. *Clinical Oral Investigations* 27, 2483–2493.

Lemos, C.A.A., Verri, F.R., de Oliveira Neto, O.B., Cruz, R.S., Luna Gomes, J.M., da Silva Casado, B.G., Pellizzer, E.P., 2021. Clinical effect of the high insertion torque on dental implants: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 126, 490–496.

Li, J.T.W., Leung, Y.Y., 2024. Effect of Antiresorptive Drugs on Osseointegrated Dental Implants: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine* 13, 2091.

Li, Y., Brånemark, R., 2017. Osseointegrated prostheses for rehabilitation following amputation: the pioneering Swedish model. *Der Unfallchirurg* 120, 285.

Linkevicius, T., Apse, P., Grybauskas, S., Puisys, A., 2009. The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 24, 712–719.

Linkow, L., Winkler, S., Shulman, M., Carlo, L., Pasqualini, M., Rossi, F., Nardone, M., 2016. A New Look at the Blade Implant. *Journal of Oral Implantology* XLII, 373–380.

Margossian, Pa., Vuillemin, Ma., Sette, A., Dumazet, É.G., Pasquier, S., Philip, G., 2020. Implantatpositionierung im Frontzahnbereich: Ein Paradigmenwechsel. *Quintessenz der Zahntechnik* 46.

Mengel, R., Heim, T., Thöne-Mühling, M., 2017. Mucositis, peri-implantitis, and survival and success rates of oxide-coated implants in patients treated for periodontitis 3- to 6-year results of a case-series study. *International Journal of Implant Dentistry* 3, 48.

Mojaver, S., Patel, N., Sarmiento, H., Fiorellini, J.P., 2025. Under pressure: Unraveling the impact of occlusal overload on peri-implant health-A systematic review. *Journal of Prosthodontics* 34, 784–795.

Molina, A., Sanz-Sánchez, I., Sanz-Martín, I., Ortiz-Vigón, A., Sanz, M., 2022. Complications in sinus lifting procedures: Classification and management. *Periodontology* 2000, 88, 103–115.

Monje, A., González-Martín, O., Ávila-Ortiz, G., 2023. Impact of peri-implant soft tissue characteristics on health and esthetics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 35, 183–196.

Montevecchi, M., Valeriani, L., Salvadori, M.F., Stefanini, M., Zucchelli, G., 2025. Excess cement and peri-implant disease: A cross-sectional clinical endoscopic study. *Journal of Periodontology* 96, 965–973.

Moraschini, V., Poubel, L.A. da C., Ferreira, V.F., Barboza, E. dos S.P., 2015. Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 44, 377–388.

Nettemu, S.K., Nettem, S., Singh, V.P., William, S.S., Gunasekaran, S.S., Krisnan, M., Abas, A.L., 2021. Multilevel analysis of site, implant, and patient-level factors with peri-implant bleeding on probing: a cross sectional study. *International Journal of Implant Dentistry* 7, 77.

Nyland, A.N., Lie, S.A., Gjerde, C.G., 2024. Risk Factors for Early Dental Implant Failure. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants* 39, 164–172.

Oshida, Y., Tuna, E.B., Aktören, O., Gençay, K., 2010. Dental implant systems. *International Journal of Molecular Sciences* 11, 1580–1678.

Otto, S., Schnoedt, E.M., Troeltzsch, M., Kaeppler, G., Aljohani, S., Liebermann, A., Fliefel, R., 2023. Clinical and Radiographic Outcomes of Dental Implants in Patients Treated With Antiresorptive Drugs: A Consecutive Case Series. *Journal of Oral Implantology* 49, 39–45.

Pai, U.Y., Rodrigues, S.J., Talreja, K.S., Mundathaje, M., 2018. Osseodensification - A novel approach in implant dentistry. *The Journal of Indian Prosthodontic Society* 18, 196–200.

Pelekos, G., Chin, B., Wu, X., Fok, M.R., Shi, J., Tonetti, M.S., 2023. Association of crown emergence angle and profile with dental plaque and inflammation at dental implants. *Clinical Oral Implants Research* 34, 1047–1057.

Pesce, P., Del Fabbro, M., Modenese, L., Sandron, S., Francetti, L., Isola, G., Canullo, L., Menini, M., 2023. Influence of implant diameter on implant survival rate and clinical outcomes in the posterior area: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* 23, 235.

Puleo, D.A., Nanci, A., 1999. Understanding and controlling the bone–implant interface. *Biomaterials* 20, 2311–2321.

Rekawek, P., Carr, B.R., Boggess, W.J., Coburn, J.F., Chuang, S.-K., Panchal, N., Ford, B.P., 2021. Hygiene Recall in Diabetic and Nondiabetic Patients: A Periodic Prognostic Factor in the Protection Against Peri-Implantitis? *Journal of Oral Maxillofacial Surgery* 79, 1038–1043.

Renvert, S., Persson, G.R., Piri, F.Q., Camargo, P.M., 2018. Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: Case definitions and diagnostic considerations. *Journal of Periodontology* 89, S304–S312.

Roccuzzo, A., Imber, J.-C., Stähli, A., Romandini, M., Sculean, A., Salvi, G.E., Roccuzzo, M., 2025. Role of Keratinized Mucosa on the Risk of Peri-Implant Diseases and Soft Tissue Dehiscence in the Posterior Mandible - A 20-Year Prospective Cohort Study. *Journal of Periodontal Research*.

Romandini, M., Lima, C., Pedrinaci, I., Araoz, A., Soldini, M.C., Sanz, M., 2021. Prevalence and risk/protective indicators of peri-implant diseases: A university-representative cross-sectional study. *Clinical Oral Implants Research* 32, 112–122.

Roßmann, C., 2015. Langzeitergebnisse enossaler dentaler Implantate am Beispiel des ITI-Implantatsystems. [Dissertation]. Kiel: Christian-Albrechts Universität.

Rothamel, D., Heinz, M., Ferrari, D., Eissing, A., Holtmann, H., Schorn, L., Fienitz, T., 2022. Impact of machined versus structured implant shoulder designs on crestal bone level changes: a randomized, controlled, multicenter study. *International Journal of Implant Dentistry* 8, 31

Rupp, F., Liang, L., Geis-Gerstorfer, J., Scheideler, L., Hüttig, F., 2018. Surface characteristics of dental implants: A review. *Dental Materials* 34, 40–57.

Rupp, F., Scheideler, L., Olshanska, N., de Wild, M., Wieland, M., Geis-Gerstorfer, J., 2006. Enhancing surface free energy and hydrophilicity through chemical modification of microstructured titanium implant surfaces. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials* 76, 323–334.

Sáenz-Ravello, G., Ossandón-Zúñiga, B., Muñoz-Meza, V., Mora-Ferraro, D., Baeza, M., Fan, S., Sagheb, K., Schiegnitz, E., Díaz, L., 2023. Short implants compared to regular dental implants after bone augmentation in the atrophic posterior mandible: umbrella review and meta-analysis of success outcomes. *International Journal of Implant Dentistry* 9, 18.

Şahin, T., 2023. Evaluation of implants in smoking and non-smoking patients with peri-implant disease risk analysis and esthetic scores: an observational study. *BMC Oral Health* 23, 925.

Sahrman, P., 2015. Diagnose und Prophylaxe periimplantärer Erkrankungen. *Zahnheilkunde, Management, Kultur* 298–311.

Salomó-Coll, O., Auriol-Muerza, B., Lozano-Carrascal, N., Hernández-Alfaro, F., Wang, H.-L., Gargallo-Albiol, J., 2021. Influence of bone density, drill diameter, drilling speed, and irrigation on temperature changes during implant osteotomies: an in vitro study. *Clinical Oral Investigations* 25, 1047–1053.

Sanz, M., Herrera, D., Kebschull, M., Chapple, I., Jepsen, S., Beglundh, T., Sculean, A., Tonetti, M.S., 2020. Treatment of stage I-III periodontitis-The EFP S3 level clinical practice guideline. *Journal of Clinical Periodontology* 47, 4–60.

Sanz, M., Schwarz, F., Herrera, D., McClain, P., Figuero, E., Molina, A., Monje, A., Montero, E., Pascual, A., Ramanauskaite, A., Renouard, F., Sader, R., Schiegnitz, E., Urban, I., Heitz-Mayfield, L., 2022. Importance of keratinized mucosa around dental implants: Consensus report of group 1 of the DGI/SEPA/Osteology Workshop. *Clinical Oral Implants Research* 33, 47–55.

Scacchi, M., Merz, B.R., Schär, A.R., 2000. The development of the ITI DENTAL IMPLANT SYSTEM. Part 2: 1998-2000: Steps into the next millennium. *Clinical Oral Implants Research* 11, 22–32.

Schiegnitz, E., Reinicke, K., Sagheb, K., König, J., Al-Nawas, B., Grötz, K.A., 2022. Dental implants in patients with head and neck cancer-A systematic review and meta-analysis of the influence of radiotherapy on implant survival. *Clinical Oral Implants Research* 33, 967–999.

Schimmel, M., Müller, F., Suter, V., Buser, D., 2017. Implants for elderly patients. *Periodontology 2000* 73, 228–240.

Schimmel, M., Srinivasan, M., McKenna, G., Müller, F., 2018. Effect of advanced age and/or systemic medical conditions on dental implant survival: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research* 29, 311–330.

Schoenbaum, T.R., Moy, P.K., Aghaloo, T., Elashoff, D., 2021. Risk Factors for Dental Implant Failure in Private Practice: A Multicenter Survival Analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 36, 388–394.

Schulze, R., Schalldach, F., d'Hoedt, B., 2000. Auswirkung von Positionierungsfehlern auf Vergrößerungsfaktoren im Unterkiefer bei der digitalen Panoramaschichtaufnahme. *Mund-, Kiefer-und Gesichtschirurgie* 4, 164–170.

Schwarz, F., Herten, M., Wieland, M., Dard, M., Becker, J., 2007. Chemically modified, ultra-hydrophilic titanium implant surfaces. *Mund-, Kiefer-und Gesichtschirurgie* 11, 11–17.

Shibli, J.A., Naddeo, V., Cotrim, K.C., Kalil, E.C., de Avila, E.D., Faot, F., Faverani, L.P., Souza, J.G.S., Fernandes, J.C.H., Fernandes, G.V.O., 2025. Osteoporosis' effects on dental implants osseointegration and survival rate: a systematic review of clinical studies. *Quintessence International* 56, 206–216.

Solderer, A., Giuliani, C., Wiedemeier, D.B., Jung, R.E., Schmidlin, P.R., 2025. Early marginal peri-implant bone loss around tissue-level implants: a retrospective radiographic evaluation. *International Journal of Implant Dentistry* 11, 20.

Staedt, H., Palarie, V., Staedt, A., Wolf, J.M., Lehmann, K.M., Ottl, P., Kämmerer, P.W., 2017. Primary Stability of Cylindrical and Conical Dental Implants in Relation to Insertion Torque-A Comparative Ex Vivo Evaluation. *Implant Dentistry* 26, 250–255.

Staedt, H., Rossa, M., Lehmann, K.M., Al-Nawas, B., Kämmerer, P.W., Heimes, D., 2020. Potential risk factors for early and late dental implant failure: a retrospective clinical study on 9080 implants. *International Journal of Implant Dentistry* 6, 81.

Starch-Jensen, T., Aludden, H., Hallman, M., Dahlin, C., Christensen, A.-E., Mordenfeld, A., 2018. A systematic review and meta-analysis of long-term studies (five or more years) assessing maxillary sinus floor augmentation. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 47, 103–116.

Starker, A., Kuhnert, R., Hoebel, J., Richter, A., 2022. Rauchverhalten und Passivrauchbelastung Erwachsener-Ergebnisse aus GEDA 2019/2020-EHIS. *Journal of Health Monitoring* 7, 7–22.

Stein, J.M., Kämmerer, P.W., 2020. Periimplantäre Entzündungen – die Herausforderung unserer Zeit? *Wissen Kompakt* 14, 1–2.

Stiesch, M., Grischke, J., Schaefer, P., Heitz-Mayfield, L.J.A., 2023. Supportive care for the prevention of disease recurrence/progression following peri-implantitis treatment: A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology* 50, 113–134.

Stillner, H.L., Ionfrida, J., Kämmerer, P.W., Walter, C., 2024. The effects of smoking on dental implant failure: A current literature update. *Dentistry Journal* 12, 311.

Straumann Group, 2025. Our history [Internet]. 2025 [zitiert am 18.11.2025]. URL: <http://www.straumann.com/group/en/home/about/our-history.html>

Straumann Group, 2024. Basisinformation, S.4 und S.5 [Internet]. 07/2025 [zitiert am 26.11.2025]. URL: https://www.straumann.com/de/de/dentaler_fachbereich/dentalimplantate.html

Straumann Group, 2024. Basisinformation, S.39 [Internet]. 07/2025 [zitiert am:15.08.2025]. URL: http://www.straumann.com/content/dam/media_center/straumann/de_ch/documents/brochure/technical_information/ch_151.754_de_straumann_dental_implant_system.pdf

Straumann Group, 2017. Bone Level – Prothetische Verfahren. Technische Informationen, S. 147 und S. 148 [Internet]. 11/2017 [zitiert am 25.10.2025]. URL: https://www.straumann.com/content/dam/media_center/straumann/de_ch/documents/brochure/technical_information/ch_151.810_de_straumann_bl_prothetische_verfahren.pdf

Sulaiman, N., Fadhul, F., Chrcanovic, B.R., 2023. Bisphosphonates and Dental Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis. Materials (Basel) 16.

Sulzer, T., Bornstein, M., Buser, D., 2004. Indications for oral implantology in a referral clinic. A three-year retrospective analysis of 737 patients with 1176 implants. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO 114, 444–50.

Swierkot, K., Lottholz, P., Flores-de-Jacoby, L., Mengel, R., 2012. Mucositis, peri-implantitis, implant success, and survival of implants in patients with treated generalized aggressive periodontitis: 3- to 16-year results of a prospective long-term cohort study. Journal of Periodontology 83, 1213–1225.

Tabassum, A., Meijer, G.J., Wolke, J.G.C., Jansen, J.A., 2009. Influence of the surgical technique and surface roughness on the primary stability of an implant in artificial bone with a density equivalent to maxillary bone: a laboratory study. Clinical Oral Implants Research 20, 327–332.

Tapety, F.I., Amizuka, N., Uoshima, K., Nomura, S., Maeda, T., 2004. A histological evaluation of the involvement of Bio-Oss® in osteoblastic differentiation and matrix synthesis. Clinical Oral Implants Research 15, 315–324.

Terheyden, H., 2021. Augmentationschirurgie: Biologische Grundlagen, Operationstechniken, Klinische Herausforderungen. Berlin: Quintessenz Verlag.

Tobias, G., Chackartchi, T., Haim, D., Mann, J., Findler, M., 2025. Dental Implant Survival Rates: Comprehensive Insights from a Large-Scale Electronic Dental Registry. *Journal of Functional Biomaterials* 16, 60.

Trombelli, L., Simonelli, A., Franceschetti, G., Maietti, E., Farina, R., 2020. What periodontal recall interval is supported by evidence? *Periodontology* 2000, 84, 124–133.

van Velzen, F.J.J., Ofec, R., Schulten, E.A.J.M., Ten Bruggenkate, C.M., 2015. 10-year survival rate and the incidence of peri-implant disease of 374 titanium dental implants with a SLA surface: a prospective cohort study in 177 fully and partially edentulous patients. *Clinical Oral Implants Research* 26, 1121–1128.

Wagner, J., Spille, J.H., Wiltfang, J., Naujokat, H., 2022. Systematic review on diabetes mellitus and dental implants: an update. *International Journal of Implant Dentistry* 8, 1.

Wennerberg, A., Galli, S., Albrektsson, T., 2011. Current knowledge about the hydrophilic and nanostructured SLActive surface. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 3, 59–67.

Werner, P., 2016. Genauigkeit von Messungen an Implantaten und anatomischen Strukturen in der zahnärztlichen Radiologie [Dissertation]. Ulm: Universität.

Wilson, T.G.J., 2009. The positive relationship between excess cement and peri-implant disease: a prospective clinical endoscopic study. *Journal of Periodontology* 80, 1388–1392.

Wolfart, S., Rittich, A., Groß, K., Hartkamp, O., von der Stück, A., Raith, S., Reich, S., 2021. Cemented versus screw-retained posterior implant-supported single crowns: A 24-month randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research* 32, 1484–1495.

Yi, Y., Heo, S.-J., Koak, J.-Y., Kim, S.-K., Koo, K.-T., 2023. Splinting or Nonsplinting Adjacent Implants? A Retrospective Study Up to 15 Years: Part II-Success and Survival Rate Analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* 38, 443–450b.

Zhang, Zheng, Zhang, Zhenyu, Wang, P., Zheng, Y., Wang, Zhitao, Wang, Zuomin, 2025. The relationship between adequate keratinized mucosa and peri-implant disease: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health 25, 345.

Eidesstattliche Versicherung

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich, Carolin Misseri erstelle hiermit folgende schriftliche Erklärung:

Ich habe die Dissertationsschrift mit dem Titel „Drei Jahrzehnte Implantate eines Herstellers in einer Praxis – retrospektive Analyse zu Überleben, Knochenabbau und periimplantären Parametern“ eigenständig verfasst. Alle von mir genutzten Veröffentlichungen, ungedruckten Materialien, sonstigen Hilfsmittel und jegliche Form von Unterstützung sind ordnungsgemäß angegeben. Passagen, die wörtlich oder inhaltlich aus gedruckten oder ungedruckten Werken übernommen wurden, sind eindeutig gekennzeichnet und mit den erforderlichen bibliographischen Angaben versehen.

Es erfolgte keine kommerzielle Vermittlung der Möglichkeit zur Durchführung des Promotionsvorhabens. Insbesondere habe ich keine Person oder Organisation beauftragt, die gegen Entgelt Betreuer für die Erstellung von Dissertationen sucht.

Mir ist die "Satzung der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" in ihrer jeweils geltenden Fassung bekannt, und ich habe ihre Grundsätze in meiner wissenschaftlichen Arbeit beachtet.

Sofern zutreffend, bestätige ich, dass ich die Vorgaben der Ethik-Kommission gemäß Tierschutzgesetz und gemäß Gentechnikgesetz in ihrer jeweils geltenden Fassung zur Kenntnis genommen habe und deren Grundsätze in meiner wissenschaftlichen Arbeit eingehalten wurden.

Meine Dissertationsschrift mit dem Titel „Drei Jahrzehnte Implantate eines Herstellers in einer Praxis – retrospektive Analyse zu Überleben, Knochenabbau und periimplantären Parametern“ wurde bisher keiner anderen Fachrichtung oder Fakultät vorgelegt.

Ich besitze bisher keinen anderen Doktorgrad.

Ein bisher erworbener Doktorgrad wurde mir nicht aberkannt.

Ich habe bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet.

Ich versichere, dass die oben genannten Punkte wahrheitsgemäß und vollständig sind.

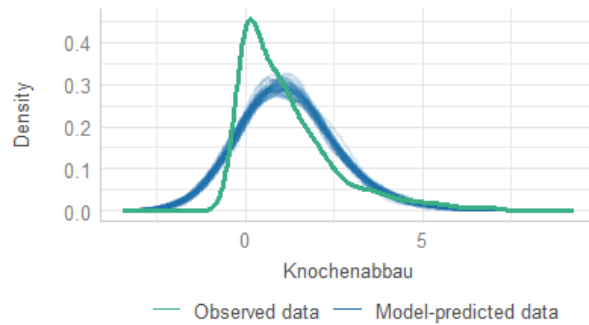
8. Anhang

Anhang 1: H1

Prüfung Voraussetzungen LMM, Knochenabbau TL- vs. BL-Implantate

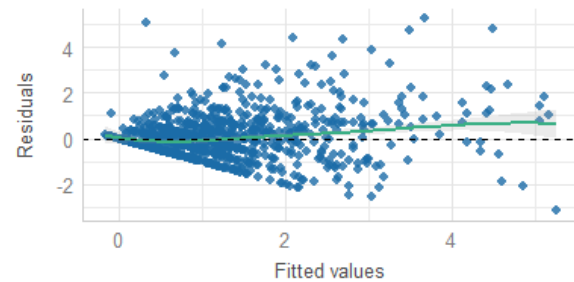
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



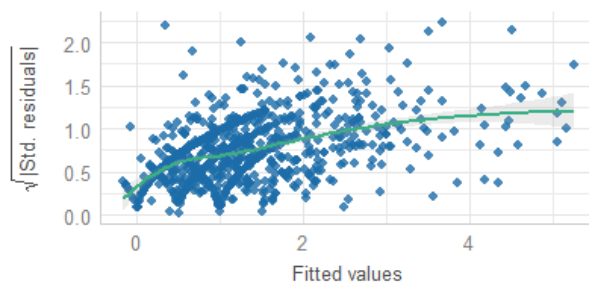
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



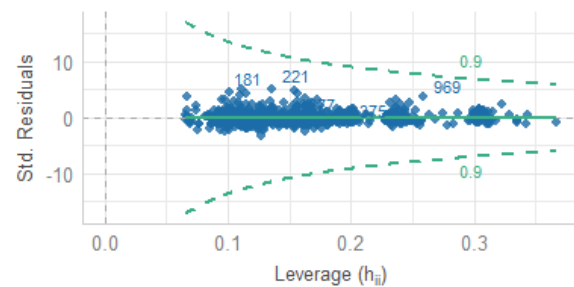
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



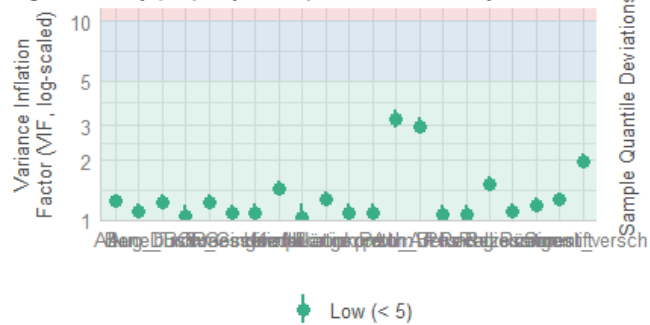
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



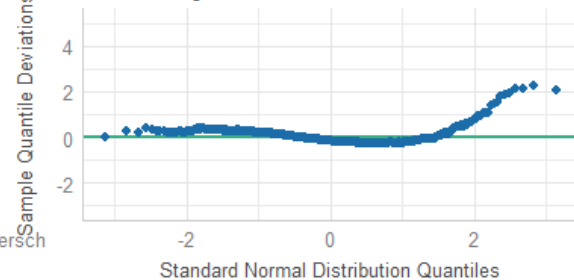
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



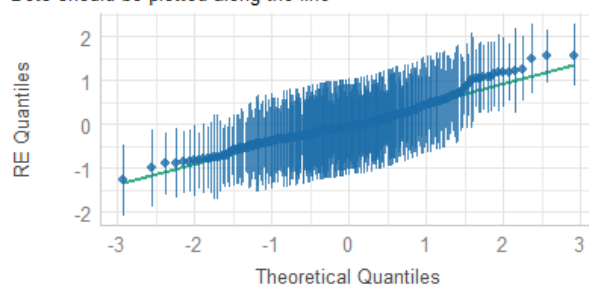
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

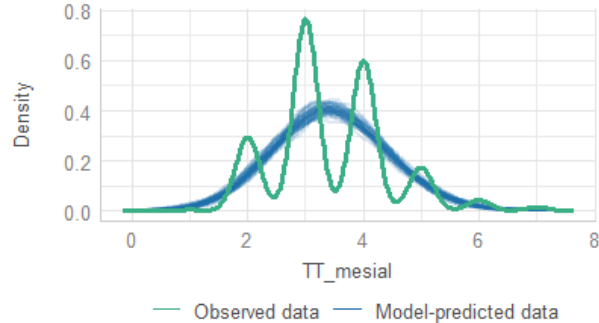


Anhang 2: H2

Prüfung Voraussetzungen LMM Taschentiefe mesial Tissue-Level-Implantate

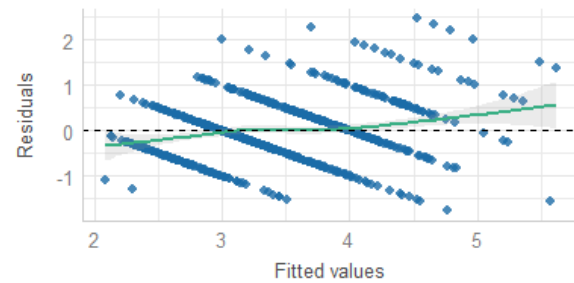
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



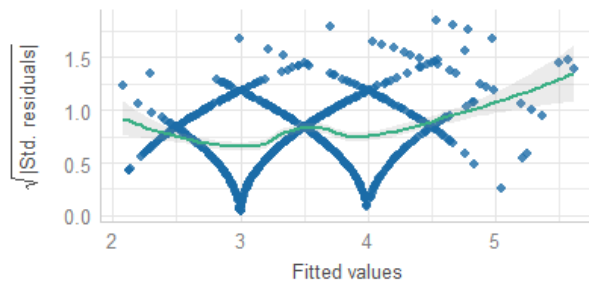
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



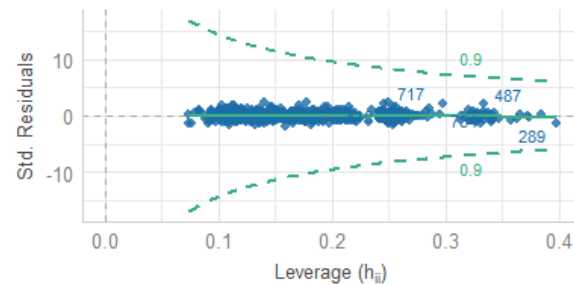
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



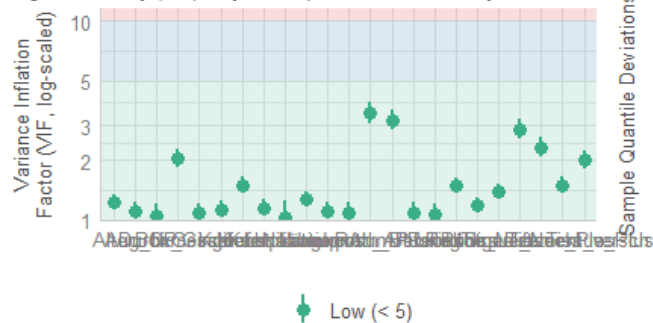
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



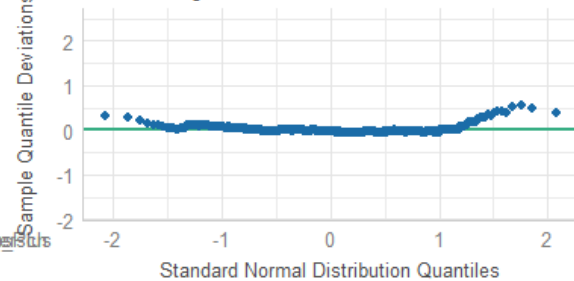
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



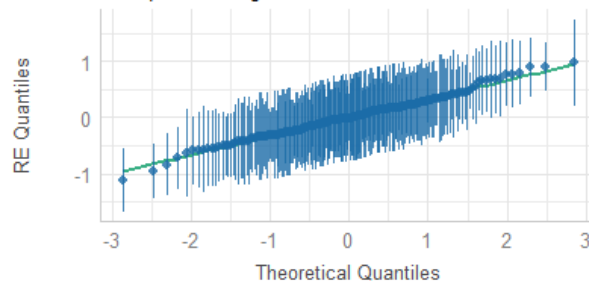
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

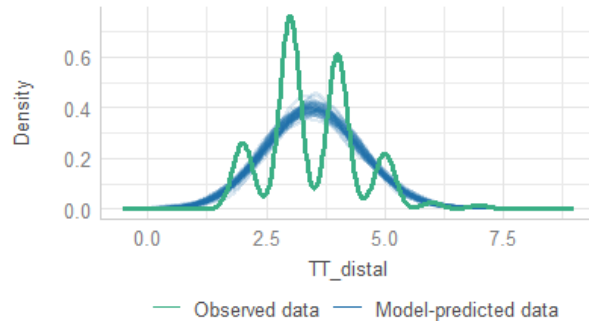


Anhang 3: H2

Prüfung Voraussetzungen LMM Taschentiefe distal Tissue-Level-Implantate

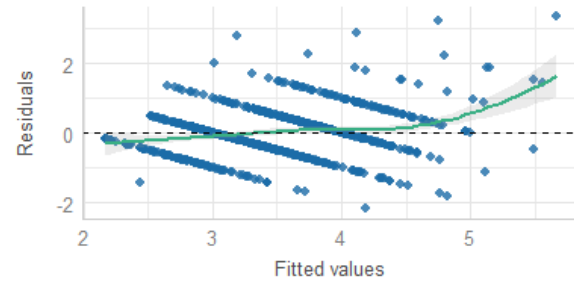
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



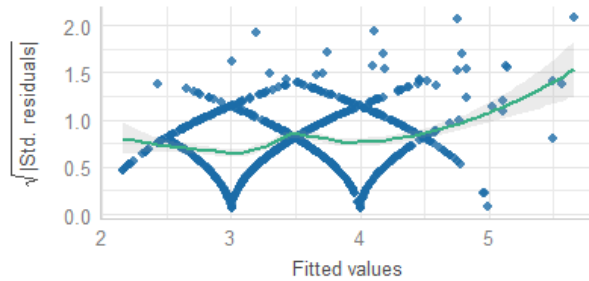
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



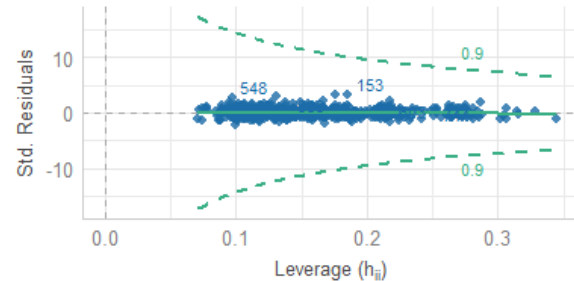
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



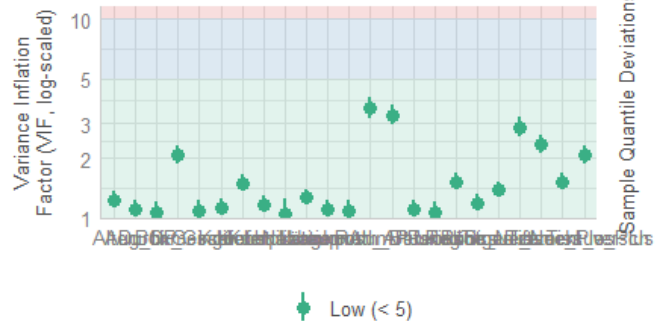
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



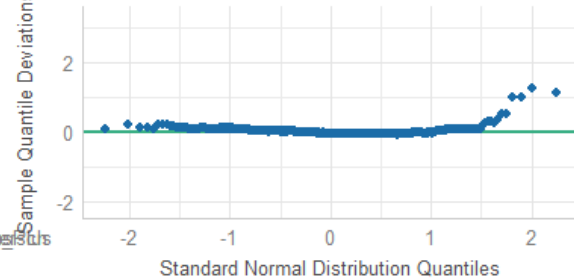
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



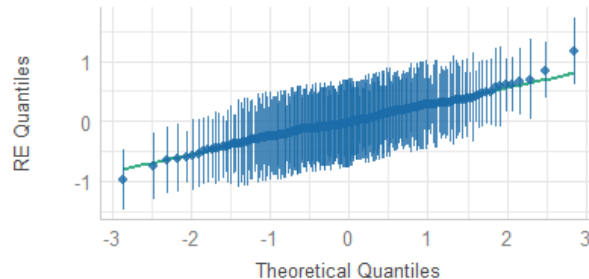
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

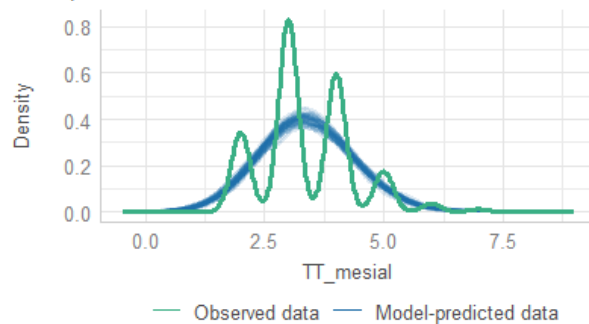


Anhang 4: H3

Prüfung Voraussetzungen LMM Taschentiefe mesial TL-vs. BL-Implantate

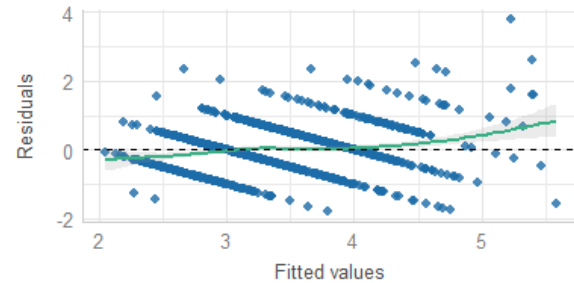
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



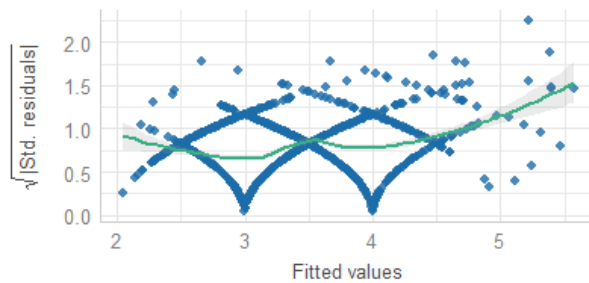
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



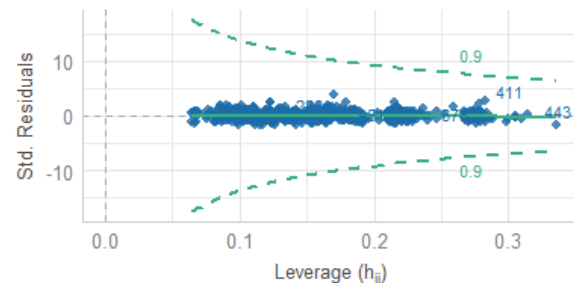
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



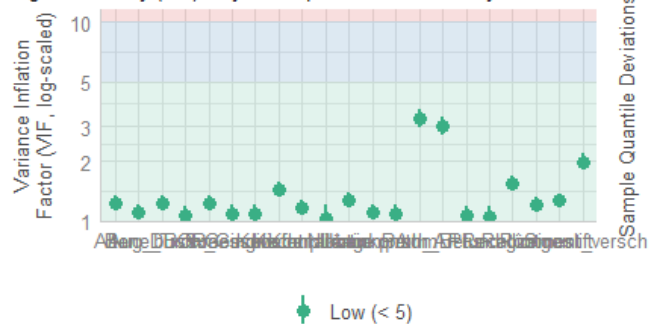
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



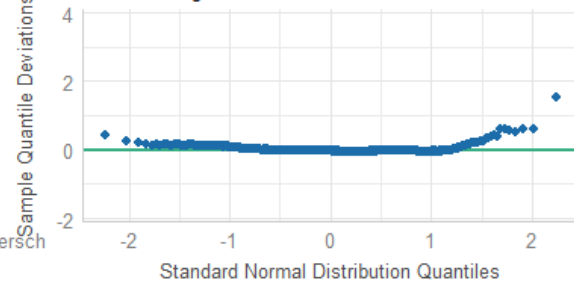
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



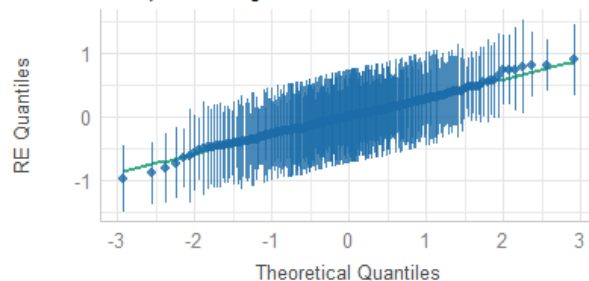
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

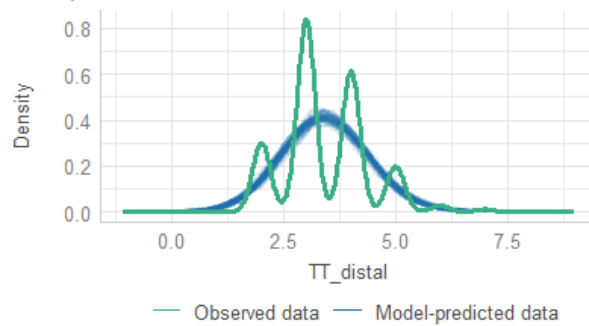


Anhang 5: H3

Prüfung Voraussetzungen LMM Taschentiefe distal TL- vs. BL-Implantate

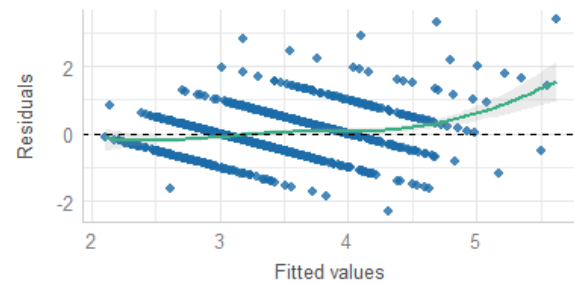
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



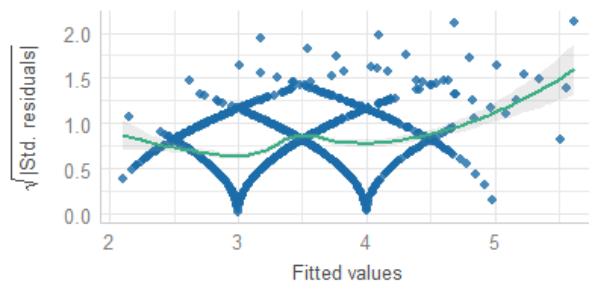
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



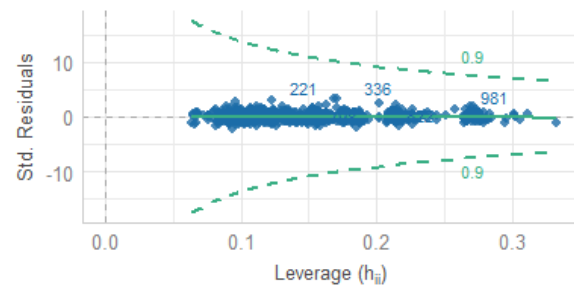
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



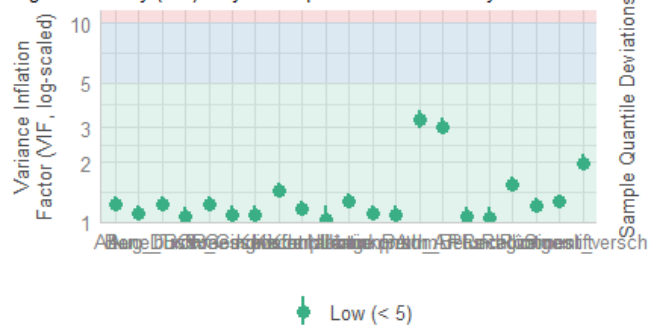
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



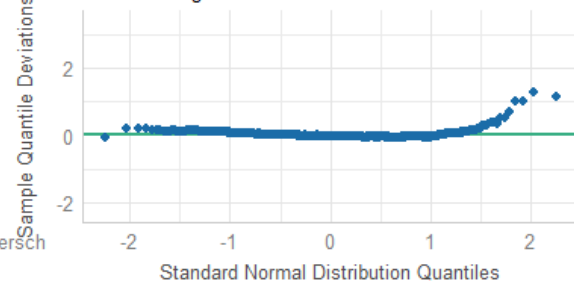
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



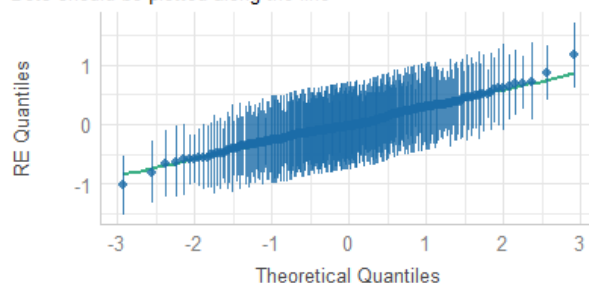
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



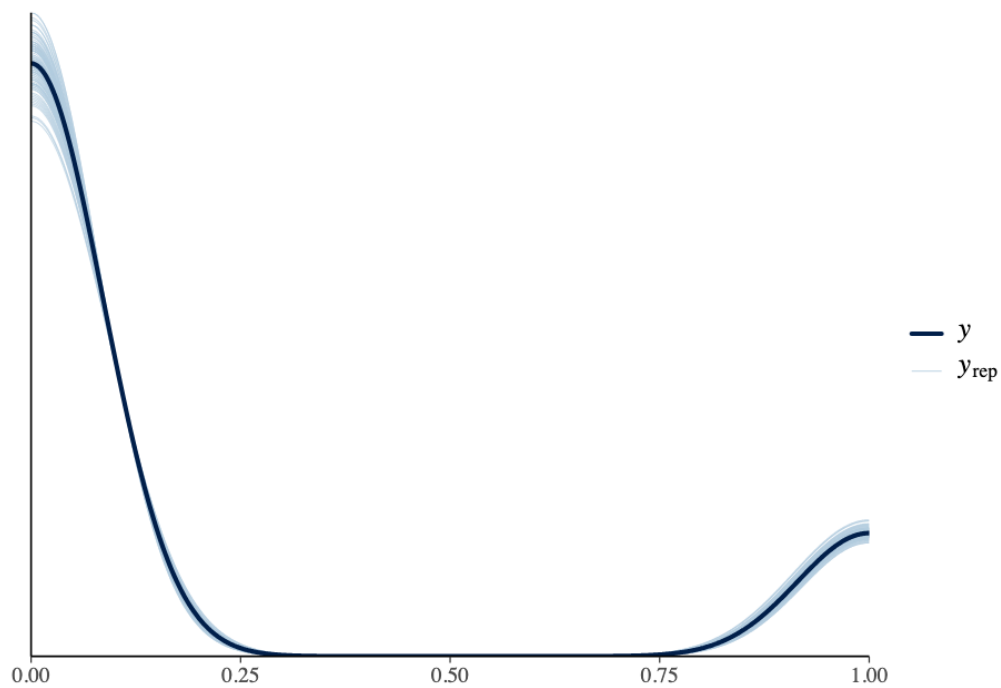
Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line



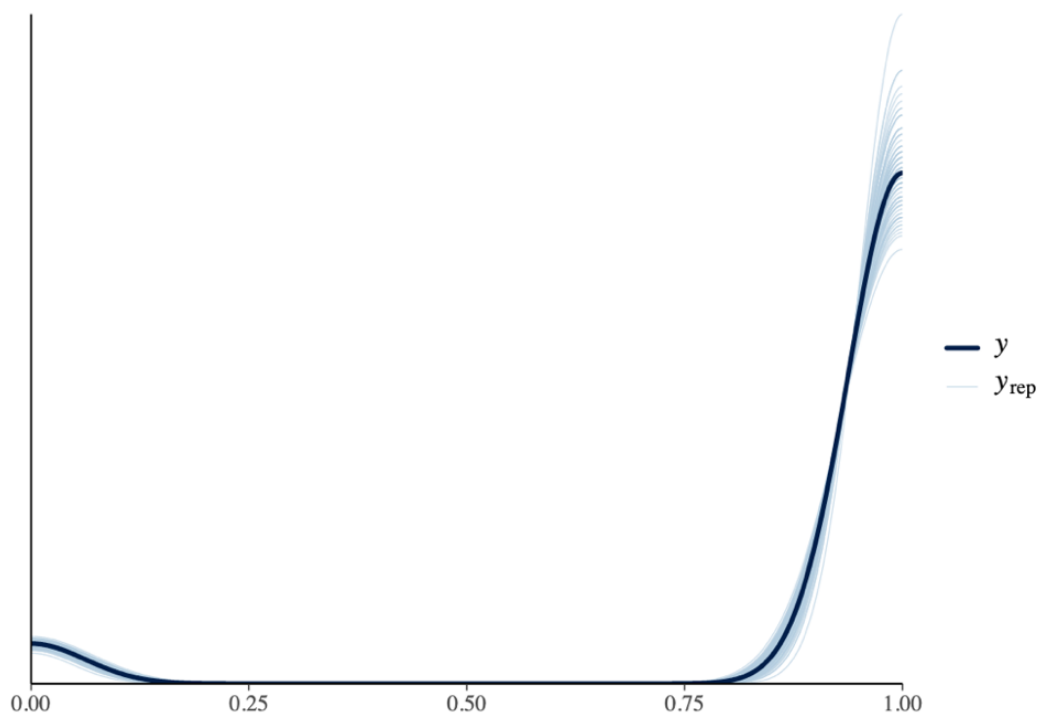
Anhang 6: H4

Prüfung Voraussetzungen Bayes-Modell Rezessionen TL- vs. BL-Implantate



Anhang 7: H5

Prüfung Voraussetzungen Bayes-Modell fixierte Gingiva bei TL-Implantaten Standard/Standard Plus

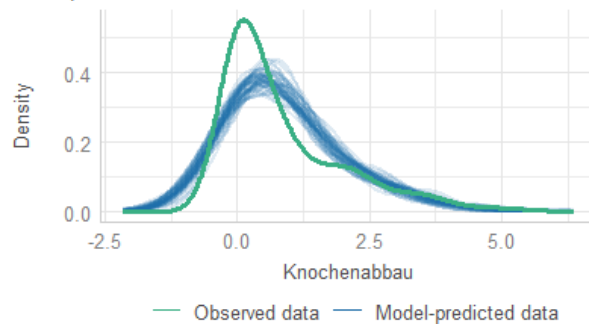


Anhang 8: H6

Prüfung Voraussetzungen LMM, Knochenabbau BL – Kieferunterschied

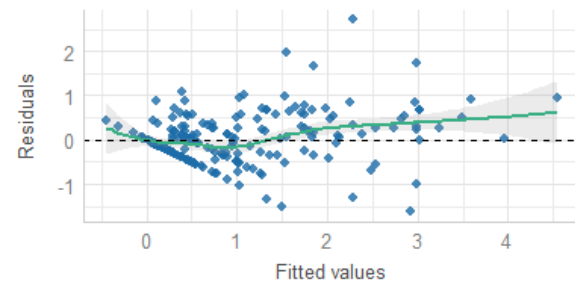
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



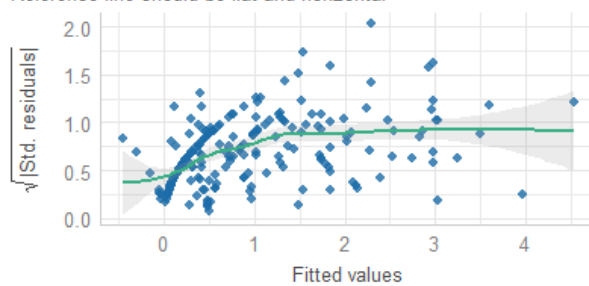
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



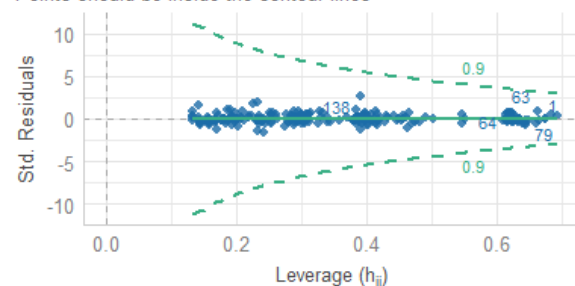
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



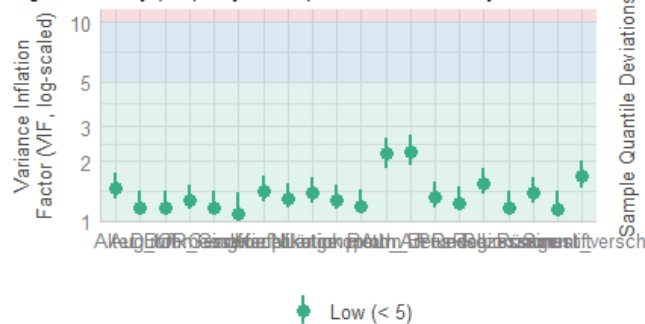
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



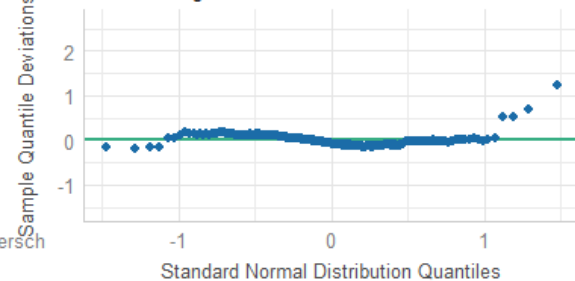
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



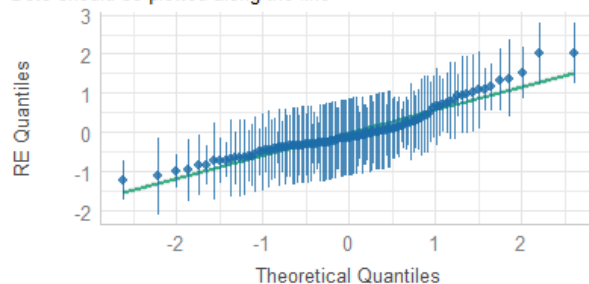
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

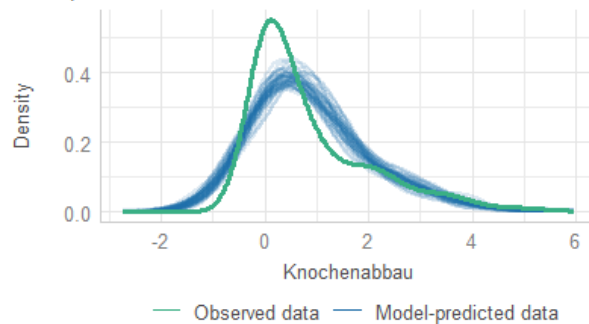


Anhang 9: H7

Prüfung Voraussetzung LMM, Knochenabbau BL RC vs. NC

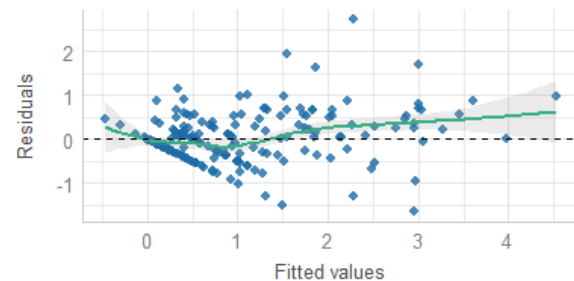
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



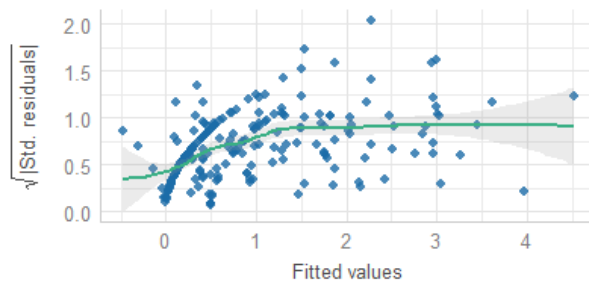
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



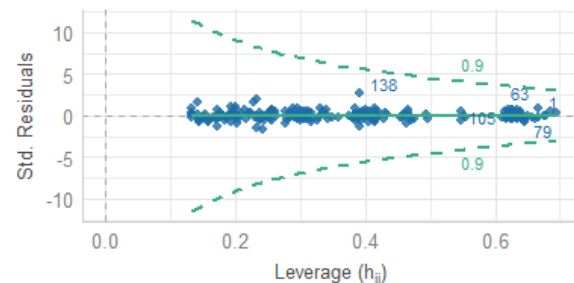
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



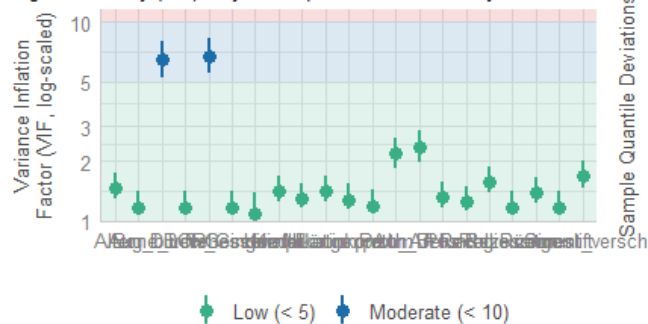
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



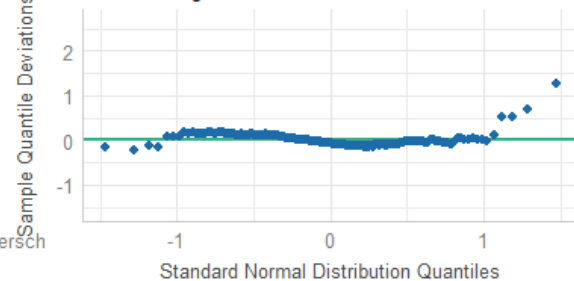
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



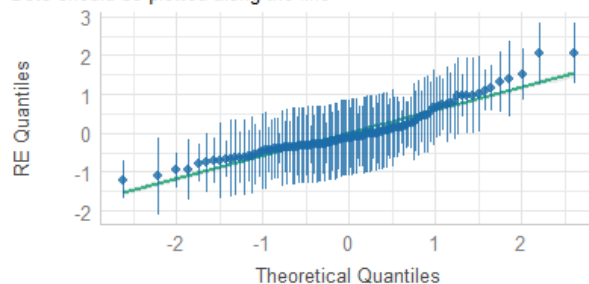
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line

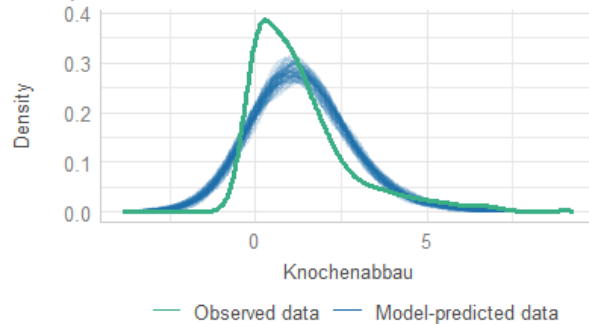


Anhang 10: H8

Prüfung Voraussetzung LMM, Knochenabbau bei TL

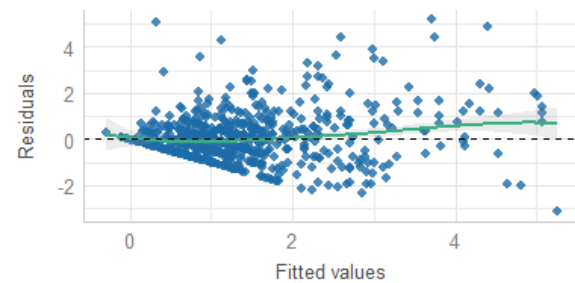
Posterior Predictive Check

Model-predicted lines should resemble observed data line



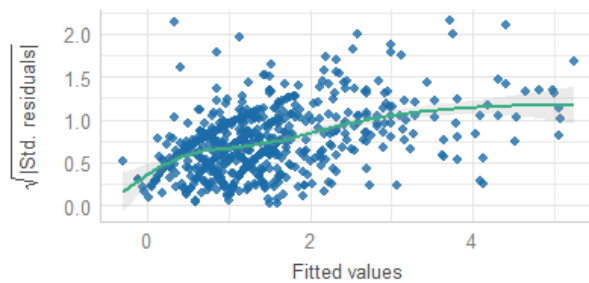
Linearity

Reference line should be flat and horizontal



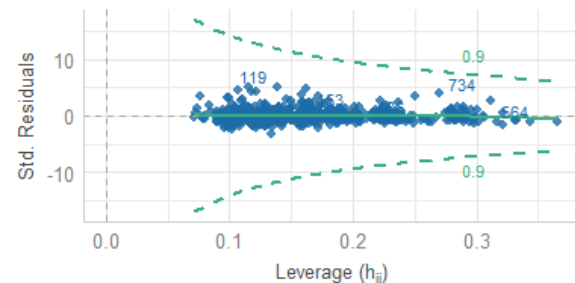
Homogeneity of Variance

Reference line should be flat and horizontal



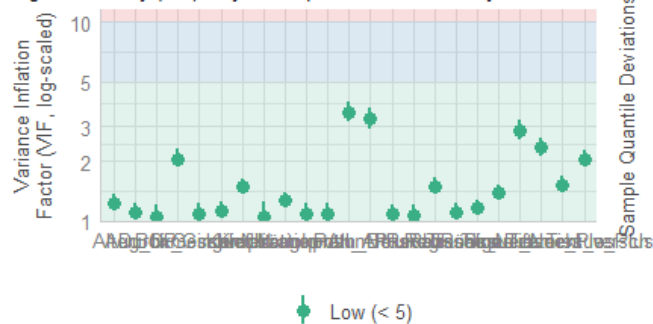
Influential Observations

Points should be inside the contour lines



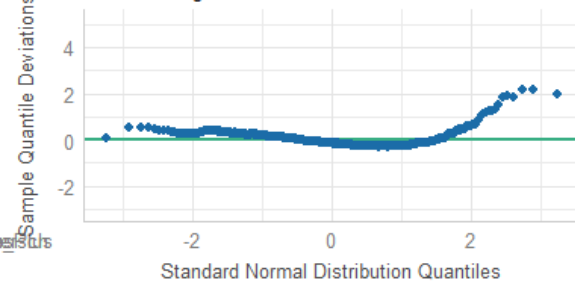
Collinearity

High collinearity (VIF) may inflate parameter uncertainty



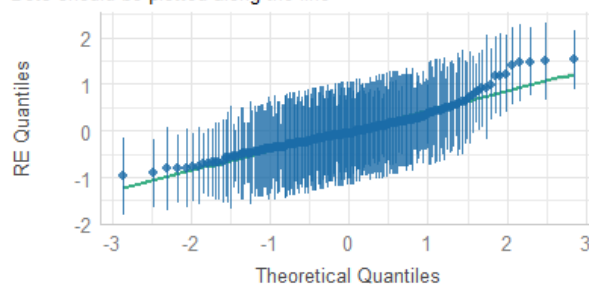
Normality of Residuals

Dots should fall along the line



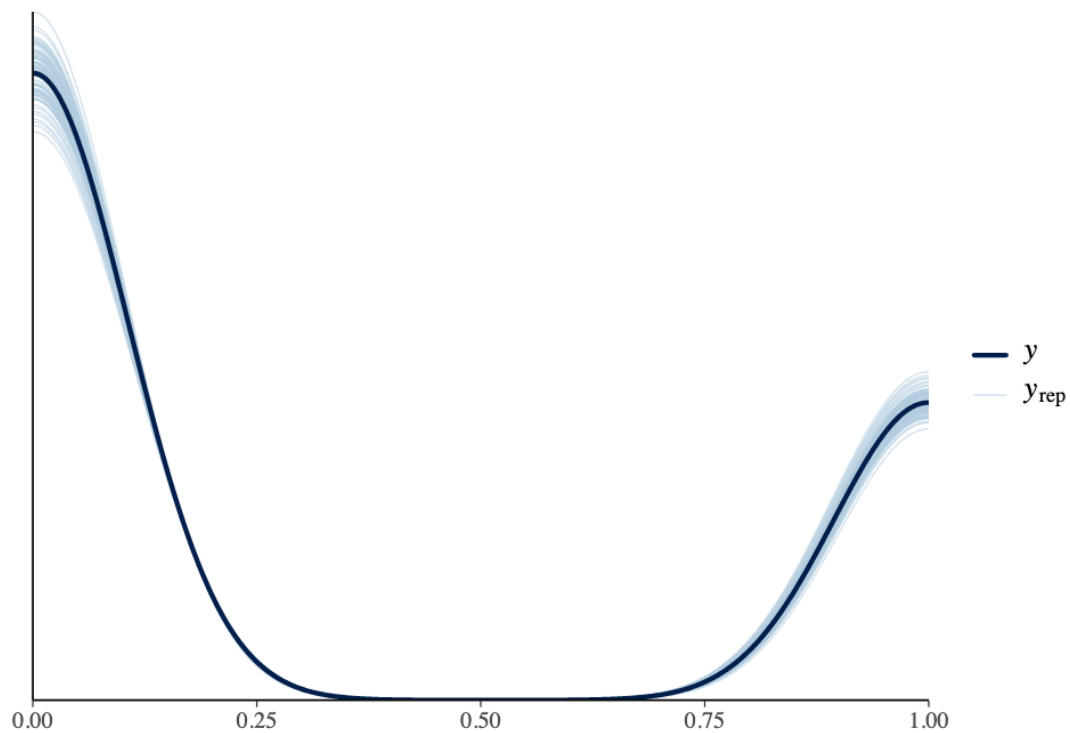
Normality of Random Effects (id)

Dots should be plotted along the line



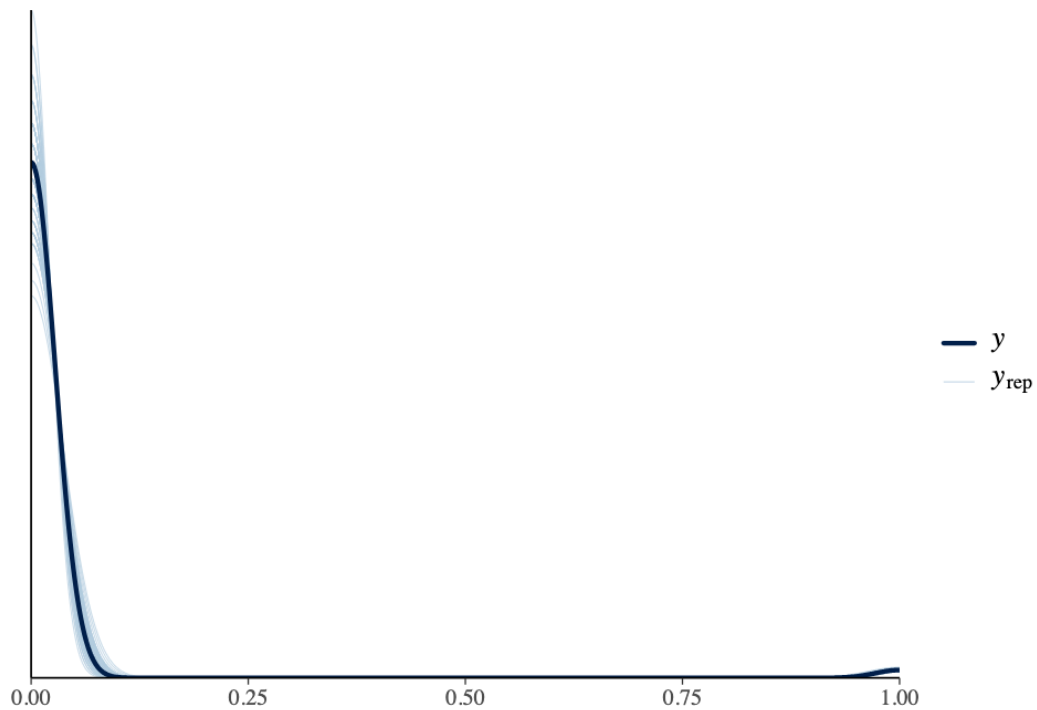
Anhang 11: H9

Prüfung Voraussetzung Bayes-Modell, BOP BL- vs. TL-Implantate



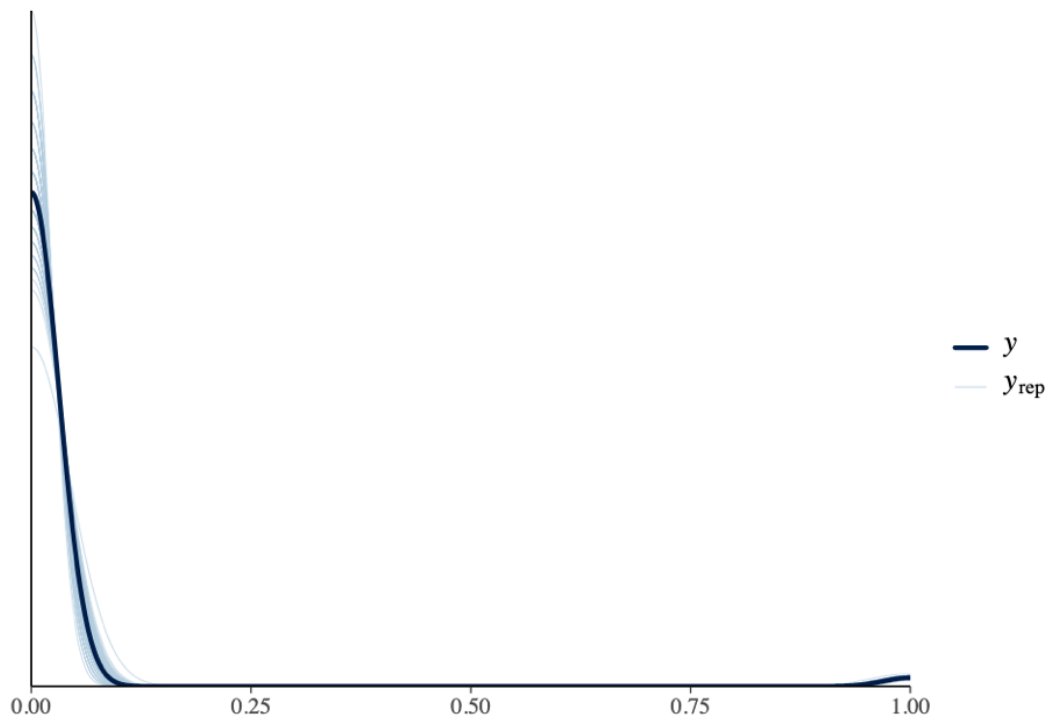
Anhang 12: H9

Prüfung Voraussetzung Bayes-Modell, Pus BL- vs. TL-Implantate



Anhang 13: H10

Prüfung Voraussetzungen Bayes-Modell, Pus an TL-Implantaten, RNS, RNSP, WNS, WNSP



9. Danksagung

Anschließend möchte ich mich bei allen beteiligten Personen, die mich im Laufe der Jahre unterstützt haben, herzlich bedanken. An erster Stelle danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Peer Kämmerer aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, plastische Operationen der Universitätsmedizin Mainz für die Annahme und Betreuung meines Dissertationsthemas. Ich danke Dir sehr für Deine fachliche Expertise, die konstruktiven Anregungen sowie für Deine Unterstützung und Begleitung während der Durchführung dieser Arbeit. Deine Unterstützung hat mir geholfen, die Dissertation wissenschaftlich fundiert und strukturiert umzusetzen.

Mein herzlicher Dank gilt ebenso Herrn Prof. Dr. Lehmann für die Übernahme des Zweitgutachtens und die sorgfältige Begutachtung meiner Arbeit.

Ein ganz besonderer Dank richtet sich an meine lieben Chefs, Michael und Peter, ohne Eure Mitwirkung wäre die Realisierung meines Promotionsvorhabens nicht möglich gewesen. Vielen Dank für Eure großartige fachliche Hilfe, die Bereitstellung der notwendigen Daten und Eure stetige Verlässlichkeit. Trotz eines fordernden und stressigen Praxisalltags habt ihr Euch immer Zeit genommen, mich tatkräftig zu begleiten. Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht entstanden. Ein besonderer Dank gilt Michael für die Themenfindung sowie für die kontinuierliche Unterstützung bei der praktischen Durchführung. Ebenso danke ich meinen lieben Kolleg*innen Richard und Petra sowie dem gesamten Praxisteam. Vielen Dank für Eure engagierte Mitwirkung bei der Realisierung meines Vorhabens, die umfangreiche Karteisuche zur Datenerhebung sowie für das stets offene Ohr. Ich bin sehr dankbar, Teil dieses besonderen Teams sein zu dürfen.

Mein Dank gilt außerdem meiner Freundin Lena für ihre Zeit und die Weitergabe ihrer beeindruckenden Excel-Kenntnisse. Deine vielen hilfreichen Tipps haben mir wertvolle Zeit erspart. Ebenso danke ich meiner lieben Freundin Josephine, die diese Arbeit Korrektur gelesen hat, sich viel Zeit dafür genommen und mich in schwierigen Entscheidungen stets unterstützt hat.

Für die statistische Auswertung der erhobenen Daten danke ich meinen beiden Statistikern sehr herzlich. Vielen Dank für Eure statistische Expertise, die präzisen Analysen sowie die zahlreichen geduldigen Erläuterungen.

Mein Dank gilt zudem meinem lieben Betreuer für die fachliche Begleitung und Unterstützung, solange es ihm möglich war.

Zuletzt gilt mein ganz besonderer Dank meiner Familie. Meinen Eltern und meinem Mann danke ich von Herzen für die Geduld, die jahrelange Unterstützung und die stetige Ermutigung. Danke, Massimo, für Deine liebevollen und aufmunternden Worte, Deine unglaubliche Geduld und dafür, dass Du den Glauben an mich und mein Vorhaben nie verloren hast. Du hast mich immer wieder ermutigt weiterzumachen. Dieser Dank gilt ebenso meinen lieben Eltern, ohne die mein Weg in die Zahnmedizin nicht möglich gewesen wäre. Danke, dass Ihr mich stets begleitet, unterstützt und mir immer wieder neue Türen im Leben geöffnet habt.

10. Tabellarischer Lebenslauf

Nachname: Misseri
Vorname: Carolin Lisa
Geburtsort: Münster (Westfalen)

Schulischer und beruflicher Werdegang:

1996 – 1998	Grundschule in Gievenbeck
1998 – 2000	Grundschule in Havixbeck
2000 – 2009	Gymnasium Paulinum in Münster
2009	Erlangen der allgemeinen deutschen Hochschulreife, Abitur
2009 – 2012	Ausbildung zur Zahntechnikerin
2012	Gesellenprüfung zur Zahntechnikerin
2012 – 2013	Ausbildung zur Zahntechnikermeisterin
2013	Meisterprüfung zur Zahntechnikermeisterin
2013 – 2014	Angestellte Allround-Zahntechnikerin
2014 – 2019	Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
2019	Approbation
2020 – 2022	Angestellte Assistenz Zahnärztin
Seit 2022	Angestellte Zahnärztin bei Dentalpro Dres. Braß, Steffens & Kollegen in Ingelheim am Rhein