

Klinische Untersuchungen zur Prävalenz der
Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation
im Lahn-Dill-Kreis und in der Stadt Frankfurt am Main

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Carina Nossol
geb. Mausolf
aus Northeim

Gießen 2025

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Dr. Norbert Krämer
Gutachter: Prof. Dr. Maximiliane Schlenz-Helmke

Tag der Disputation: 05.05.2025

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Literaturübersicht zur Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation	2
2.1	Definition und klinisches Erscheinungsbild	2
2.2	Einteilung.....	3
2.3	Epidemiologie der MIH und MMH	5
2.4	Wissenschaftlicher Hintergrund	15
2.4.1	Ätiologie der MIH	15
2.4.2	Diagnostik der MIH	19
2.4.3	Beschreibung der Therapie strukturiert nach dem Treatment-Need-Index....	19
2.5	Therapieansatz zur Stabilisierung der MIH-Struktur.....	25
2.5.1	Histologie.....	25
2.5.2	Infiltration.....	28
3.	Zielsetzung und Nullhypothesen der epidemiologischen Studie und der In-vitro-Studie	32
3.1	Nullhypothesen der epidemiologischen Studie.....	32
3.2	Nullhypothese der In-vitro-Studie.....	32
4.	Material und Methode	33
4.1	Rechtliche und ethische Grundlagen	33
4.2	Biometrie	33
4.3	Untersucherkalibrierung.....	34
4.4	Auswahl der Probanden	35
4.5	Ein- und Ausschlusskriterien.....	35
4.6	Untersuchungsablauf.....	35
4.7	Befunddokumentation.....	36
4.8	Dateneingabe und -auswertung.....	39

4.9	In-vitro-Studie	40
5.	Ergebnisse	42
5.1	Allgemeine Angaben zur epidemiologischen Studie.....	42
5.1.1	Verteilung der Probanden auf teilnehmende Schulen	42
5.1.2	Regionale Herkunft (Stadt-Land-Vergleich) im Schuljahr 2014/15	43
5.1.3	Herkunftsland der teilnehmenden Probanden (LDK und Ffm) im Schuljahr 2014/15	43
5.1.4	Alters- und Geschlechtsverteilung der teilnehmenden Schüler im Schuljahr 2014/15	43
5.2	Datenauswertung im Schuljahr 2014/15 (LDK und Ffm)	44
5.2.1	Prävalenz hypomineralisierter Sechsjahrmolaren und Milchmolaren in Mittelhessen	44
5.2.2	Prävalenz der MIH nach Altersklasse	45
5.2.3	Prävalenz der MIH in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	45
5.2.4	Anzahl der MIH-Molaren pro Kind.....	46
5.2.5	Häufigkeitsverteilung betroffener MIH-Molaren	46
5.2.6	Verteilung der MIH zwischen Ober- und Unterkiefer	47
5.2.7	Verteilung der MIH zwischen rechter und linker Kieferhälfte	47
5.2.8	Schweregradeinteilung der MIH nach Wetzel und Reckel (1991).....	48
5.2.9	Flächenbefund der hypomineralisierten Sechsjahrmolaren (MIH) und der Milchmolaren (MMH)	49
5.2.10	Einteilung der Ergebnisse nach EAPD-Kriterien	50
5.2.11	Kariesbefunde	51
5.3	Vergleich der Untersuchungszeitpunkte 2002/03 und 2014/15 im LDK.....	54
5.4	Ergebnisse der In-vitro-Studie	56
5.4.1	Ergebnisse von Molaren mit Initialkaries.....	56
5.4.2	Ergebnisse von Molaren mit MIH.....	60

6.	Diskussion der Ergebnisse	65
6.1	Bewertung des methodischen Ansatzes	65
6.1.1	Stichprobenauswahl und Drop-out.....	65
6.1.2	Kalibrierung	65
6.1.3	Untersuchung und Befunderhebung	66
6.2	Bewertung der Ergebnisse im nationalen und internationalen Vergleich	66
6.2.1	Stadt-Land-Vergleich.....	66
6.2.2	Altersgruppen	67
6.2.3	Geschlecht	68
6.2.4	Lokalisation der MIH.....	68
6.2.5	Zusammenhang zwischen MIH und MMH	69
6.3	Bewertung der strukturellen Untersuchung.....	69
6.3.1	Zusammenhang zur Epidemiologischen Studie (klinisches Aussehen und mikromorphologisches Aussehen).....	69
6.3.2	Implikation für die Klinik (Infiltration)	70
6.4	Bewertung der Nullhypothesen.....	72
6.4.1	Es bestehen keine Unterschiede zur Häufigkeit der MIH in den einzelnen Altersstufen.....	72
6.4.2	Es bestehen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Zusammenhang mit MIH.....	73
6.4.3	Die individuelle MIH-Prävalenz wird durch die individuelle Kariesprävalenz nicht beeinflusst.....	73
6.4.4	Die Verteilung des Schweregrades der MIH macht keinen Unterschied bezüglich ländlicher und städtischer Herkunft.....	74
6.4.5	Die Prävalenz der MIH im LDK hat sich nicht verändert (2002/03–2014/15). 75	
6.4.6	Die Verteilung des Schweregrades der MIH im LDK hat sich nicht verändert	75
6.4.7	Es besteht kein Unterschied zwischen nationalen und internationalen Erhebungen zur Prävalenz und Lokalisation der MIH/MMH.....	76
6.4.8	Die Infiltrationstherapie an MIH-Zähnen erreicht die gleichen optischen Effekte wie an initialkariösen Zähnen.....	77

7.	Zusammenfassung	79
8.	Summary	81
9.	Abkürzungsverzeichnis	83
10.	Abbildungsverzeichnis	85
11.	Tabellenverzeichnis	87
12.	Literaturverzeichnis.....	91
13.	Anhang	116
13.1	Gesetzgebungsauszug im Bundesland Hessen zur Gesundheitsfürsorge in Schulen	116
13.2	Befundbogen	121
13.3	Bilder zur Untersuchung der In-vitro-Studie	122
13.3.1	Molaren mit Initialkaries	122
13.3.2	MIH-Molaren.....	124
14.	Publikationsverzeichnis	128
15.	Erklärung zur Dissertation.....	129
16.	Danksagung	130

1. Einleitung

In Deutschland ist ein neues, ernst zu nehmendes Krankheitsbild zu beobachten, das in der medizinischen Fachwelt als Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) bezeichnet wird. In der Öffentlichkeit ist diese vor allem bei Kindern diagnostizierte Krankheit mit dem Namen „Kreidezähne“ geläufig. Bis heute ist die Frage weitgehend ungeklärt, wann oder warum sich dieses Krankheitsbild manifestiert hat. Das Phänomen selbst und Prävalenzzahlen wurden erstmals von Koch in den 1980er Jahren beschrieben [125]. Erst 2001 wurde der Begriff MIH von Weerheijm geprägt [226], der 2003 von der European Academy of Paediatric Dentistry (EAPD) als offizielle Bezeichnung übernommen wurde. Zusammen mit diesem Beschluss wurden außerdem Kriterien für epidemiologische Studien und deren Vergleichbarkeit veröffentlicht [225].

Seither werden weltweit Prävalenzen zwischen 2,1 und 40,5 % beschrieben und durch die Vielzahl der Studien sowie durch den Rückgang von Karieserkrankungen seit den 1980er Jahren entsteht der Eindruck einer stetigen Zunahme [87,192,216]. Da in den Jahren 2002/03 bereits Prävalenzdaten im Lahn-Dill-Kreis (LDK, Mittelhessen) erhoben worden, sollte 2014/15 mit einer weiteren Datenerhebung die Entwicklung der MIH in dieser Region erfasst werden. Die neu erhobenen Daten ermöglichen außerdem einen Vergleich der Prävalenzzahlen zwischen Stadt und Land.

Bis heute ist die Frage nach eindeutigen ätiologischen Faktoren ungeklärt. Auf Basis zahlreicher und umfangreicher Studien wird ein multifaktorielles Geschehen angenommen [64,77,80,120].

Auch in therapeutischer Hinsicht stehen Zahnärzte vor einer besonderen Herausforderung, weil durch histologische Untersuchungen die geringe mechanische Belastbarkeit der Zähne belegt werden konnte [62,65,69,70]. Zudem sind ästhetische Einschränkungen im Frontzahnbereich und Hypersensibilitäten sowie vermehrte Karies zu beobachten [22,62,63,70,95,188,199,220]. Es gibt zahlreiche Therapieoptionen für die unterschiedlichen Schweregrade der MIH [21]. Die Infiltrationsmethode jedoch wurde in den letzten zehn Jahren hinreichend untersucht und zeigt in der Mehrzahl der Studien vielversprechende Ergebnisse. So können ästhetische Makel maskiert werden, Hypersensibilitäten verringert und die mechanische Belastbarkeit der Zähne verbessert werden [8,12,22,50,174,195,199].

Die vorliegende Arbeit visualisiert die Ergebnisse der klassischen Infiltrationsmethode nach ICON (Infiltrant, Fa. DMG, Hamburg) mittels Makroskop-, Fluoreszenzlicht- und Laserfluoreszenzlichtdarstellung. Für die Zukunft sind weitere zielgerichtete Studien im Rahmen der Versorgungsforschung eines MIH-Zahnes erforderlich.

2. Literaturübersicht zur Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation

2.1 Definition und klinisches Erscheinungsbild

Die Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation beschreibt einen entwicklungsbedingt qualitativen Schmelzdefekt mit unklarer Genese an mindestens einem bleibenden Sechsjahrmolaren (6JM) mit oder ohne Beteiligung der bleibenden Inzisiven [227]. Die Molaren sind weit häufiger betroffen als die Inzisiven [189], allerdings steigt das Risiko eines hypomineralisierten Inzisivus mit der Anzahl der betroffenen Molaren [23,216,227]. Mittal und Sharma (2016) untersuchten verschiedene Phänotypen diverser Hypomineralisationen in der bleibenden Dentition mit dem Resultat, dass die häufigste Ausprägungsform der Hypomineralisation ein Sechsjahrmolar mit betroffenen Inzisiven ist [164]. Dies entspricht der offiziellen Definition einer MIH durch die EAPD [225]. Viele Studien deuten auf einen Zusammenhang zwischen der Betroffenheit der zweiten Milchmolaren (Milchmolarenhypomineralisation, MMH) und dem Auftreten in der bleibenden Dentition hin, sodass die Definition um das Auftreten von Hypomineralisationen an den zweiten Milchmolaren erweitert werden könnte [52,61,81,118,172,177,188,222]. Weiterhin ist zu beobachten, dass eine MIH wahrscheinlicher ist, je mehr Milchmolaren eine Hypomineralisation zeigen [118]. Ein Grund für die Betroffenheit bestimmter Markerzähne ist deren ähnlicher Mineralisationszeitraum [52]. Eine Häufung des Auftretens der MIH in einem bestimmten Kiefer oder einer bevorzugten Seitenlage ist nicht feststellbar [179,222,237]. Allerdings scheinen andere Zähne wie Eckzähne und Prämolaren laut Bhaskar et al. (2014) und Vieira et al. (2016) MIH-ähnliche Ausprägungsformen zu zeigen [23,224]. Da Silva Figueiredo Sé et al. (2017) haben diesbezüglich einen Zusammenhang nachweisen können. Demnach haben Kinder mit MIH-betroffenen zweiten Milchmolaren und Eckzähnen ein sechsmal höheres Risiko eine MIH an bleibenden Zähnen zu bekommen [44].

Die klinische Symptomatik der erkrankten Zähne variiert in Abhängigkeit vom Schweregrad [191]. Auch die Anzahl der MIH-Zähne steht im Zusammenhang mit dem Schweregrad der Erkrankung [42,83,110,177,189]. Das klinische Erscheinungsbild erstreckt sich von scharf begrenzten Opazitäten im Schmelz über gelb-bräunliche Verfärbungen bis hin zu Schmelzeinbrüchen. Während Verfärbungen die häufigste Ausprägung bei Inzisiven sind (Abbildung 1, 3 und 5, S. 3 ff.), sind die Molaren häufiger durch morphologische Veränderungen und Schmelzeinbrüche charakterisiert sowie bräunlich verfärbt (Abbildung 2, 4 und 6, S. 3 ff.) [175]. Die Schmelzdefekte sind typischerweise auf den Okklusalfächen einschließlich der Höckerspitzen zu finden und

dehnen sich etwa bis zur Hälfte der Bukkal- und Lingual-/Palatinalflächen aus. Zervikal ist der Zahnschmelz adäquat strukturiert [106]. Das Risiko eines Defekts bei Molaren beträgt nach Bullio Fragelli et al. (2015) 7 %, das eines Inzisivus 1 % [27]. Die Größe und die Lage des Defekts mit Ausdehnungen zu bukkalen und palatinalen/lingualen Flächen sind charakteristisch für die MIH. In diesem Zusammenhang sind atypische Restaurationen häufig zu beobachten, die als ein Hauptmerkmal der EAPD-Kriterien aufgenommen wurden [225].

Ein weiteres Leitsymptom ist die mit steigendem Schweregrad zunehmende Hypersensibilität der betroffenen Zähne. Hierfür verantwortlich scheinen die über die Dentintubuli in die Pulpa eindringenden Bakterien zu sein, die dort eine entzündliche Reaktion auslösen [63], weil die Zahnhartsubstanz poröser und somit anfälliger für die Aufnahme von Bakterien ist [191]. Dieses zusätzliche Leitsymptom wird auch von Oyedele et al. (2015) beschrieben, vor allem im Zusammenhang mit vermehrter Karies und schlechterer Mundhygiene der Kinder [178]. Auch andere Autoren konnten eine höhere Karieserfahrung bei Kindern mit MIH nachweisen [23,43,75,196].

2.2 Einteilung

Wetzel und Reckel (1991) teilen die MIH in drei in der Schwere zunehmende Grade ein (hier: A, B, C) [228].

Schweregrad A



Abbildung 1: MIH-Grad A, Frontzähne (11, 21, 31, 41), © Prof. Dr. Norbert Krämer



Abbildung 2: MIH-Grad A, Sechsjahrmolar (46), © Prof. Dr. Norbert Krämer

Die Inzisiven und/oder Sechsjahrmolaren weisen einzelne gelbliche oder weiße schmelzbegrenzte Opazitäten an den Höckern oder Glattflächen auf. In der Regel reagieren die Zähne nicht hypersensibel (Abbildung 1 und 2).

Schweregrad B



Abbildung 3: MIH-Grad B, Frontzähne (11, 21, 31, 32),
© Prof. Dr. Norbert Krämer



Abbildung 4: MIH-Grad B,
Sechsjahrmolar (26),
© Prof. Dr. Norbert Krämer

Die Inzisiven und/oder Sechsjahrmolaren zeigen deutlich zusammenhängende Areale von gelblich-bräunlichen Opazitäten. Die Zähne reagieren häufig thermosensibel. Die Kronenmorphologie ist häufig verändert (Abbildung 3 und 4).

Schweregrad C



Abbildung 5: MIH-Grad C, Frontzähne (11,
21), © Prof. Dr. Norbert Krämer

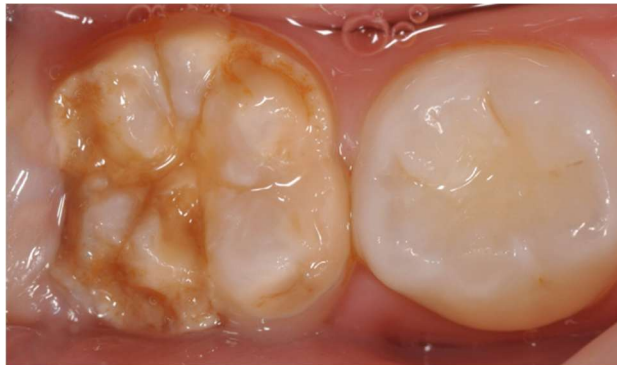


Abbildung 6: MIH-Grad C, Sechsjahrmolar (46),
© Prof. Dr. Norbert Krämer

Die Opazität erstreckt sich zunehmend auf den gesamten Zahn mit deutlich sichtbaren Schmelzeinbrüchen und einer Dentinbeteiligung. Ebenso existiert eine Hypersensibilität (Abbildung 5 und 6).

2.3 Epidemiologie der MIH und MMH

Die Prävalenzdaten der epidemiologischen Studien zur MIH erstrecken sich weltweit von 2,1 % in Russland bis 40,5 % in Saudi-Arabien [6,87]. Koch führte 1987 erstmals eine Prävalenzstudie zu diesem Thema durch und beschrieb die Strukturanomalie als idiopathische Schmelzhypomineralisation [125]. Zu diesem Zeitpunkt waren weder eine einheitliche Bezeichnung noch eine einheitliche Methodik für die Untersuchung bzw. Beschreibung der MIH bekannt. Weerheijm, die 2001 noch von „cheese-molars“ sprach [226], prägte den Begriff MIH erstmals und veröffentlichte 2003 die Untersuchungskriterien zur Einteilung der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation in epidemiologischen Studien. Diese in einer Arbeitsgruppe zusammengetragene Kategorisierung stellte eine Zusammenfassung der 2003 in Athen abgehaltenen Tagung der EAPD dar [225]. Viele Autoren wissenschaftlicher Studien referenzieren ihren angegebenen Untersuchungsindex daher häufig mit „Weerheijm et al. (2003)“. Aus diesem Grund ist in den nachfolgenden Tabellen dieser Index erwähnt. Zusätzlich gibt es zahlreiche andere Indizes und Klassifikationen, wie den DDE-Index (Index of Developmental Defects of Dental Enamel) [2], den modifizierten DDE-Index [35], den EDI (Enamel Defect Index) [51], die Kriterien nach Wetzel und Reckel (siehe Abschnitt 2.2, S. 3 ff.), nach Koch et al. [125], Calderara et al. [29], Mathu-Muju und Wright [160], Alaluusua et al. [5] und Kemoli [121], die bis heute noch eine Anwendung oder Erwähnung in epidemiologischen Untersuchungen zur MIH finden.

Die Kriterien der EAPD zeichnen sich durch ihre Einfachheit in der Handhabung und die Beschränkung auf spezielle Eigenheiten für die Beschreibung der MIH aus. Durch diese in Untersuchungen vorzuziehende Vereinheitlichung offizieller Kriterien ist ein Vergleich der Studien besser möglich [54,79,225].

Die Kriterien umfassen folgende Merkmale:

- abgegrenzte Opazitäten
- posteruptiver Schmelzeinbruch
- atypische Restaurationen
- extrahierte Molaren aufgrund der MIH

Darüber hinaus sollen die Zähne im feuchten und gereinigten Zustand begutachtet werden. Ein geeigneter Untersuchungszeitpunkt wird mit acht Jahren empfohlen, weil in diesem Lebensalter der Durchbruch aller Sechsjahrmolaren und der Inzisiven spätestens abgeschlossen ist [225]. Die Tabellen 1 bis 6 (S. 6 ff.), jeweils den

Kontinenten zugeordnet, geben einen Überblick über die epidemiologischen Studien und ihrer demografischen Verteilung mit Veröffentlichungen zwischen 1987 und 2021. Die Reihenfolge innerhalb der Tabellen gliedert sich nach Land und Veröffentlichungsjahr.

Tabelle 1: Prävalenzstudien zur MIH in Afrika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach EDI = Enamel Defect Index, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Kemoli et al. und EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Ägypten	k. A.	Saber et al. 2017, [202]	2,3 %	2014/15	1.001	EDI	8-12
Kenia	k. A.	Kemoli 2008, [121]	13,7 %	2006	3.591	Kemoli et al.	6-8
Libyen	Benghazi	Fteita et al. 2006, [72]	2,9 %	k. A.	378	mDDE	7-9
Nigeria	Ile-Ife	Oyedele et al. 2015, [179]	17,7 %	2010/11	469	EAPD	8-10
Nigeria	k. A.	Temilola et al. 2015, [222]	9,7 %	k. A.	236	Kemoli et al.	8-10

Die Prävalenzzahlen der MIH in Afrika lagen stets unter 20 % und entsprechen daher dem internationalen Mittel. Bis 2015 ist ein Anstieg der MIH zu beobachten. 2017 wird in Ägypten die niedrigste afrikanische MIH-Prävalenz mit 2,3 % gemessen (Tabelle 1).

Tabelle 2: Prävalenzstudien zur MIH in Asien: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach DDE = Index of Developmental Defects of Dental Enamel, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Wetzel und Reckel, Clarkson und O'Mullane, Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD; die Türkei wurde dem Kontinent Asien demografisch zugeordnet

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
China	Wenzhou	Li und Li 2012, [146]	25,5 %	k. A.	988	EAPD	6-11
China	Hong Kong	Cho et al. 2008, [34]	2,8 %	2006	2.635	EAPD	11-14
Indien	Muvattupuzha, Kerala	Emmatty et al. 2020, [60]	4,1 %	k. A.	5.318	EAPD, Wetzel und Reckel	8-15
Indien	Kerala Kannur	Peedikayil et al. 2019, [186]	16,0 %	k. A.	1.000	EAPD	6-10

Fortsetzung Tabelle 2							
Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs- jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs- index	Altersgruppe (in Jahren)
Indien	Muradnagar, Ghaziabad	Rai et al. 2018, [197]	21,4 %	2014/15	992	modifizierter DDE-Index Clarkson und O'Mullane	7-9
Indien	Chennai	Padavala et al. 2018, [180]	12,9 %	k. A.	170	EAPD	7-12
Indien	Nagpur, Mahashtra	Mittal et al. 2016, [168]	7,1 %	k. A.	886	EAPD	6-12
Indien	k. A.	Mittal und Sharma 2015, [166]	10,5 %	2012/13	1.240	EAPD	8-12
Indien	Süd-Indien	Kirthiga et al. 2015, [123]	8,9 %	k. A.	2.000	Wetzel und Reckel	11-16
Indien	Udaipur	Bhaskar und Hedge 2014, [23]	9,5 %	2011/12	1.173	EAPD	8-13
Indien	Nord-Indien	Mittal et al. 2013, [167]	6,3 %	2009/10	1.792	EAPD	6-9
Indien	West-Indien	Parikh et al. 2012, [181]	9,2 %	k. A.	1.366	EAPD	8-12
Irak	Mosul	Ghanim et al. 2011, [83]	18,6 %	2009/10	823	EAPD	7-9
Iran	Shiraz	Ghanim et al. 2013, [78]	20,2 %	2012	810	EAPD	9-11
Iran	Zahedan	Ahmadi et al. 2012, [1]	12,7 %	k. A.	433	DDE	7-9
Israel	Aschkelon	Hassan et al. 2019, [93]	17,1 %	k. A.	2.671	EAPD	6-16
Japan	8 Regionen	Saitoh et al. 2018, [204]	19,8 %	2015/16	4.496	EAPD	7-9
Jordanien	k. A.	Zaweideh et al. 2011, [237]	17,6 %	2009	3.241	Wetzel und Reckel, Weerheijm et al. (2003)	7-9
Korea	Busan, Ulsan	Shin et al. 2010, [208]	6,0 %	k. A.	1.344	k. A.	k. A.
Malaysia	k. A.	Hussein et al. 2015, [100]	16,9 %	k. A.	154	EAPD	7-12

Fortsetzung Tabelle 2							
Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs- jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs- index	Altersgruppe (in Jahren)
Nepal	Kavre	Shrestha et al. 2014, [209]	13,7 %	k. A.	749	EAPD	7-12
Russland	7 städtische und 5 ländliche Regionen in Archangelsk (Nord-West- Russland)	Gorbatova et al. 2019, [87]	2,1 %	k. A.	1.233	Weerheijm et al. (2003), Mathu- Muju und Wright	12
Saudi- Arabien	Riyadh	Alhowaish et al. 2021, [6]	40,5 %	k. A.	893	EAPD	8-10
Saudi- Arabien	Region Qassim	Rizk et al. 2018, [201]	25,1 %	k. A.	411	EAPD	7-9
Saudi- Arabien	Jeddah	Allazzam et al. 2014, [7]	8,6 %	2011	267	EAPD	8-12
Singapur	k. A.	Ng et al. 2015, [173]	12,5 %	k. A.	1.083	EAPD	7,7
Thailand	k. A.	Pitiphat et al. 2014, [193]	27,7 %	2011/12	282	EAPD	7-8
Türkei	Istanbul	Koruyucu et al. 2018, [127]	14,2 %	k. A.	1.511	EAPD	8-11
Türkei	k. A.	Sönmez et al. 2013, [212]	7,7 %	k. A.	4.018	Weerheijm et al. (2003)	7-12
Türkei	Bozcaada Island Tavsancil	Kuscu et al. 2009, [138]	9,1 % 9,2 %	2007	153	Weerheijm et al. (2003)	7-10
Türkei	Istanbul	Kuscu et al. 2008, [140]	14,9 %	2007	147	Weerheijm et al. (2003)	7-9

In Asien zeigt sich die niedrigste und die höchste globale MIH-Prävalenz mit 2,1 % in Russland und 40,5 % in Saudi-Arabien [6,87]. Insgesamt sind in Asien sehr viele Studien durchgeführt worden, vor allen in Indien und in der Türkei. Die Prävalenzzahlen erreichen überwiegend einen Anteil von bis zu 20 %. Ein überregionaler Anstieg der MIH kann in China von 2,8 auf 25,5 %, im Iran von 12,7 auf 20,2 % und in Saudi-Arabien von 8,6 auf 40,5 % beobachtet werden [1,6,7,34,78,146]. In den zahlreichen indischen Studien zeichnet sich ebenfalls ein sukzessiver Anstieg ab. Lediglich 2020 wurde nach

Emmatty et al. eine MIH-Prävalenz von 4,1 % ermittelt. In der Türkei ist kein Anstieg zu verzeichnen (Tabelle 2, S. 6 ff.).

Tabelle 3: Prävalenzstudien zur MIH in Ozeanien: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Australien	Perth	Arrow 2008, [10]	22,0 %	2006/07	511	mDDE	7
Neuseeland	Wellington	Mahoney und Morrison 2011, [152]	18,8 %	k. A.	234	mDDE	7-10

Vergleichsweise wenig Studien sind neben Nordamerika in Ozeanien durchgeführt worden. In Australien und Neuseeland sind die MIH-Prävalenzen mit 22,0 bzw. 18,8 % ähnlich hoch und entsprechen daher dem globalen Mittel (Tabelle 3).

Tabelle 4: Prävalenzstudien zur MIH in Europa: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach EDI = Enamel Defect Index, DDE = Index of Developmental Defects of Dental Enamel, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Wetzel und Reckel, Koch et al., Alaluusua et al. (1996), Calderara et al., Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Unter-suchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Unter-suchungs-index	Alters-gruppe (in Jahren)
Albanien	Tirana	Hysi et al. 2016, [101]	14,0 %	k. A.	1.575	Weerheijm et al. (2003)	8-10
Bosnien / Herzegowina	k. A.	Jankovic et al. 2014, [109]	12,8 %	2005/06	141	EAPD	8
Bosnien / Herzegowina	k. A.	Muratbegovic et al. 2007, [169]	12,3 %	2004	560	Weerheijm et al. (2003)	12
Bulgarien	Plovdiv	Kukleva et al. 2008, [136]	3,6 %	2006	2.960	Weerheijm et al. (2003)	7-14
Dänemark	k. A.	Wogelius et al. 2008, [232]	37,3 %	2005	745	Weerheijm et al. (2003)	6-8
Deutschland	k. A.	Kühnisch et al. 2014, [133]	14,7 %	2005-2007	692	EAPD	10

Fortsetzung Tabelle 4							
Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Alters-gruppe (in Jahren)
Deutschland	k. A.	Kohlboeck et al. 2013, [126]	33,8 %	k. A.	1.126	k. A.	k. A.
Deutschland	München	Heitmüller et al. 2013, [96]	14,7 %	2005-2007	693	EAPD	10
Deutschland	Düsseldorf	Petrou et al. 2013, [188]	14,6 %	2011/12	963	EAPD	8,1
Deutschland	Hamburg	Petrou et al. 2013, [188]	14,0 %	2011/12	279	EAPD	8,1
Deutschland	k. A.	Petrou et al. 2013, [188]	10,1 % gesamte Gruppe	2011/12	2.395	EAPD	8,1
Deutschland	Heidelberg	Petrou et al. 2013, [188]	6,0 %	2011/12	713	EAPD	8,1
Deutschland	Greifswald	Petrou et al. 2013, [188]	4,3 %	2011/12	440	EAPD	8,1
Deutschland	LDK	Preusser et al. 2007, [194]	5,9 %	2002/03	1.002	Wetzel und Reckel, Koch et al.	6-12
Deutschland	Dresden	Dietrich et al. 2003, [46]	5,6 %	2002	2.408	mDDE	10-17
Finnland	k. A.	Wuollet et al. 2014, [233]	17,1 %	k. A.	818	EAPD	7-13
Finnland	Helsinki	Leppäniemi et al. 2011, [145]	19,3 %	k. A.	488	Alaluusua et al. 1996	7-13
Finnland	Lammi (Süd-Finnland)	Laisi et al. 2009, [141]	16,3 %	k. A.	141	Alaluusua et al. 1996	7,8-12,7
Finnland	Kotka Anjalankoski	Hölttä et al. 2001, [98]	14,2 % 5,6 %	1998/99	657 373	k. A.	8-14
Finnland	Helsinki	Alaluusua et al. 1996, [4]	25,0 %	k. A.	97	Alaluusua et al. 1996	12
Finnland	k. A.	Alaluusua et al. 1996, [5]	17,0 %	k. A.	102	Alaluusua et al. 1996	6-7
Griechenland	Thessaloniki Ptolemaida Ioannina	Kevrekidou et al. 2015, [122]	21,0 %	k. A.	2.335	EAPD	8 und 14

Fortsetzung Tabelle 4

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Alters-gruppe (in Jahren)
Griechenland	Athen	Lygidakis et al. 2008, [148]	10,2 %	2003-2005	3.518	EAPD	5,5-12
Groß-britannien	Nordengland	Balmer et al. 2012, [14]	15,9 %	2008/09	3.233	mDDE	12
Groß-britannien	Leeds	Zagdwon et al. 2002, [235]	14,5 %	k. A.	307	DDE	7
Italien	Rom	Condo et al. 2012, [37]	7,3 %	k. A.	1.500	k. A.	4-15
Italien	Lissone	Calderara et al. 2005, [29]	13,7 %	k. A.	227	Calderara et al.	7-8
Litauen	Kaunas	Jasulaityte et al. 2007, [110]	9,7 %	k. A.	1.277	EAPD	7-9
Niederlande	Rotterdam	Elfrink et al. 2012, [52]	8,7 %	k. A.	6.161	EAPD	6
Niederlande	k. A.	Jasulaityte et al. 2008, [111]	14,3 %	2003	442	Weerheijm 2001	9
Niederlande	k. A.	Weerheijm et al. 2001, [226]	9,7 %	1999	497	Weerheijm 2001	11
Österreich	Salzburg, Tirol	Hasenauer et al. 2010, [92]	10,9 %	k. A.	1.283	Wetzel und Reckel, mDDE, Koch et al.	mindestens 7
Polen	Woiwodschaft Pommern	Glodkowska et al. 2019, [86]	6,4 %	2016	1.437	Weerheijm et al. (2003), EAPD	6-12
Rumänien	k. A.	Păsăreanu et al. 2006, [185]	4,3 %	k. A.	681	EDI	8-11
Schweden	Malmö	Brogardh-Roth et al. 2011, [26]	38,0 % (früh geboren) 16,0 % (termingerecht geboren)	2009	164	DDE	10-12
Schweden	k. A.	Jälevik et al. 2001, [107]	18,4 %	k. A.	516	mDDE	7-8
Schweden	k. A.	Koch et al. 1987, [125]	3,6-15,4 %	1979/80 und 1983	2.226	Koch et al.	8-13
Slowenien	k. A.	Groselj und Jan 2013, [88]	21,4 %	k. A.	478	mDDE, EAPD	6-11,5

Fortsetzung Tabelle 4							
Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Spanien	k. A.	Garcia-Margarit et al. 2014, [75]	21,8 %	2009	840	EAPD	8
Spanien	Barcelona	Martinez Gomez et al. 2012, [157]	17,8 %	2008/09	505	EAPD, Mathu-Muju und Wright	6-14
Spanien	Madrid	Comes Martinez et al. 2007, [36]	12,4 %	k. A.	1.914	k. A.	k. A.

Die meisten Studien zur MIH-Prävalenz wurden in Europa durchgeführt. Das Prävalenzintervall dort erstreckt sich von 3,6 % in Schweden und Bulgarien bis hin zu 38,0 % ebenfalls in Schweden [26,125,136]. Die Ergebnisse der MIH-Prävalenzen sind jedoch im Mittel bei 20 % einzuordnen. Ein überregionaler Prävalenzanstieg ist in Bosnien/Herzegowina (12,3 auf 12,8 %), in Griechenland (10,2 auf 21,0 %), in Schweden (3,6 auf 38,0 %) und in Spanien (12,4 auf 21,8 %) zu beobachten [26,36,75,109,122,125,148,169]. In Deutschland ist mit Ausnahme der Studienergebnisse von Kohlboeck et al. (2013) mit 33,8 % ebenfalls ein Anstieg von 5,6 auf 14,7 % zu verzeichnen. Lediglich in Italien nimmt die Prävalenz von 13,7 auf 7,3 % ab [29,37,46,126,133]. In den vielen finnischen Studien verändern sich die Prävalenzzahlen kaum (Tabelle 4, S. 9 ff.).

Tabelle 5: Prävalenzstudien zur MIH in Nordamerika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Mexiko	Mexiko City	Irigoyen-Camacho et al. 2019, [102]	20,3 % (2008) 31,9 % (2017)	2008 2017	232 317	EAPD	6-8
Mexiko	Mexiko City	Gurrusquieta et al. 2017, [90]	15,8 %	k. A.	1.156	EAPD, Mathu-Muju	6-12
USA	Milwaukee, Wisconsin	Davenport et al. 2019, [45]	9,6 %	2014/15	375	EAPD	7-12
USA	Texas	Cervantes Mendez et al. 2015, [31]	29,5 %	k. A.	1.212	EAPD	6-14

In Nordamerika können MIH-Prävalenzen von 9,6 bis 31,9 % beobachtet werden. In Mexiko-City kann in der MIH-Entwicklung ein Anstieg von 15,8 auf 31,9 % angenommen werden [90,102]. In den USA sind nur wenige Daten zur MIH erfasst. Die Prävalenzspanne beträgt 9,6 bis 29,5 % [31,45] (Tabelle 5, S. 12).

Tabelle 6: Prävalenzstudien zur MIH in Südamerika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Argentinien	Buenos Aires	Biondi et al. 2011, [24]	15,9 %	2010	1.098	k. A.	11
Argentinien, Uruguay	Buenos Aires Montevideo	Lopez et al. 2014, [147]	16,1 % 12,3 %	2010	1.716	Mathu-Muju und Wright	k. A.
Argentinien, Uruguay	k. A.	Biondi et al. 2012, [25]	6,6 %	2010	975	Mathu-Muju und Wright	11
Brasilien	Paranoa	Raposo et al. 2019, [198]	16,1 %	k. A.	631	k. A.	8
Brasilien	Manaus	Hanan et al. 2015, [91]	9,1 %	2014	2.062	EAPD	6-10
Brasilien	k. A.	Jeremias et al. 2013, [116]	12,3 %	k. A.	1.157	EAPD	6-12
Brasilien	k. A.	Souza et al. 2013, [214]	12,3 %	k. A.	1.151	EAPD	7-12
Brasilien	k. A.	Souza et al. 2012, [213]	19,8 %	k. A.	903	EAPD	6-12
Brasilien	k. A.	Da Costa-Silva et al. 2010, [43]	19,8 %	2008	918	EAPD	6-12
Brasilien	Rio de Janeiro	Soviero et al. 2009, [216]	40,2 %	k. A.	249	Weerheijm et al. (2003)	7-13
Ecuador	Guayaquil	Ordonez-Romero et al. 2019, [176]	9,2 %	k. A.	249	EAPD	7-12
Kolumbien	Medellin	Mejia et al. 2019, [163]	11,2 %	2011-2013	1.075	EAPD	6-15

In Südamerika liegt die MIH-Prävalenz zwischen 6,6 und 40,2 % [25,216]. In fast allen Studien liegt die Prävalenz unter 20 %. Lediglich in einer der zahlreichen brasilianischen Studien wurde 2009 eine Prävalenz von 40,2 % ermittelt. Zu einem fast identischen

Ergebnis gelangten Alhawaish et al. (2021) in ihrer Studie in Saudi-Arabien mit 40,5 % zur MIH-Prävalenz. Weder in Argentinien noch in Brasilien kann eine MIH-Zunahme angenommen werden. Die Prävalenzzahlen schwanken in den einzelnen Untersuchungsjahren (Tabelle 6, S. 13).

Die globale Verteilung der MIH-Prävalenz variiert in den einzelnen Ländern. Eine Studie aus England bestätigt die Prävalenzzahlen hinsichtlich der demografischen Verteilung, weil keine Unterschiede zwischen Ethnien festgestellt werden konnten ($p > 0,05$) [235].

Tabelle 7: Epidemiologische Studien zur MMH-Prävalenz: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Kemoli et al. sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD; die Türkei wurde dem Kontinent Asien demografisch zugeordnet

Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Alters-gruppe (in Jahren)
Afrika							
Nigeria	k. A.	Temilola et al. 2015, [222]	4,6 %	k. A.	327	Kemoli et al.	3-5
Asien							
Indien	Bengaluru City	Subramaniam et al. 2016, [219]	0,5 %	k. A.	2.500	Weerheijm et al. (2003)	7-9
Indien	Nagpur, Maharashtra	Mittal et al. 2016, [168]	4,9 %	k. A.	223	EAPD	3-5
Indien	k. A.	Mittal und Sharma 2015, [165]	5,6 %	2012/13	978	EAPD	6-8
Irak	k. A.	Ghanim et al. 2013, [81]	6,6 %	k. A.	809	EAPD	7-9
Singapur	k. A.	Ng et al. 2015, [173]	2,1 %	k. A.	1.083	EAPD	7,7
Türkei	Ankara	Karakaya et al. 2021, [118]	mit MIH: 61,7 % ohne MIH: 2,6 % Gesamt: 22,3 %	k. A.	345	EAPD	7-11
Europa							
Deutschland	München	Kühnisch et al. 2014, [132]	4,0 %	k. A.	693	EAPD	10

Fortsetzung Tabelle 7							
Land	Stadt / Region	Studie	Prävalenz	Untersuchungs-jahr	Anzahl Kinder	verwendeter Untersuchungs-index	Altersgruppe (in Jahren)
Niederlande	k. A.	Elfrink et al. 2014, [56]	9,0 %	k. A.	6.690	EAPD	6
Niederlande	Rotterdam	Elfrink et al. 2012, [52]	9,0 %	k. A.	6.161	EAPD	6
Niederlande	k. A.	Elfrink et al. 2009, [58]	21,8 %	k. A.	62	EAPD	5
Niederlande	k. A.	Elfrink et al. 2008, [57]	4,9 %	2005	386	EAPD	5

Im Vergleich zur MIH (Prävalenz zwischen 2,1 und 40,5 %) variiert die globale Prävalenz der MMH zwischen 0,5 % in Indien und 22,3 % in der Türkei [118,219]. Die Prävalenzzahlen der MMH bewegen sich jedoch im Mittel zwischen 2,1 % in Singapur und 9,0 % in den Niederlanden [52,56,173]. Eine Tendenz kann aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden (Tabelle 7, S. 14).

In der Studie von Karakaya et al. (2021) wurden Daten zur Erfassung eines Zusammenhangs zwischen einer MMH und MIH erhoben. Das Ergebnis zeigte, dass Kinder mit einer diagnostizierten MIH zu 61,7 % auch hypomineralisierte zweite Milchmolaren hatten, während lediglich 2,6 % der Kinder aus der Kontrollgruppe eine MMH hatten [118]. Auch in anderen Studien wird davon ausgegangen, dass die zweiten Milchmolaren aufgrund des ähnlichen Mineralisationszeitraums ein Prädiktor für das Vorkommen einer MIH in der bleibenden Dentition sein können [52,61,81,118,158,172,177,188]. Die ermittelten Odds Ratios (OR) reichen von 1,48 bis 60,24. Dies zeigt, dass von einem Zusammenhang zwischen einer MMH und einer MIH ausgegangen werden kann [81,118]. Lediglich in der Studie von Petrou et al. (2013) wird eine Spearman`s Correlation mit $r = 0,330$ ($p < 0,001$) angegeben [188]. Auch hier ist von einem Bezug zwischen einer MMH und einer MIH auszugehen.

2.4 Wissenschaftlicher Hintergrund

2.4.1 Ätiologie der MIH

Etwa 40 Jahre nach der ersten Beschreibung von MIH [125] und zahlreichen Studien zur Ätiologie gibt es keine eindeutigen Störeinflüsse, die ursächlich für eine MIH sind [3,229]. Es wird weiterhin vermutet, dass sowohl prä-, peri-, als auch postnatale Einflüsse auftreten, die sich über den gesamten Zeitraum der Mineralisation der Sechsjahrmolaren

und der Inzisiven erstrecken können, sodass heute von einer Multifaktorialität der Ursachen ausgegangen wird. Von Garot et al. (2021) wurde eine aktuelle Datenauswertung und Meta-Analyse zu ätiologischen Faktoren vorgenommen, die für die nachfolgend aufgeführten Ursachen die Grundlage für die Hauptgewichtung und Bewertung bilden [77].

Pränatale Einflussfaktoren

Als pränatale Einflussfaktoren gelten gesundheitliche Einwirkungen während einer Schwangerschaft. Hierzu zählen Schwangerschaftsdiabetes, Schwangerschafts-eklampsie und Präeklampsie, Rauchen, unbestimmte Medikamenteneinnahme, Fieber, Bluthochdruck und Nierenprobleme in der Schwangerschaft [26,46,71,80,144,163,193,212,213,229]. Keiner dieser Faktoren kann signifikant mit MIH in Verbindung gebracht werden. Lediglich allgemeine Erkrankungen der Mutter lassen Rückschlüsse auf eine MIH zu (OR 1,49; 95 % KI (Konfidenzintervall) 1,19-1,86; $p = 0,006$) [76].

Perinatale Einflussfaktoren

Perinatale Ursachen entstehen durch Abläufe während des Geburtsvorganges. Hierzu zählen die Art der Geburtsform (Frühgeburt, Spontangeburt, Kaiserschnitt), die Anwendung einer Saugglocke, Wehenschmerzen über 24 Stunden, niedriges Geburtsgewicht oder medizinische Hilfe/Versorgung direkt nach der Entbindung (Inkubator, unzureichende Sauerstoffversorgung [APGAR-Test]) [1,9,11,18,26,46,71,76,101,144,163,193,210,212,213,221,229]. Eine statistische Signifikanz konnte jedoch nur bei den Ursachen Kaiserschnitt (OR 1,45 95 % KI 1,09-1,93; $p < 0,00001$), Frühgeburt (OR 1,45; 95 % KI 1,24–1,70; $p = 0,0002$) und einer unzureichenden Sauerstoffversorgung (OR 2,76; 95 % KI 2,09–3,64; $p < 0,001$) ermittelt werden [76].

Postnatale Einflussfaktoren

Die von Garot et al. (2021, Meta-Analyse) postnatal untersuchten Einflussfaktoren beziehen sich auf den Zeitraum nach der Geburt und erstrecken sich über die ersten Lebensjahre des Kindes, in denen die Mineralisation der Markerzähne einer MIH zum Abschluss kommt. Zu den einflussnehmenden Faktoren gehören respiratorische Erkrankungen wie Sinusitis, Racheninfektionen, Bronchitis, Asthma, Rhinitis,

Pneumonie oder Tonsillitis. Weiterhin können allgemeine Erkrankungen wie Masern, Röteln, Windpocken, Infektionen des Ohres, Harnwegsinfekte oder Diarrhoe ursächlich sein. Andere unspezifische Einflussgrößen können Nierenerkrankungen, Ikterus, Magenbeschwerden oder Fieber sein. Eine Mangelernährung, Allergien, Antibiotikagaben und Stillen über sechs Monate können ebenfalls angenommen werden [1,4,6,7,9,18,26,46,64,71,80,101,127,140,141,144,159,163,187,193,212,213,229]. Hier zeigen lediglich Masern (OR 1,75; 95 % KI 1,32–2,34; $p = 0,001$), Mittelohrentzündung (OR 1,40; 95 % KI 1,08–1,82; $p = 0,01$), Harnwegsinfekte (OR 1,34; 95 % KI 1,08–1,67; $p = 0,009$) und Bronchitis (OR 1,25; 95 % KI 1,01–1,56; $p = 0,04$) einen statistischen Zusammenhang mit geringer bis moderater Heterogenität und einer MIH. Eine Assoziation mit MIH und hoher Heterogenität zeigt sich bei Magenbeschwerden (OR 1,99; 95 % KI 1,37–2,88; $p = 0,003$), Fieber (OR 1,40; 95 % KI 1,25–1,58; $p = 0,0002$), Nierenerkrankungen (OR 2,70; 95 % KI 1,07–6,82; $p = 0,003$), Pneumonie (OR 1,49; 95 % KI 1,15–1,94; $p = 0,03$), Asthma (OR 1,55; 95 % KI 1,18–2,04; $p = 0,01$) und Antibiotikaeinnahmen (OR 1,21; 95 % KI 1,08–1,36; $p = 0,04$) [76].

Laisi et al. (2008) untersuchten einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein oder Schweregrad einer MIH und einer Intoxikation mit polychloriertem Dibenzo-p-dioxin bzw. Dibenzofuran (PCDD/PCDF) oder polychloriertem Biphenyl über die Muttermilch. Für die Untersuchung wurden Plazentaprobe entnommen und analysiert. Sieben bis zehn Jahre später wurden die Kinder auf MIH untersucht und die Mütter zur Stilldauer befragt. Allerdings konnte kein signifikanter Nachweis erbracht werden ($p > 0,05$) [142]. Ein verminderter Serum 25(OH)-Vitamin-D-Spiegel hingegen wird nach Kühnisch et al. (2015) mit einem erhöhten MIH-Risiko in Verbindung gebracht ($p = 0,006$). Hierzu wurden von den Probanden entnommene Blutproben analysiert [135]. Nach Balmer et al. (2014) wird außerdem ein Zusammenhang zwischen der Trinkwasserfluoridierung und MIH angenommen. Während Kinder, die in Gegenden mit erhöhter Trinkwasserfluoridierung lebten, seltener an MIH litten, ergab sich jedoch ein erhöhtes Risiko für diffuse und abgrenzbare Defekte [15]. Allerdings ließ sich diese Annahme statistisch nicht bestätigen. Eine andere Studie von Balmer et al. (2012) zeigte keinen Zusammenhang zwischen der Prävalenz einer MIH und Trinkwasserfluoridierung [14]. In einer neueren Studie von Andrade et al. (2017) wurde ein erhöhtes Aufkommen einer MIH bei HIV-erkrankten Kindern im Zusammenhang mit der Einnahme von Protease-Inhibitoren festgestellt (OR 2,14; 95 % KI 1,21–3,77). Das schwache Immunsystem der Kinder mit HIV-Erkrankung und die in der Folge auftretenden Infekte sowie die antivirale Therapie können möglicherweise die Schmelzentwicklung beeinflussen. Die Datenerhebung der Studie basierte auf Krankenakten, Fragebögen für Pflegekräfte und Eltern sowie intraoralen Untersuchungen bei Kindern. Hierzu wurden die Kriterien der

EAPD zur Beurteilung einer MIH sowie die ICDAS-Kategorisierung (International Caries Detection And Assessment System) zur Befunderhebung kariöser Veränderungen herangezogen [9]).

Genetische Untersuchungen

In genetischen Untersuchungen zeigt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen MIH und einem Einzelnukleotid-Polymorphismus (Rs13058467) nahe dem SCUBE1-Gen auf Chromosom 22 ($p < 3,72E-7$) [134] sowie einem Polymorphismus (Rs2245803) auf MMP20 (Matrix-Metalloproteinase-20; OR 2,796; 95 % KI 1,075–4,783; $p = 0,0496$) [97]. Andere Gen-Untersuchungen mit der Suche nach bestimmten Markern zeigten bei Enamelin (ENAM) ebenfalls einen Zusammenhang mit MIH (Brasilien: OR 0,28; 95 % KI 0,06–1,0; $p = 0,03$; Türkei: OR 17,36; 95 % KI 5,98–56,78; $p = 1,22E-012$) [115].

In einer Zwillingsuntersuchung von Teixeira et al. (2008) konnte eine erhöhte MIH-Häufigkeit bei eineiigen Zwillingspaaren (monozygot; 65,5 %, $p = 0,0211$) gegenüber zweieiigen Zwillingen (dizygot, 34,5 %) nachgewiesen werden [221].

Tierversuche

In Tierversuchen mit Mäusen und Ratten zeigten sich ebenfalls Zusammenhänge mit Amoxicillin und MIH. Auch die NaF-Dosierung, Bisphenol A und andere endokrine Disruptoren wie Genistein und Vinclozolin beeinflussen die Schmelzentwicklung und -dicke eines Zahnes [112–114,203,215].

Bei Versuchen mit Ferkeln konnte kein Zusammenhang zwischen der Amoxicillingabe und dem Auftreten einer MIH ermittelt werden. Es war lediglich ein Einfluss auf die Mineraleichte feststellbar [139].

Die Bandbreite der einflussnehmenden Faktoren auf MIH ist groß, sodass aktuell von einem multifaktoriellen Geschehen ausgegangen werden muss [211]. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die gesundheitlichen Einflussfaktoren überwiegend den postnatalen Einwirkungen zuzuordnen sind [11].

Ätiologie der MMH

Elfrink et al. befassten sich intensiv mit der Entstehung bzw. den Ursachen der MMH und veröffentlichten 2013 eine Studie, die sich über einen Untersuchungszeitraum von

2001 bis 2012 erstreckte. Neben Fragebögen und Ultraschalluntersuchungen in der Frühschwangerschaft wurden im Alter von fünf bis sechs Jahren intraorale Fotografien der Kinder angefertigt und nach den EAPD-Kriterien ausgewertet. Daten zur Medikamenteneinnahme der Mütter (Antibiotika, Antiallergika und Antihistaminika) in der Schwangerschaft konnten aus Apothekenunterlagen entnommen werden. Es konnte kein statistischer Zusammenhang mit der Einnahme oben genannter Medikamente und dem Vorkommen einer MMH ermittelt werden [55]. Zu einem späteren Zeitpunkt zeigten Elfrink et al. (2014) mit dem gleichen Datensatz einen Zusammenhang zwischen der MMH und niedrigem Geburtsgewicht ($p = 0,007$), Alkoholkonsum der Mutter während der Schwangerschaft ($p = 0,013$) und Fieberschüben im ersten Lebensjahr des Kindes ($p = 0,035$) [56].

2.4.2 Diagnostik der MIH

Für eine Diagnostik der MIH sind eine hinreichende Anamnese und eine klinische Untersuchung obligatorisch. Auf diese Weise lassen sich die klinischen Besonderheiten eines MIH-Zahnes (EAPD-Kriterien, Vorhandensein von Hypersensibilitäten) eruieren und klassifizieren [150]. Eine individuelle Befunderhebung bietet der MIH-Treatment-Need-Index nach Bekes et al. (2016), der außerdem eine Grundlage für den anschließenden Therapieplan bildet [20].

Eine Studie von Farah et al. (2008) beschreibt zudem die Anwendung von Laserfluoreszenz (DIAGNOdent) für die Diagnostik von Schmelzhypomineralisationen. Nachweislich werden kariöse Läsionen bzw. Metabolite der Kariesbakterien mit Fluoreszenz dargestellt. So kann bei Ausschluss einer Karies ein hypomineralisierter Schmelz angenommen werden. Der hohe Proteingehalt und die Lichtstreuung durch die unregelmäßige Ultrastruktur des Schmelzes scheinen für diese Annahme grundlegend zu sein [67].

2.4.3 Beschreibung der Therapie strukturiert nach dem Treatment-Need-Index

Obwohl ein dringender und frühzeitiger Behandlungsbedarf besteht, sind therapeutische Maßnahmen zur adäquaten Behandlung der MIH heutzutage nach wie vor eine Herausforderung für Zahnärzte. Neben einer Vielzahl von Behandlungsmöglichkeiten ist bereits die Diagnostik für viele Zahnmediziner schwierig [117].

Um die Therapieoptionen und eine adäquate Behandlung der MIH zu vereinfachen, haben Bekes et al. (2016) [19,218], Mathu-Muju und Wright [160] und Lygidakis et al. [150] Therapieentscheidungsdiagramme und den Treatment-Need-Index (TNI) entwickelt. Der TNI stützt sich auf internationale Standards und wurde für epidemiologische Studien, individuelle Befunderhebungen und Therapieplanungen konzipiert. Im Folgenden wird der TNI dargestellt und erklärt (Tabelle 8 und Tabelle 9, S. 21). Das Konzept wurde aufgrund aktueller Forschungsergebnisse hinsichtlich neuer Therapiemöglichkeiten aktualisiert und überarbeitet (Stand 2023, [21]).

Tabelle 8: MIH-TNI, Teil 1: Befunderhebung nach Bekes et al. (2016) [218]; Kategorisierung durch 0 bis 4 Indexpunkte mit Untergruppierung der Indexpunkte 2 und 4

Index	Definition
0	keine MIH, klinisch gesund
1	MIH ohne Hypersensibilität, kein Substanzdefekt
2	MIH ohne Hypersensibilität, mit Substanzdefekt
2a	$< \frac{1}{3}$ Defektausdehnung
2b	$> \frac{1}{3}$ Defektausdehnung $< \frac{2}{3}$ Defektausdehnung
2c	$> \frac{2}{3}$ Defektausdehnung (und/oder pulpennaher Defekt oder Extraktion oder atypische Restauration)
3	MIH mit Hypersensibilität, ohne Substanzdefekt
4	MIH mit Hypersensibilität, mit Substanzdefekt
4a	$< \frac{1}{3}$ Defektausdehnung
4b	$> \frac{1}{3}$ Defektausdehnung $< \frac{2}{3}$ Defektausdehnung
4c	$> \frac{2}{3}$ Defektausdehnung (und/oder pulpennaher Defekt oder Extraktion oder atypische Restauration)

Tabelle 9: MIH-TNI, Therapieschema, Teil 2: Therapieplanung; Kategorisierung der Therapieoptionen von A bis F mit Unterpunkten in Abhängigkeit des TNI-Index; TCP = Tricalciumphosphat, CCP-ACP = Casein-Phosphopeptid amorphes Calciumphosphat, F = Fluorid, FV = Fissurenversiegelung, GIZ = Glasionomerzement, SDF = Silberdiaminfluorid, SSC = stainless steel crown (konfektionierte Stahlkrone), Therapieoptionen für Frontzähne rot markiert, für Seitenzähne grün markiert, Therapieoptionen A gelten sowohl für Front- als auch für Seitenzähne (blau)

Therapie	MIH-TNI-1	MIH-TNI-2	MIH-TNI-3	MIH-TNI-4
A Prophylaxe/Regeneration A1 (at home) Fluoride, TCP, CCP-ACP A2 (in-office) Fluoridlack	A1 und A2			
B Nicht-invasive Therapie B1 FV (Adhäsiv + Sealer oder Komposit) B2 GIZ niedrigviskös B3 Bleaching B4 Mikroabrasion B5 Infiltration B6 "Etch-bleach-seal"	B3 bis B6 (einzeln oder kombi- niert)	B3 bis B6 (einzeln oder kombi- niert)	B3 bis B6 (einzeln oder kombi- niert)	B3 bis B6 (einzeln oder kombi- niert)
	B1 oder B2	TNI 2a: B1 oder B2 (Substanz- verlust nicht in Fissur)	B1 oder B2	TNI 4a: B1 oder B2 (Substanz- verlust nicht in Fissur)
C Provisorische Therapie (kurzfristig) C1 GIZ C2 GIZ + Orthoband C3 SDF plus GIZ C4 SDF		TNI 2a/2b/2c: C1 oder C2, C3 oder C4 (keine Ko- operation, Karies)		TNI 4a/4b/4c: C1 oder C2, C3 oder C4 (keine Ko- operation, Karies)
D Provisorische Therapie (langfristig) D Krone (SSC, Zirkonkrone)		TNI 2a/2b/2c D		TNI 4a/4b/4c D
E Definitive Therapie E1 Direkte Restauration (Komposit) E2 Indirekte Restauration	E1 oder E2	E1 oder E2	E1 oder E2	E1 oder E2
		TNI 2a/2b/2c: E1 oder E2		TNI 4a/4b/4c: E1 oder E2
F Extraktion		TNI 2c: F		TNI 4c: F

Hypersensibilität und Anästhesie

Ein schwerwiegendes Leitsymptom der MIH ist in vielen Fällen die Hypersensibilität, die trotz Leitungsanästhesie eine Behandlung aufgrund der enormen Schmerzempfindlichkeit häufig erschwert. Nahe der Schmelz-Dentin-Grenze, aber auch direkt in den Dentintubuli konnten Bakterien nachgewiesen werden, die Entzündungsreaktionen der Pulpa und die Bildung von Reparaturdentin provozieren können. Die Bakterien scheinen die poröse und desorganisierte Prismenstruktur des Schmelzes zu durchdringen und sind möglicherweise für die Hypersensibilität verantwortlich [62,63]. Eine Behandlung der hypersensiblen Zähne kann mit Propylaxemaßnahmen der Therapieoptionen A (siehe unten) oder einer Infiltrationstherapie (Therapieoption B, Infiltration S. 28 ff.) erfolgen.

Nach Steffen et al. (2011) kann eine bessere Wirkung der Lokalanästhesie durch eine Prämedikation erzielt werden. Hierzu eignen sich Mono-Paracetamol-, Ibuprofen- und Metamizolpräparate [217]. Auch die computergestützte intraossäre Anästhesie scheint für erfahrene Zahnärzte eine wirkungsvolle Alternative zu sein [28].

Behandlungängste sind in diesem Zusammenhang ebenfalls häufig zu beobachten [74]. Lachgassedierungen und Sanierungen während einer Intubationsnarkose können ebenso sinnvoll sein [217].

Therapie A: Prophylaxe und Regeneration

Verfärbungen oder Opazitäten im Seiten- oder Frontzahnbereich, die gegebenenfalls mit Hypersensibilitäten einhergehen, können mit speziellen Kalziumpräparaten auf Grundlage von Casein-Phosphopeptid amorphem Calciumphosphat (CPP-ACP) wie GC MI-Paste oder GC Tooth-Mousse (beides Fa. GC, Bad Homburg) behandelt werden, die lokal auf die betroffenen Zähne appliziert werden und die Remineralisation und Apatitbildung fördern. Bei diesem Vorgang fungiert der Komplex aus CPP-ACP als Kalzium-Reservoir und vermindert die Kalziumfreisetzung aus der Zahnhartsubstanz [40,161,200]. In der Studie von Baroni et al. (2010) zeigte sich eine eindeutige Verbesserung der ultrastrukturellen Organisation des Schmelzes hinsichtlich der Porositäten und Prismenstruktur durch die Anwendung von CPP-ACP [16]. Eine In-vitro-Studie mit 0,95 % NaOCl-Vorbehandlung und CPP-ACP-Applikation konnte eine deutliche Mineralisationssteigerung in nur 14 Tagen nachweisen [40]. Auch Fluoridapplikationen können bei milden Schweregraden protektiv eingesetzt werden [160]. Die Behandlung kann zu Hause vom Patienten selbst (A1) oder in der Zahnarztpraxis in Form eines Lacks (A2) durchgeführt werden. Letzteres wird nach

Toumba et al. (2019) zwei bis viermal jährlich, abhängig vom Kariesrisiko, empfohlen [223].

Therapie B: Nicht-invasive Therapie

Bei dieser Therapieempfehlung wird zwischen Fissurenversiegelung (Adhäsiv + Sealer oder Komposit, B1), Sealing mithilfe von niedrigviskösem Glasionomermaterial (GIZ; B2), Bleaching (B3), Mikroabrasion (B4), Infiltration (B5) und „Etch-bleach-seal“-Technik (B6) unterschieden. Entscheidend für die Materialauswahl war das Alter des Patienten sowie der Status des Zahndurchbruchs. Ästhetisch beeinträchtigte Frontzähne können mit Mikroabrasion, Infiltrationstherapie und der „Etch-bleach-seal“-Technik behandelt werden, während das Bleaching nur bei Erwachsenen angewendet werden soll [8,22,84,156,195]. Eine Kombination der Therapieoptionen ist ebenfalls möglich.

Bei der Behandlung mittels Mikroabrasion werden starke Verfärbungen und Ablagerungen mithilfe schwacher Säure und Bimsstein entfernt. Im Hinblick auf die Frontzahnästhetik sind vielversprechende Erfolge erzielt worden [207]. Auch die Infiltrationsmethode kann optische Maskierungen bei milden MIH-Formen im Frontzahnbereich bewirken [8,156]. Die „Etch-bleach-seal“-Technik findet vor allem Anwendung bei gelb-braunen Farbveränderungen. Nach einer ausgiebigen Reinigung des Zahnes kann mittels Ätzverfahren (Phosphorsäure 37 %), NaOCl 5 % - Anwendung und Sealing die Frontzahnästhetik verbessert werden [195].

Therapie C: Provisorische Therapie (kurzfristig)

Bei noch nicht ganz durchgebrochenen MIH-Zähnen kann zunächst eine Versorgung mit Glasionomermaterial vorgenommen werden, bevor der Zahn nach vollständigem Durchbruch mit einer adäquaten Füllungstherapie versehen werden kann. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass der MIH-Zahn vor Feuchtigkeit isoliert und die GIZ-Füllung zur Unterfüllung reduziert werden kann [131]. Die Therapieempfehlung gliedert sich in die Behandlung mit reiner GIZ-Versorgung (C1), GIZ-Versorgung plus Orthobond (C2), Silberdiaminfluorid (SDF = silver diamine fluoride) plus GIZ (C3) und reiner SDF Therapie (C4) [13,206].

Therapie D: Provisorische Therapie (langfristig)

Für die langfristige provisorische Versorgung wird eine konfektionierte Metallkrone (D) verwendet. Gaardmand et al. (2013) beschreiben eine Untersuchungsdauer von 38,6 Monaten mit sehr guten Erfolgen (98,2 %) bei einer minimal invasiven Behandlung mit gegossenen Metallkronen (CAC, cast adhesive coping) [73]. Diese Methode sei nach Zagdwon et al. (2003) zwar kostenintensiver, aber in der Passgenauigkeit und Präparationsform den vorgefertigten Metallkronen überlegen [236]. Neuere Untersuchungen nach Donly et al. (2018) zeigen auch nach einer 24-monatigen Verlaufskontrolle ebenso gute Resultate bei der Versorgung mittels Zirkonkrone [47].

Therapie E: Definitive Therapie

Die poröse Struktur des Zahnschmelzes, die eine erhöhte Plaqueakkumulation und möglicherweise das Eindringen von Bakterien fördert, ist ein weiteres Problem [63]. In einer Studie von Jälevik et al. (2005) wird eine möglichst vollständige Präparation des hypomineralisierten Schmelzes gefordert, um eine gute Verbundfestigkeit einer Restauration aufgrund des mangelnden Ätzprofils zu garantieren [103]. So können mit 5,25 %iger NaOCl-Lösung als Vorbehandlung und durch veränderte Ätzzeiten die Adhäsivsysteme mit Kompositrestaurationen wirksamer angewendet werden [24]. Bei den Bonding-Produkten sind laut William et al. (2006) bei hypomineralisiertem Schmelz die Self-Etch-Systeme gegenüber den Total-Etch-Systemen zu bevorzugen. Ein Grund ist die unzureichende mikromechanische Haftung in Form von „tags“ [231].

Studien belegen, dass durch eine Infiltration eines MIH-Zahnes bessere adhäsive Haftwerte erzielt werden können [33,38].

Insgesamt ist das Risiko eines Füllungsverlustes, Zahnfrakturen zu erleiden oder Sekundärkaries zu bekommen hoch, sodass die Kinder zehnmal häufiger zum Zahnarzt einbestellt werden und restaurative Maßnahmen öfter korrigiert bzw. erneuert werden müssen als bei Kindern ohne MIH [59,104,129]. In einer anderen Studie ist die Rede von sechsmal häufigeren Zahnarztbesuchen [85]. Die Therapieempfehlung gliedert sich in direkte Restaurationen mithilfe von Komposit (E1) und indirekten Restaurationen (E2).

Therapie F: Extraktion

Die Extraktion sollte das letzte Mittel der Wahl bleiben. Sie könnte laut EAPD-Guidelines (2021) bei Pulpitis oder Abszessbildung eines Sechsjahrmolaren indiziert sein [149]. Nach Elhussein et al. (2020) kann bei unzureichender oraler Mundhygiene, mangelnder

Compliance des Patienten und bei Ausschluss von Nichtanlagen eine Extraktion mit anschließender kieferorthopädischer Behandlung sinnvoll sein [59]. Studien zeigen, dass bei einem gut abgepassten Extraktionszeitpunkt (Oberkiefer (OK) vor 10,5 Jahren; Unterkiefer (UK) mit 8-11,5 Jahren [49,205]) oder bei schweren Defekten [162] vielversprechende Erfolge bei einem kieferorthopädisch bedingten Lückenschluss erzielt werden können [105].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Behandlung eines MIH-Zahnes zunächst durch das Ausmaß des Schweregrades (Defektgröße) und dem Zustand des Zahndurchbruchs beschränkt sowie zudem abhängig vom Alter und von der Kooperationsbereitschaft des Kindes und der Eltern sind. Engmaschige Recalls und eine konsequente sowie gute Mundhygiene sind anzustreben.

2.5 Therapieansatz zur Stabilisierung der MIH-Struktur

Die Behandlung MIH-erkrankter Zähne wird durch die poröse Struktur der Zahnhartsubstanz und der damit verbundenen geringen mechanischen Belastbarkeit massiv erschwert [62,153]. Darüber hinaus ist die therapeutische Versorgung mit Adhäsivmaterialien ebenfalls beeinträchtigt [33,130].

Infiltrationsbehandlungen sind in der Kariestherapie seit Langem etabliert und dienen dort der Maskierung von „white spot lesions“. Es handelt sich hierbei um weiß-opake demineralisierte Schmelzbereiche ohne Kavitätenbildung (Initialkaries). Weiterhin dient die Infiltrationstherapie der Kariesarretierung durch Blockierung der Nährstoffzufuhr für Kariesbakterien [119,182,183]. Bei der Behandlung von MIH-Zähnen kann diese Methode nicht nur zur Maskierung leichter opaker Verfärbungen angewandt werden, sondern auch zur Stabilisierung der Hartsubstanz und zur besseren adhäsiven Versorgung mit Restaurationsmaterialien [22,38,137,174]. Therapeutische Maßnahmen haben auf diese Weise eine höhere Erfolgsaussicht hinsichtlich drohender Schmelzeinbrüche [174].

2.5.1 Histologie

Die Histologie eines MIH-Zahnes weist besondere Strukturmerkmale auf. Im Unterschied zu einem regelrechten, normalen Aufbau der Zahnhartsubstanz beziehen sich diese Merkmale vor allem auf die mechanische Beanspruchung (Härte, Porosität),

die chemische Zusammensetzung (Mineral- und Proteingehalt) und die Ultrastruktur [39].

Struktureller Aufbau

In Bereichen organisierter Zahnhartsubstanz zeigt ein MIH-Zahn die gleichen ultrastrukturellen Gegebenheiten wie ein gesunder Zahn [103]. Diese Beobachtung gilt vor allem für die Zahnhalsregion [69], wo die Schmelzprismen dicht gepackt und gleichmäßig verteilt sind. Die Ultrastruktur der betroffenen Schmelzbereiche zeigt hingegen auffällig verbreiterte Prismengrenzen mit weiten interprismatischen Zonen, schmalen Schmelzstäbchen, ungeordneten Kristallen, strukturellen Hohlräumen und eine strukturlose Oberfläche [16,62,103,220,234]. Im Dentin ist das Interglobulardentin im zirkumpulpalen Bereich nachweisbar [94]. Die Defektausrichtung verläuft entlang der Retzius-Linien [69]. Es kann daher angenommen werden, dass die vorhandene Grundstruktur des Schmelzes lediglich auf eine entwicklungsbedingt gestörte Schmelzreifung durch die Ameloblasten schließen lässt [103].

Die Übergangszone zwischen gesunden und opaken Bereichen ist deutlich und verläuft in Richtung der regulären Prismenausrichtung. Sie zeigt ebenfalls strukturelle Auffälligkeiten. Diese Bereiche sind zwar weniger diffus, es zeigen sich aber dennoch ultrastrukturelle Veränderungen, wie eine Reduktion der Menge an Apatitkristallen und der Verlust des Zusammenhalts der Prismen durch die Prismenscheiden [32].

In Zusammenhang mit der Farbveränderung des Zahnes konnte festgestellt werden, dass die gelb-bräunlichen Veränderungen poröser sind und den gesamten Schmelz durchziehen, die weißlichen Opazitäten hingegen lassen sich nur im Schmelzinneren erkennen [65].

Mineralgehalt und -dichte

Die Mineraleichte von MIH-Zähnen verhält sich konträr zu gesunden Zähnen, bei denen die Dichte von der Schmelz-Zement-Grenze zu den Höckerspitzen zunimmt. In den hypomineralisierten Bereichen sinkt die Dichte zunächst auf das Niveau der Okklusalregion ab, steigt aber zu den Höckerspitzen wieder an. Die höchsten Werte für die Mineraleichte werden bei MIH-Zähnen an der Schmelz-Dentin-Grenze erreicht. Während diese Werte zur äußeren Schmelzhälfte abnehmen, bleibt die Mineraleichte bei gesundem Schmelz in diesem Bereich stabil. Insgesamt ist die Mineraleichte bei MIH-Zähnen um 19 % geringer als bei gesunden Zähnen [69].

MIH-Zähne verfügen über einen erhöhten Protein-, Carbonat- und verminderten Mineralgehalt [220]. Nach Farah et al. (2010) ist die Proteinmenge abhängig vom Schweregrad des MIH-Zahnes. In braun verfärbten Zahnarealen ist der Proteingehalt 15-21-fach erhöht, in gelblich oder weißlich veränderten Bereichen ist dieser um das 8-Fache erhöht [68]. Auch umgekehrt kann von der Farbveränderung des MIH-Zahnes, die mit Laserfluoreszenz oder visuell ermittelt wurde, auf den Schweregrad bzw. seine Mineraleichte geschlossen werden [66].

In gelben und braunen Schmelzarealen sind besonders die Serumproteine Albumin, Antitrypsin und Antithrombin zu finden. Vor allem die Albumine hemmen das Kristallwachstum und verändern die Prismenstruktur in der Entwicklung des Schmelzes [68].

Auf der Oberfläche eines MIH-Zahnes finden sich besondere Protein-zusammensetzungen. Während in den Oberflächen mit Schmelzeinbrüchen vor allem Hämoglobin nachgewiesen wird, zeigt eine intakte Oberfläche einen hohen Albumingehalt. Die Menge an nachweisbarem Amelogenin ist in MIH-Zähnen mit durchschnittlichen Werten gesunder Zähne vergleichbar und grenzt sich somit von Erkrankungsbildern wie einer Amelogenesis imperfecta oder der Fluorose ab, bei denen erhöhte Restamelogenin-Werte messbar sind [154].

Der Mineralgehalt des Schmelzes ist reduziert und zeigt durchschnittliche Werte um 58,8 Vol.-% Mineral. MIH-Läsionen zeigen überwiegend Porositäten von < 5 %, aber auch Areale mit Werten > 25 % und höhere Carbonatgehalte konnten nachgewiesen werden [41]. Nach Mahoney et al. (2003) ist die Rede von einem 5 %igen Mineralverlust im Schmelz [153] und nach Fearne et al. (2004) ist die mineralische Konzentration um bis zu 20 % reduziert [70]. Insgesamt sind der Kalzium- (Ca) und Phosphorgehalt (P) und das Kalzium-Phosphor-Verhältnis deutlich vermindert, der Carbonatgehalt und die Werte für Fluorid, Magnesium und Kalium vor allem in Richtung Zahnoberfläche jedoch sichtlich erhöht. Chlor und Strontium scheinen keine Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften zu haben [108].

Die Mineralwerte des Dentins von MIH-Zähnen unterscheiden sich von denen des gesunden Dentins. Unterhalb hypomineralisierter Bereiche zeigen sich erhöhte Werte für Kalzium, Sauerstoff (O), Phosphor, Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N). Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis ist mit dem normalen Dentins vergleichbar. Das Kalzium-Kohlenstoff-Verhältnis hingegen ist jedoch deutlich vermindert [94].

Bei hypomineralisierten Milchmolaren ist die Mineraleichte des Schmelzes um 20–22 % vermindert. Dieser ermittelte Anteil gilt jedoch nur für gelbliche und bräunliche Farbveränderungen. Weißliche Opazitäten zeigen Werte wie gesunder Zahnschmelz [53].

Die Härte und der E-Modul hypomineralisierter Zahnareale in Sechsjahrmolaren zeigen signifikant geringere Werte als gesunder Zahnschmelz [62]. In zervikalem Schmelz sind die Werte mit gesunder Zahnhartsubstanz vergleichbar [151].

Der strukturelle Aufbau eines MIH-Zahnes gleicht grundsätzlich dem eines gesunden Zahnes, jedoch ist der ultrastrukturelle Aufbau deutlich desorganisierter, der Mineralgehalt vermindert und der Proteingehalt erhöht. Aus diesem Grund ist die mechanische Belastbarkeit reduziert und eine konservative therapeutische Versorgung der Zähne ungenügend. Weitere Studien sind erforderlich, um neue Möglichkeiten für die positive Beeinflussung histologischer Gegebenheiten zu finden.

2.5.2 Infiltration

Klassischerweise können initial kariöse Schmelzläsionen, wie beispielsweise white spot lesions, mit einer Infiltrationstherapie maskiert werden, indem ein niedrigvisköser Kunststoff nach einer Vorbehandlung des Zahnes nach Herstellerangaben infiltriert wird. In der Folge werden die Porositäten in einer Läsion gefüllt und die Nährstoffzufuhr für Karies verursachende Bakterien kommt zum Erliegen. Die Karies sistiert folglich [119]. In diesem Zusammenhang werden in der Literatur zahlreiche Infiltrationsstudien beschrieben, allen voran die Ergebnisse der Arbeitsgruppe von Paris und Meyer-Lückel. Hier sind Infiltrationstiefen bis zur Dentingrenze gemessen worden [165,182,183,188,221].

Auch für die Praxis liefert dieser Therapieansatz als non-invasive Therapieform der MIH vielversprechende Ergebnisse. Die Behandlungsmöglichkeiten sind vielseitig und liegen in der Maskierung störender optischer Opazitäten im Frontzahnbereich [8,156] mit einer Verbesserung der Lebensqualität der Patienten [199], der Reduzierung von Hypersensibilitäten [170] und einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften eines MIH-Zahnes [174].

Die optische Maskierung oberflächlicher, milder Formen der MIH konnte in zahlreichen Studien sehr gute ästhetische Resultate für Frontzähne liefern [8,22,50,156]. Auch die Langzeitstabilität des Ergebnisses konnte nach Altan und Yilmaz (2020) mit einer 6-monatigen Verlaufskontrolle als stabil angenommen werden [8]. Cazolla et al. (2018) beschreiben sogar eine 4-jährige Verlaufsstabilität [30].

Grund für die optische Veränderung der Opazität ist der Brechungsindex. Während hypomineralisierter Schmelz im Gegensatz zu gesundem Schmelz (Brechungsindex 1,62) einen Brechungsindex von 1,33 aufweist, erhöht sich dieser nach einer

Infiltrationsbehandlung bis zu einem Wert von 1,52. Hintergrund ist der ähnliche Brechungsindex von Kunststoff und dem von gesundem Schmelz [89].

Bei schwerwiegenden MIH-Formen mit gelb-braunen Farbveränderungen ist nach Marouane et al. (2020) keine 100 %ige Erfolgsgarantie der Infiltrationsmethode gegeben [155]. So beschreiben Prud'homme et al. (2017) in diesen Fällen bessere Ergebnisse mit der „Etch-bleach-seal“Technik [195]. Auch nach Attal et al. (2014) können ästhetische Verbesserungen bei schwerwiegenden MIH-Fällen eher mit einer Tiefeninfiltration erreicht werden, weil hypomineralisierte Bereiche an der Schmelz-Dentin-Grenze beginnen und im Gegensatz zu milden MIH-Formen den gesamten Schmelz bis zur Zahnoberfläche durchziehen. Bei dieser Behandlungsmethode kommt es vor der eigentlichen Infiltration zu einem leichten Substanzabtrag der Schmelzoberfläche [12].

Der Studie von Crombie et al. (2014) zufolge ist eine Infiltration mithilfe von ICON (Fa. DMG) möglich, ihre Untersuchungen zeigten jedoch unregelmäßigere und variabelere Ergebnisse als bei der klassischen Kariesinfiltration. Die Härte in hypomineralisierten Bereichen stieg nur unwesentlich [38].

Horzutepe und Baseren (2017) konnten hingegen zeigen, dass die Mikrohärtigkeit eines MIH-Zahnes nach einer Infiltrationsbehandlung anstieg. Das Ergebnis war unabhängig davon, ob im Vorwege eine Vorbehandlung mittels Bleaching stattgefunden hat oder nicht. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass ein vorangegangenes Bleaching zu einer optischen Farbveränderung führte, jedoch einen negativen Penetrationseinfluss des Infiltranten zeigte [99].

Der Anstieg der Mikrohärtigkeit durch die Infiltrationstherapie und der damit verbundenen verbesserten mechanischen Eigenschaften eines MIH-Zahnes können nach Nogueira et al. (2021) das Risiko eines posteruptiven Schmelzeinbruchs vermindern. Dieses Risiko ist deutlich geringer gegenüber der Anwendung eines Fluoridlacks oder eines Fluoridlacks in Kombination mit Ätztechnik (Phosphorsäure 37 %). Die Versagensrate bezüglich eines posteruptiven Schmelzeinbruchs lag für die Behandlung mit einem Fluoridlack bei 17,9 %, für die Kombination aus Fluoridlack und Ätztechnik bei 17,3 % und für die reine Infiltrationsmethode bei 6,1 %. In der Studie erfolgte eine 18-monatige Verlaufskontrolle [174].

Eine weitere Studie von Gandhi et al. (2012) beschäftigte sich mit der chemischen Vorbehandlung (Deproteinierung) eines MIH-Zahnes und einer mikroskopischen Darstellung der Infiltrationstiefe in Form von tags eines Fissurenversieglers (Abbildung 7, S. 30). Es wurden verschiedene „tag-Typen“ (Gruppen A bis D und X) für eine Interpretation herangezogen. Die Vorbehandlungen wurden mit der konventionellen Ätztechnik, der Ätztechnik plus NaOCl 5 %-Vorbehandlung oder nur mit der NaOCl 5 %-

Vorbehandlung durchgeführt. Keine dieser Methoden ergab ein befriedigendes Ergebnis der tag-Formation, denn im Schnitt waren jeweils 50 % der Resultate der Klasse D der tag-Typen zuzuordnen [74].

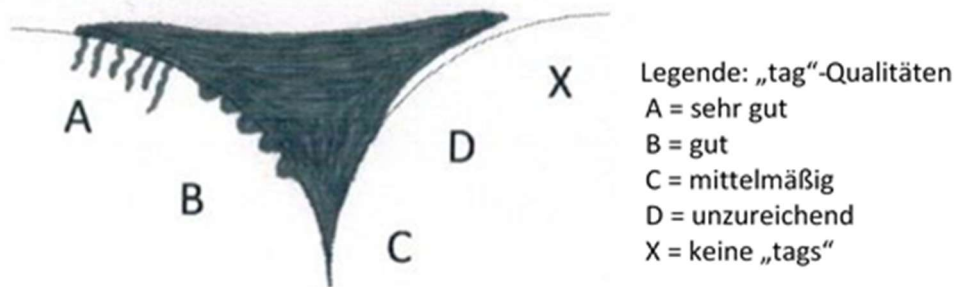


Abbildung 7: tag-Typen nach Gandhi et al. (2012) [74]

Mit dem Thema Infiltration beschäftigten sich auch Natarajan et al. (2015) in einer In-vitro-Untersuchung mithilfe der Spektroskopie. Nach Natarajan ist ohne eine Deproteinierung des Defekts eine Infiltration kaum bis gar nicht möglich. In der Studie wurden Vorbehandlungen mit 15 % HCl, mit 15 % HCl gefolgt von 5 % NaOCl, mit 5 % NaOCl gefolgt von 15 % HCl sowie mit 30 % H₂O₂ und 15 % HCl getestet. Die überzeugendsten Resultate bezüglich Infiltrationstiefen wurden mit letzterem Verfahren (30 % H₂O₂ und 15 % HCl) erzielt. Eine therapeutische Versorgung des Zahnes kann auf diese Weise effizienter erfolgen [171].

Im Adhäsionsversuch von Chay et al. (2013) wurde hypomineralisierter Schmelz mit unterschiedlichen Vorbehandlungen getestet. Signifikante Ergebnisse in Bezug auf die Scherhaftung konnten in der Gruppe mit NaOCl 5,25 %-Vorbehandlung mit oder ohne ICON-Infiltration festgestellt werden. Die reine ICON-Infiltration führte zu keiner nachweisbaren Verbesserung der Adhäsion [33].

Auch die Studie von Krämer et al. (2017) konnte keine nachweisbaren Vorteile in Bezug auf verbesserte Schmelzhaftwerte in der Adhäsivtechnik mit NaOCl-Vorbehandlung und ICON-Infiltration liefern [130].

Die Hypersensibilität hingegen lässt sich mit einer modifizierten Infiltrationsmethode deutlich reduzieren. Alle Patienten der Studie von Murri Dello Diago et al. (2021) beschrieben eine geringere Hypersensibilität, auch zwölf Monate nach der Anwendung. Die Modifikation der ICON-Infiltration bestand in dem Austausch der Säure (Phosphorsäure statt HCl). Die Hypersensibilitätstests wurden mit Eiscreme und kalter Luft stimuliert. Die Mundhygienesituation verbesserte sich zudem deutlich [170].

Hinsichtlich der Infiltrationstherapie bei Milchmolaren konnten Paris et al. (2011) zeigen, dass eine bessere Penetrationstiefe bei verlängerter Applikationszeit (mindestens 3 Minuten) des Infiltranten erreicht wird [184].

Dies gilt auch für MIH-Läsionen der Frontzähne. Marouane et al. (2021) konnten in einem In-vivo-Versuch zeigen, dass der Läsionstyp eines MIH-Zahnes und der „Ethanol-Test“ ein Prädiktor für die Applikationszeit und den Erfolg einer ästhetischen Infiltrationsbehandlung sind. Homogene Opazitäten mit positivem „Ethanol-Test“ (Opazität geringer oder nicht mehr sichtbar nach Ethanolapplikation) brauchen eine geringere Applikationszeit des Infiltranten gegenüber heterogenen Opazitäten mit negativem „Ethanol-Test“ (Opazität nach Ethanolapplikation unverändert) [156].

Die Studienlage zeigt, dass eine Infiltrationstherapie an MIH-Zähnen vielversprechend ist und in den vergangenen 10 Jahren viele Studien zu diesem Thema durchgeführt wurden. Trotz der zahlreichen Studien mit positiven Ergebnissen hinsichtlich der Infiltrationstherapie, gibt es einige Studien, die unzureichende Resultate bei dieser Behandlungsmethode darstellen konnten. Aus diesem Grund sind zukünftig weitere Untersuchungen in diese Richtung sinnvoll.

3. Zielsetzung und Nullhypothesen der epidemiologischen Studie und der In-vitro-Studie

Gegenstand dieser Arbeit ist die Darstellung der Prävalenzentwicklung im Lahn-Dill-Kreis (LDK) über zwölf Jahre sowie ein Stadt-Land-Vergleich (Teil 1).

Zudem wird mit einer modifizierten Infiltrationsmethode nach ICON (Fa. DMG, Hamburg) das Eindringen von Kunststoff in MIH-Zähne untersucht (Teil 2), um die strukturellen Besonderheiten der fehlstrukturierten Zähne im Vergleich zu initialkariösen Zähnen darzustellen.

3.1 Nullhypothesen der epidemiologischen Studie

1. Es bestehen keine Unterschiede zur Häufigkeit der MIH in den einzelnen Altersstufen.
2. Es bestehen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Zusammenhang mit MIH.
3. Die individuelle MIH-Prävalenz wird durch die individuelle Kariesprävalenz nicht beeinflusst.
4. Die Verteilung des Schweregrades der MIH macht keinen Unterschied bezüglich ländlicher und städtischer Herkunft.
5. Die Prävalenz der MIH im LDK hat sich über einen Zeitraum von zwölf Jahren nicht verändert (2002/03-2014/15).
6. Die Verteilung des Schweregrades der MIH im LDK hat sich über einen Zeitraum von zwölf Jahren nicht verändert (2002/03-2014/15).
7. Es besteht kein Unterschied zu nationalen oder internationalen Erhebungen zur Prävalenz und Lokalisation der MIH/MMH.

3.2 Nullhypothese der In-vitro-Studie

1. Die Infiltrationstherapie an MIH-Zähnen erreicht die gleichen optischen Effekte wie an initialkariösen Zähnen.

4. Material und Methode

4.1 Rechtliche und ethische Grundlagen

Die Gesetzgebung des Bundeslandes Hessen (Kapitel 13.1, S. 116 ff.) erlaubt jährliche schulzahnärztliche Vorsorgeuntersuchungen durch den öffentlichen Gesundheitsdienst. In diesem Zusammenhang wurden die Daten für die Studie im Schuljahr 2014/15 erhoben.

Die Schulleitung, die Schüler und die Erziehungsberechtigten wurden über den Besuch der Schulzahnärzte des öffentlichen Gesundheitsdienstes in üblicher Form von den jeweiligen Schulen informiert. Aufgrund der Gesetzgebungsformulierung zur Durchführung der Untersuchungen war keine weitere Einverständniserklärung der Eltern notwendig. Die erhobenen Daten wurden nach Beendigung der Vorsorgeuntersuchung durch das jeweilige Gesundheitsamt (Herborn und Frankfurt am Main) anonymisiert zur Verfügung gestellt.

Weiterhin lag ein positives Votum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen für die wissenschaftliche Untersuchung im Rahmen der kinderzahnärztlichen Versorgungsforschung vor (AZ 190/14). Hierzu wurde ein Handbuch zur Vorstellung der Untersuchungen inklusive des Ablaufs, des Themas und der Kriterien erstellt (Handbuch auf CD im Anhang verfügbar).

4.2 Biometrie

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Statistik der Justus-Liebig-Universität Gießen wurde sowohl für den Lahn-Dill-Kreis (LDK) als auch für die Stadt Frankfurt am Main (Ffm) eine Fallzahlschätzung für die Datenerhebung durchgeführt. Bei der Stichprobenziehung handelte es sich nicht um dieselben Schulen wie 2002/03, dennoch um dieselbe Region und die ungefähre Anzahl der Probanden. Es wurde jeweils eine weitere Schule pro Region bestimmt, um eine eventuell hohe Drop-out-Quote der Teilnehmer auszugleichen.

Nach Angaben des Amtes für Gesundheit in Herborn, Abteilung Zahnärztlicher Dienst, sind in den durch die statistische Stichprobenziehung erfassten Schulen 1.114 Kinder dokumentiert. In Frankfurt am Main wurden, um etwa die gleiche Anzahl Kinder für einen Stadt-Land-Vergleich gegenüberstellen zu können, 1.167 Kinder ausgewählt (Angaben vom Amt für Gesundheit, Abteilung Jugendzahnärztlicher Dienst).

Darüber hinaus erfolgte eine statistische Beratung und Auswertung durch das Institut für Medizinische Statistik in Gießen bezüglich des Datensatzes von 2014/15 und der

Vergleichbarkeit der Daten mit denen der Studie von Preusser et al. (2007) in den Untersuchungsjahren 2002/03 [194]. Hierfür wurde das Programm SAS 9.3 (SAS Institute, Cary, NC, USA) verwendet.

4.3 Untersucherkalibrierung

Die Untersucherkalibrierung wurde in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der erste Teil bezog sich auf das Thema Karies, der zweite Teil auf das Thema MIH. Die Kalibrierung fand an zwei Terminen statt.

Die Kalibrierung zur Einschätzung einer Karies (Angabe mittels DMF-T/dmf-t) basierte auf einer neuen Onlineplattform im Rahmen der DAJ-Studie (Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e. V.) von 2016 [17,124]. Beteiligt waren 482 deutsche Zahnärzte, darunter auch die Zahnärzte dieser Studie. Die Kalibrierung setzte sich aus einem theoretischen Teil, einem praktischen Abschnitt mit klinischen Bildern (25 zufällig ausgewählte Bilder aus einem Pool von 55 Bildern) und der Kalibrierung selbst zusammen. Die Kalibrierung ergab eine Inter-Untersucher-Übereinstimmung von $\kappa = 0,75$ im LDK und $\kappa = 0,65-0,9$ in Ffm. Dieses Ergebnis bedeutet nach Landis und Koch (1977) eine gute ($\kappa = 0,61-0,80$) bis sehr gute bzw. fast perfekte Übereinstimmungsquote ($\kappa = 0,81-1,00$) [143]. Eine Intra-Untersucher-Kalibrierung fand nicht statt.

Die Untersucherkalibrierung zum Thema MIH fand am 23.09.2014 in den Gruppenräumen des Gesundheitsamts der Stadt Frankfurt am Main statt. Es nahmen acht Zahnärzte des öffentlichen Gesundheitsdienstes aus Frankfurt am Main und dem Lahn-Dill-Kreis teil. Zunächst gab Prof. Dr. Dr. Norbert Krämer einen theoretischen Überblick (Studienaufbau, MIH, klinische Bilder, Untersuchung und Indizes) in Form einer 45-minütigen Power-Point-Präsentation. Die vorgetragenen Inhalte wurden anschließend in einer Übung mit 15 klinischen Bildern zur MIH vertieft und diskutiert. Hierbei fand der für die klinischen Untersuchungen erstellte Befundbogen Anwendung (siehe Anhang Abschnitt 13.2, S. 121). Die Einschätzung der Kalibrierung stützte sich auf die Auswertung der Fotografien. Fünf aufeinanderfolgende hochauflösende Fotografien mussten mit einer Übereinstimmungsquote von $> 90\%$ erkannt werden. Dieser Methode folgend wurde keine Intra-Untersucher-Kalibrierung vorgenommen.

4.4 Auswahl der Probanden

Untersuchungen im Lahn-Dill-Kreis wurden bereits 2002/03 von Preusser et al. (2007) durchgeführt, um einen Vergleich der Prävalenzdaten mit den erhobenen Daten von 2014/15 vornehmen zu können. Die Probandenzahl und die zu untersuchende Region orientierten sich an Preussers Studie. So wurden am Untersuchungstag 1.036 sechs- bis zwölfjährige Kinder an neun Schulen im LDK, Mittelhessen, untersucht. Darüber hinaus wurden 1.067 Kinder an fünf Schulen in Frankfurt am Main untersucht, um einen Stadt-Land-Vergleich durchführen zu können.

4.5 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien

Es wurden ausschließlich Kinder untersucht, die zum Untersuchungszeitpunkt der durch das Institut für Medizinische Statistik ausgewählten Schule angehörten oder im Untersuchungszeitraum dorthin wechselten und die sich zudem im Alter von sechs bis zwölf Jahren befanden und gesund waren.

Ausschlusskriterien

An der Studie durften keine Kinder teilnehmen, die nicht einer der ausgewählten Schulen angehörten, nachweisbar systemische Erkrankungen hatten oder nicht der Altersgruppe von sechs bis zwölf Jahren angehörten.

4.6 Untersuchungsablauf

Die an der Studie teilnehmenden Kinder wurden in von den Schulen bereitgestellten Räumen klinisch untersucht. Ihre Zähne hatten sie zu Hause geputzt. Es gab keine Angaben zur Zahnpflege in Hinblick auf Selbstständigkeit oder Unterstützung durch die Eltern. Für die Routineuntersuchung kamen Stirnlampe, Mundspiegel und zahnärztliche Sonde zur Anwendung. Die relative Trocknung der Zähne wurde in Ffm mit Gaze umwickelten Holzspateln und im LDK mit Watterollen erreicht. Die Inspektion durch die kalibrierten Untersucher sollte neben den allgemeinen Angaben (siehe Befunddokumentation, Abschnitt 4.7, S. 36 ff.) Auskunft über Zahnverlust im Zusammenhang mit MIH, Karies (DMF-T/dmf-t), Restaurationen und Strukturanomalien

der Zähne geben. Bei Vorliegen einer MIH wurde die Dokumentation um die Lokalität und deren Ausmaß bzw. Schweregrad erweitert. Im Anschluss an die Untersuchung erhielten die Kinder ein Informationsblatt für ihren Hauszahnarzt in Bezug auf eine eventuelle Behandlungsbedürftigkeit oder Prophylaxemaßnahme.

4.7 Befunddokumentation

Der Befundbogen wurde gegenüber der Dokumentation in Preussers Studie (2007) erheblich vereinfacht. Er war in einen allgemeinen Teil, einen speziellen Teil und einen Abschnitt zum Kariesbefund unterteilt. Die detaillierte Dokumentation des speziellen Teils fand nur bei Kindern mit MIH Anwendung. Von allen anderen Kindern lagen lediglich Informationen zum allgemeinen Teil und zum Kariesbefund vor.

Allgemeine Angaben

Die allgemeinen Angaben beinhalten Informationen zur Person, zur Schule, zur Herkunft und zum Vorliegen einer Fluorose (Abbildung 8). Die Angaben zur Person umfassen das Geschlecht und das Geburtsdatum. Auf diese Weise ließen sich geschlechtsspezifische und altersabhängige Unterschiede ermitteln. Bezüglich der Schulinformationen wurden lediglich die Schulnummer, die Klassenstufe sowie das Untersuchungsdatum erfragt, um eine Auswertung nach städtischer und ländlicher Herkunft vornehmen zu können. Darüber hinaus sollten Informationen zum Geburtsland Aufschluss über den Migrationshintergrund geben.

Prävalenz von MIH in Grundschulen (1.-4. Klasse):			
Schulnr.:	Klassenstufe:	Untersuchungsdatum:	
Geschlecht: m/w	Geb.Datum:	Alter:	ID-Nummer:
Geburtsort und Unters.ort identisch?: ja/nein		Geburtsort Dtl.: ja/nein/unbekannt	Land:
Fluorose: ja/nein			

Abbildung 8: Befunddokumentation: Allgemeine Angaben zur Person

Spezielle Angaben

Sofern eine MIH vorlag, wurden im speziellen Teil der Befunddokumentation (Abbildung 9, S. 38) tabellarisch Informationen zu Farbveränderungen, Substanzverlusten, zerstörten bzw. fehlenden Zähnen durch MIH, Sensibilitätsstörungen und atypischen Restaurationen zusammengetragen. Hierbei handelte es sich um die international gültigen Kriterien der EAPD von 2003 (siehe Abschnitt 2.3, S. 5; [225]).

Der Befundbogen enthält Angaben zu den vier Sechsjahrmolaren, den acht bleibenden Frontzähnen und den vier zweiten Milchmolaren. Die Okklusalflächen bei den Frontzähnen wurden geschwärzt, um Fehlerquellen durch falsche Eintragungen zu vermeiden.

Die Kriterien der EAPD zu den Punkten Farbveränderung, Substanzverlust und atypische Restaurationen beinhalten Angaben zu den einzelnen Zahnflächen (m = mesial, o = okklusal, d = distal, b = bukkal, p/l = palatinal/lingual). Außerdem war die Restaurationsart bzw. das Restaurationsmaterial zu vermerken. Zur Auswahl standen Kunststoff (KST), Zement (Zem), Amalgam (Am), Kronen (K) und Fissurenversiegelungen (V). Für die Beurteilung der Schweregrade einzelner Zähne und Zahnflächen wurden die EAPD-Kriterien (Farbveränderung, posteruptiver Schmelzeinbruch, atypische Restaurationen, fehlende Zähne durch MIH) mithilfe der Kriterien nach Wetzel und Reckel (1991) eingestuft (siehe Abschnitt 2.2, S. 3 ff.). Pro Zahn wurde der gravierendste Befund mit dem Buchstaben A (leicht), B (moderat) oder C (schwer) notiert und im Detail der jeweiligen Zahnfläche zugeordnet. Flächen, die nicht zu beurteilen waren, weil sie sich noch im Durchbruch befanden, wurden mit einer 9 markiert. Fehlende Zähne aufgrund von MIH wurden dem Schweregrad C zugeordnet.

	Farbe/ Veränderung (9:Fläche nicht beurteilbar)					Substanzen/ Verlust (Defekt ist nach Durchbruch entstanden)					Zerstörte/ fehlende Zähne (mit Defekt durchgebrochen)	Sensibilität (+/-)	Atypische Restaurationen (Kunststoff: KST; Zement: Zem; Amalgam: Am; Krone: K; Fissurenversiegelung: V)					
	m	o	d	b	p/l	m	o	d	b	p/l			m	o	d	b	p/l	Welche:
16																		
55																		
12																		
11																		
21																		
22																		
65																		
26																		
36																		
75																		
32																		
31																		
41																		
42																		
85																		
46																		
Σ																		

Abbildung 9: Befunddokumentation: Spezielle Angaben zum MIH-Befund

Kariesbefund

Der abschließende Teil des Befundbogens beschäftigte sich mit der Karieshistorie der Probanden (Abbildung 10, S. 39). Der Kariesbefund wurde auf Grundlage des international gültigen DMF-/dmf-Index ermittelt [124]. Er diente der Beurteilung einer Karieserfahrung im Milch- (dmf) und bleibendem Gebiss (DMF) im Zusammenhang mit zerstörten (D/d = decayed), fehlenden (M/m = missing) und gefüllten (F/f = filled) Zähnen. Der Karies-Index kann sowohl auf den Zahn selbst (DMF-T/dmf-t; teeth) als auch auf die Zahnfläche (DMF-S/dmf-s; surface) angewendet werden. Die Maximalwerte betragen 28 (DMF-T) und 128 (DMF-S) in der bleibenden Dentition und 20 (dmf-t) bzw. 88 (dmf-s) im Milchgebiss. Der Index setzt sich aus der Summe der einzelnen Faktoren zusammen

(DMF = D + M + F; dmf = d + m + f). Weisheitszähne bleiben grundsätzlich unberücksichtigt.

d		D	
m		M	
f		F	
dmf		DMF	

Abbildung 10: Befunddokumentation: Kariesbefund (DMF-T/dmf-t)

4.8 Dateneingabe und -auswertung

Die Datensätze der insgesamt 2.103 teilnehmenden Kinder wurden durch die Gesundheitsämter des Lahn-Dill-Kreises und der Stadt Frankfurt am Main in EXCEL-Tabellen (Microsoft Corporation, Redmond, USA) zur Verfügung gestellt und anschließend in eine zusammenhängende EXCEL-Tabelle überführt. Die schriftlich fixierten Daten der Kinder mit MIH, inklusive der einzelnen Zahnbefunde, wurden ebenfalls in die Tabelle aufgenommen.

Alle erhobenen und anonymisierten Daten im Rahmen der Studie wurden an der Poliklinik für Kinderzahnheilkunde und am Institut für Medizinische Statistik der Justus-Liebig-Universität Gießen mit der aktuellen Version des Programms SPSS (Version 15.0, Fa. IBM, Ehningen) und SAS 9.3 (SAS Institute, Cary, NC, USA) ausgewertet und die Zahnbefunde der untersuchten Kinder anschließend mit geeigneten Grafiken und Tabellen deskriptiv dargestellt. Die Daten von 2002/03 aus der Studie von Preusser et al. (2007) wurden am Institut für Medizinische Statistik Gießen mithilfe des Fisher-Exact-Tests verglichen. Es handelt sich hierbei um einen Signifikanztest auf Unabhängigkeit in der Kontingenztafel, der überwiegend in der Medizin angewendet wird. Der Test stellt keine Voraussetzungen an den Stichprobenumfang und liefert auch bei einer geringen Anzahl von Beobachtungen zuverlässige Ergebnisse. Für den Nachweis der allgemeinen Abhängigkeit wurde ein zweiseitiges Signifikanzniveau gewählt.

Ein weiteres Testverfahren war der McNemar-Test für verbundene bzw. abhängige Stichproben, der den Zusammenhang zwischen Variablen vergleicht. Das Testverfahren wurde nur für die Daten von 2014/15 angewendet.

Die Auswertungskriterien wurden so definiert, dass bei dem Vorkommen eines fehlstrukturierten Sechsjahrmolars die MIH-Diagnose gegeben war. Ohne den Nachweis

eines fehlstrukturierten Sechsjahrmolars wurde der Proband als gesund eingestuft, unabhängig von der Frage, ob ein Kriterium nicht zu beurteilen war.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Die p-Werte wurden bezüglich der multiplen Testproblematik (es werden sieben Hypothesen geprüft) adjustiert. Die Ergebnisse wurden in Relation zueinander betrachtet.

4.9 In-vitro-Studie

Für die Infiltration und mikroskopische Untersuchung wurden 29 Zähne behandelt, um nach der Infiltration die infiltrierte Hartsubstanz sowohl kariöser Zähne als auch von MIH-Zähnen zu beschreiben. Für diesen Zweck wurden mit Zustimmung durch die Ethikkommission (AZ 190/14) deutschlandweit Zahnarztpraxen, überwiegend Kinderzahnarztpraxen, kontaktiert und über die Studie informiert. Wenn die Praxen bereit waren, extrahierte MIH-Zähne zur Verfügung zu stellen, erhielten sie ein Aufbewahrungskit mit vorbereiteten Behältnissen (0,5 %ige Chloramin-T-Lösung, Fa. Roth, Karlsruhe) für die sachgerechte Aufbewahrung der Zähne.

Die humanen permanenten Molaren wurden für maximal 28 Tage in der Chloramin-T-Lösung vorübergehend gelagert. Die Identifizierung bzw. Diagnostik eines MIH-Zahnes übernahm der behandelnde Zahnarzt (Anamnese, Ausschluss von Differentialdiagnosen, klinisches Erscheinungsbild (siehe Abschnitt 2.2, S. 3 ff.)). In der Zahnklinik Gießen wurden diese Zähne schließlich ein weiteres Mal begutachtet (nur Sechsjahrmolaren, keine gebrochenen oder stark zerstörten Zähne). Anschließend wurden diese Zähne von Blut- und Geweberesten mit einer Zahnbürste (Dr. Best, Fa. GSK) und einem Skalpell Nr. 10 (Fa. Feather, Osaka, Japan) mechanisch gereinigt und bis zum Untersuchungszeitpunkt in destilliertem Wasser bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren. Insgesamt wurden elf initialkariöse Molaren und 18 MIH-Molaren für die Untersuchung verwendet.

Nach dem Auftauen wurden die Zähne nochmals mit einer handelsüblichen Zahnbürste (Dr. Best, Fa. GSK) unter fließendem Wasser bzw. bei direkter Verwendung mithilfe eines Airflows (Fa. KaVo, Biberach) gereinigt. Die Oberfläche der kariösen Läsion bzw. der MIH wurde mit einem Gelbring-Diamanten (Fa. Komet, Lemgo) angeraut. Im nächsten Schritt wurde die Läsion mit dem Produkt ICON-Etch, HCl 15 %, (Fa. DMG, Hamburg) für 120 Sekunden (s) geätzt und für 30 s mit Wasser abgespült. Anschließend wurde die Läsionsstelle mit einem Pinsel für 120 s mit NaOCl 5,25 % (Fa. Speiko, Münster) bestrichen und wieder bis zu 30 s lang mit Wasser abgespült. Nach 30 s weiterer Ethanol-Applikation (Fa. DMG), die vor allem der Läsion die restliche Flüssigkeit

entzog, erfolgte die Infiltration mit dem Infiltrant (ICON, Lot: 724090, Fa. DMG), der für 180 s auf die Zahnoberfläche bzw. die Läsion einwirkte. Dieser wurde mit dem roten Fluoreszenz-Farbstoff Rhodamin-B-Isothiocyanat 0,1 % (Fa. Sigma-Aldrich, München) versetzt. Überschüsse wurden mit einer Watterolle entfernt und der gefärbte Infiltrant wurde für 40 s lichtgehärtet (Bluephase G2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Der Vorgang des Infiltrierens wurde noch einmal wiederholt, allerdings wirkte der Infiltrant nur noch für 60 s ein. Nach abgeschlossener Infiltration wurde die Zahnwurzel mit einer Fräse (Fa. Komet) abgetrennt und die Zahnkrone in Technovit 4006 (Fa. Kulzer, Hanau), einem kaltpolymerisierenden Kunststoff (Methylmethacrylat), eingebettet. Das Mischungsverhältnis betrug 2:1 (20 g Pulver und 10 g Flüssigkeit). Nach Aushärtung der Einbettmasse für 10 Minuten wurden ca. sieben Längsschnitte pro Zahn (Isomet 1000, Fa. Buehler, Düsseldorf) angefertigt. Die Schnittdicke betrug 100 µm. Diese Schnitte wurden mit Schleifpapier absteigender Körnung (P 600, P 1200, P 4000, Fa. Buehler, Esslingen) poliert und anschließend numeriert. Daraufhin wurde eine grün fluoreszierende Natriumfluoresceinlösung 0,1 mM (Fa. Sigma-Aldrich, München) in 50 % Ethanol (Fa. Sigma-Aldrich) angesetzt, in die die Schnitte für ca. 24 Stunden eingelegt und im Kühlschrank bei +4 °C gelagert wurden.

Am nächsten Tag wurden Makroskopaufnahmen ohne Filter, Fluoreszenzlichtaufnahmen und qualitative Darstellungen der Penetration zur Beurteilung der Verfahrensqualität mithilfe konfokaler Laserfluoreszenzmikroskopie durchgeführt (Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM; AZ 100 M; Fa. Nikon, Tokyo, Japan), um die Infiltrationstiefen abzubilden. Bei der Fluoreszenzlichtaufnahme handelt es sich um einen FITC-Filter (Fluorescein-5-isothiocyanat-Filter) mit einer Anregungs- und Emissionswellenlänge von 480-535 nm. Die Laseranwendung erfolgte mithilfe einer Dualfluoreszenz aus grünem und rotem Licht. Die Objektivgröße wurde 1- bis 4-fach gewählt, die Vergrößerung 1,0-, 1,4- und 1,8-fach. Die Pixelgröße betrug im Auflicht und Fluoreszenzlicht 1280 x 1024 sowie in der CLSM-Abbildung 1024 x 1024. Bei dem Bildbearbeitungsprogramm handelte es sich um die Software NIS-Elements AR 4.0012 (Fa. Nikon, Tokyo, Japan; Software).

5. Ergebnisse

5.1 Allgemeine Angaben zur epidemiologischen Studie

5.1.1 Verteilung der Probanden auf teilnehmende Schulen

Im Schuljahr 2014/15 wurden die Untersuchungen an neun Schulen mit insgesamt 1.114 Schülern im Lahn-Dill-Kreis (LDK) durchgeführt. Insgesamt blieben 78 Kinder für die Studie unberücksichtigt, weil sie zum Untersuchungszeitpunkt aus unbekanntem Gründen nicht in der Schule anwesend waren. Die Drop-out-Rate betrug 7,0 % (n = 78). Zwei Schulen im Stadtgebiet Wetzlar wurden im Gegensatz zur Untersuchung von 2002/03 der ländlichen Region LDK zugeordnet (Tabelle 10).

Tabelle 10: Verteilung der Schüler auf die teilnehmenden Schulen im Lahn-Dill-Kreis 2014/15

Orte der Schulen im LDK	n (gemeldet)	n / % (teilgenommen)	
Breitscheid-Medenbach	45	31	3,0
Greifenstein-Allendorf	99	89	8,6
Haiger Allendorf	91	81	7,8
Haiger Dillbrecht	66	55	5,3
Herborn Seelbach	126	106	10,2
Wetzlar Lotteschule	190	191	18,4
Wetzlar Steindorf	112	116	11,2
Dillenburg-Niederscheld	64	58	5,6
Sinn, Herborn Merkenbach, Herborn Hörbach	321	309	29,8
Gesamt	1.114	1.036	100,0

In der Stadt Frankfurt am Main (Ffm) wurden fünf Schulen mit insgesamt 1.167 gemeldeten Kindern für die Studie ausgewählt. Am Untersuchungstag wurden 1.067 Kinder untersucht. Die Drop-out-Rate betrug 8,6 % (n = 100; siehe Tabelle 11, S. 43).

Tabelle 11: Verteilung der Schüler auf die teilnehmenden Schulen in Frankfurt am Main 2014/15

Name der Grundschule/Intensivklasse in Frankfurt am Main	n (gemeldet)	n / % (teilgenommen)	
Kerschensteiner Schule	250	224	21,0
Mühlberg Schule	275	250	23,4
Schule am Hang	400	360	33,7
Karmeliter Schule	140	131	12,3
Berkersheimer Schule	102	102	9,6
Gesamt	1.167	1.067	100,0

5.1.2 Regionale Herkunft (Stadt-Land-Vergleich) im Schuljahr 2014/15

Die an der Studie teilnehmenden Schüler im Schuljahr 2014/15 stammten zu 49,3 % (n = 1.036) aus dem Lahn-Dill-Kreis (ländliche Region) und zu 50,7 % (n = 1.067) aus dem Stadtgebiet Frankfurt am Main (Stadt).

5.1.3 Herkunftsland der teilnehmenden Probanden (LDK und Ffm) im Schuljahr 2014/15

Das Geburtsland von 94,5 % (n = 1.987) der Probanden war Deutschland. Bei 2,0 % (n = 42) der Schüler war die Herkunft unbekannt und 3,5 % (n = 74) der Probanden hatten einen Migrationshintergrund.

5.1.4 Alters- und Geschlechtsverteilung der teilnehmenden Schüler im Schuljahr 2014/15

Die Altersverteilung in der gesamten Untersuchungsgruppe (n = 2.103) zeigte eine deutliche Dominanz in der Altersstufe der 8- bis 9,9-Jährigen (1.024 Probanden). Der Anteil männlicher Probanden überwog in jeder Altersgruppe (Gesamt 52,2 %; Tabelle 12, S. 44). Die Alters- und Geschlechtsverteilung im LDK (n = 1.036) zeigt die gleiche Tendenz (505 Probanden 8- bis 9,9-Jährige; männliche Probanden gesamt 52,4 %; Tabelle 13, S. 44).

Tabelle 12: Verteilung der Anzahl teilnehmender Schüler nach Alter und Geschlecht im LDK und in Ffm im Schuljahr 2014/15 (n = 2.103)

Geschlecht		männlich		weiblich		Gesamt	
Altersstufe	Jahre	n	%	n	%	n	%
	6-7,9	355	53,7	306	46,3	661	100,0
	8-9,9	525	51,3	499	48,7	1.024	100,0
	10-12	218	52,2	200	47,8	418	100,0
	Gesamt	1.098	52,2	1.005	47,8	2.103	100,0

Tabelle 13: Verteilung der Anzahl teilnehmender Probanden nach Alter und Geschlecht im LDK im Schuljahr 2014/15 (n = 1.036)

Geschlecht		männlich		weiblich		Gesamt	
Altersstufe	Jahre	n	%	n	%	n	%
	6-7,9	162	53,3	142	46,7	304	100,0
	8-9,9	262	51,9	243	48,1	505	100,0
	10-12	119	52,4	108	47,6	227	100,0
	Gesamt	543	52,4	493	47,6	1.036	100,0

5.2 Datenauswertung im Schuljahr 2014/15 (LDK und Ffm)

In den folgenden Darstellungen werden Ergebnisse der Auswertung aus dem Schuljahr 2014/15 veranschaulicht und erläutert. Außerdem sollen Aspekte hinsichtlich der Verteilung von MIH in Bezug auf die Region dargestellt werden.

5.2.1 Prävalenz hypomineralisierter Sechsjahrmolaren und Milchmolaren in Mittelhessen

Die Prävalenz hypomineralisierter Sechsjahrmolaren im ländlichen Gebiet (LDK) war mit 9,4 % geringer als in Ffm mit 17,4 %. Die Ergebnisse in Ffm waren knapp doppelt so hoch wie die in der Region LDK. In Bezug auf die Gesamtgruppe der untersuchten Probanden wiesen 13,5 % der Schulkinder Hypomineralisationen an den bleibenden Sechsjahrmolaren auf.

Der Fisher-Exact-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von MIH und der regionalen Verteilung ($p < 0,001$).

Tabelle 14 zeigt eine Übersicht hypomineralisierter Sechsjahrmolaren, Frontzähne und zweiter Milchmolaren der Schüler im Stadt-Land-Vergleich.

In Ffm waren mehr Kinder an den Sechsjahrmolaren (17,4 %) und Frontzähnen (9,1 %) von MIH betroffen als Kinder im LDK (9,4 %, 4,2 %). Die Häufigkeit der betroffenen zweiten Milchmolaren ist sowohl in der Stadt als auch auf dem Land gleichermaßen verteilt.

Tabelle 14: Anzahl städtischer und ländlicher Verteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren, Frontzähne (MIH) und Milchmolaren (MMH) in Ffm und im LDK

Region	MIH				MMH	
	Sechsjahrmolaren		Frontzähne		n	%
	n	%	n	%		
Ffm	186	17,4	97	9,1	31	2,9
LDK	97	9,4	44	4,2	33	3,2
Gesamt	283	13,5	141	6,7	64	3,0

5.2.2 Prävalenz der MIH nach Altersklasse

Bezüglich dem Vorkommen hypomineralisierter Sechsjahrmolaren in den einzelnen Altersstufen zeigte sich eine MIH bei den 6- bis 7-Jährigen mit 14,1 %, bei den 8- bis 10-Jährigen mit 13,6 % und bei den 10- bis 12-Jährigen mit 12,2 %.

Dies ergab keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Altersstufe und dem Vorkommen von MIH (Fisher-Exact-Test, $p = 0,6818$).

5.2.3 Prävalenz der MIH in Abhängigkeit vom Geschlecht

In Tabelle 15 (S. 46) ist die Verteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren nach Geschlecht und Region dargestellt. In Ffm dominierte das männliche Geschlecht mit 36,7 % in Bezug auf hypomineralisierte Molaren. Im LDK ist die Geschlechterdifferenzierung unerheblich.

Nach dem Fisher-Exact-Test mit $p = 0,8615$ ergibt sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Vorkommen von MIH.

Tabelle 15: Verteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren im LDK und in Ffm mit Geschlechtsdifferenzierung

Geschlecht	LDK		Ffm		Gesamt	
	n	%	n	%	n	%
männlich	50	17,7	104	36,7	154	54,4
weiblich	47	16,6	82	29,0	129	45,6
Gesamt	97	34,3	186	65,7	283	100,0

5.2.4 Anzahl der MIH-Molaren pro Kind

Die Tabelle 16 veranschaulicht die mittlere Anzahl der MIH-Molaren pro Kind. Im LDK sind durchschnittlich 0,23 Molaren pro Kind, in Ffm 0,42 Molaren pro untersuchtem Kind, betroffen. In der Gesamtgruppe mit 2.103 Probanden besteht eine Häufigkeit von 0,32 Molaren pro Kind.

Tabelle 16: Verteilung hypomineralisierter Molaren nach durchschnittlicher Anzahl pro Kind

Gruppe	n (Gesamt)	n (fehlend)	Min.	Max.	Median	Mean	SD
LDK	1.036	0	0	4	0	0,23	0,78
Ffm	1.067	0	0	4	0	0,42	1,03
Gesamt	2.103	0	0	4	0	0,32	0,92

5.2.5 Häufigkeitsverteilung betroffener MIH-Molaren

Die Verteilung betroffener MIH-Molaren in der Gesamtgruppe von 2.103 Probanden zeigte, dass am häufigsten ein Molar (4,1 %) oder vier Molaren (3,4 %) pro Kind betroffen waren. Seltener waren zwei (3,3 %) oder drei Molaren (2,6 %) erkrankt.

In der regionalen Verteilung war ein betroffener Sechsjahrmolar pro Kind (LDK: 2,6 %; Ffm: 5,5 %) am häufigsten dokumentiert. Während im LDK zwei Molaren mit 2,5 % folgten, waren in Ffm vier Molaren mit 4,6 % häufiger betroffen (Tabelle 17, S. 47).

Die statistische Relevanz betrug laut Fisher-Exact-Test $p < 0,0001$.

Tabelle 17: Verteilung der Anzahl hypomineralisierter Molaren pro Kind in regionaler Differenzierung (LDK/Ffm)

Molaren	LDK und Ffm		LDK		Ffm	
	n	%	n	%	n	%
0	1.820	86,5	939	90,6	881	82,6
1	86	4,1	27	2,6	59	5,5
2	70	3,3	26	2,5	44	4,1
3	55	2,6	21	2,0	34	3,2
4	72	3,4	23	2,2	49	4,6
Gesamt	2.103	100,0	1.036	100,0	1.067	100,0

5.2.6 Verteilung der MIH zwischen Ober- und Unterkiefer

Zum Vorkommen der MIH im Ober- oder Unterkiefer zeigte sich in der regionalen Verteilung nur ein geringer Unterschied. Der Oberkiefer war jeweils etwas häufiger als der Unterkiefer betroffen. In der gesamten Gruppe (n = 2.103) ergab sich eine Verteilung hypomineralisierter Molaren von 52,4 % im OK und 47,6 % im UK (Tabelle 18).

Der McNemar-Test mit $p = 0,7140$ ergab keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer MIH im Ober- oder Unterkiefer.

Tabelle 18: Regionale Verteilung hypomineralisierter Molaren im Ober- und Unterkiefer

Kiefer	LDK		Ffm		Gesamt	
	n	%	n	%	n	%
Oberkiefer	127	18,7	229	33,7	356	52,4
Unterkiefer	107	15,8	216	31,8	323	47,6
Gesamt	234	34,5	445	65,5	679	100,0

5.2.7 Verteilung der MIH zwischen rechter und linker Kieferhälfte

Zum Vorkommen der MIH in der rechten oder linken Kieferhälfte zeigte sich in der regionalen Verteilung nur ein geringer Unterschied. Die rechte Kieferhälfte (1. und 4. Quadrant) war jeweils etwas häufiger betroffen (Tabelle 19, S. 48).

Der McNemar-Test mit $p = 0,7018$ ergab keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer MIH in der linken oder rechten Kieferhälfte.

Tabelle 19: Regionale Verteilung hypomineralisierter Molaren zwischen rechter und linker Kieferhälfte

Kieferhälfte	LDK		Ffm		Gesamt	
	n	%	n	%	n	%
rechts (Quadrant 1 u. 4)	119	17,5	229	33,7	348	51,3
links (Quadrant 2 u. 3)	115	16,9	216	31,8	331	48,7
Gesamt	234	34,5	445	65,5	679	100,0

5.2.8 Schweregradeinteilung der MIH nach Wetzel und Reckel (1991)

Das Ausmaß der Krankheit wird nach Wetzel und Reckel (1991) in drei Grade unterteilt: leichter (A), moderater (B) und schwerer (C) Schweregrad [228].

Die Anzahl hypomineralisierter Molaren und Frontzähne pro Patient wurde in Tabelle 20 den einzelnen Schweregraden zugeordnet. In abfallender Reihenfolge sind die Schweregrade im LDK und Ffm von A nach C betroffen.

Tabelle 20: Schweregradverteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren und Frontzähne im LDK und in Ffm

Schweregrad	LDK		Ffm		Gesamt	
	n	%	n	%	n	%
A	176	52,2	634	86,7	810	75,8
B	131	38,9	65	8,9	196	18,4
C	30	8,9	32	4,4	62	5,8
Gesamt	337	100,0	731	100,0	1.068	100,0

Tabelle 21 (S. 49) zeigt die Schweregrade der einzelnen Molaren in regionaler Differenzierung. Es war ein auffällig hohes Vorkommen der MIH in der städtischen Region Ffm zu erkennen. Hier trat der Schweregrad A (Zahn 26 mit 87,7 %) besonders häufig auf.

Die Zähne 16, 26 und 46 waren häufiger von MIH betroffen als Zahn 36. Weiterhin war erkennbar, dass in Ffm eine Abnahme des Schweregrades von A zu C vorlag, während im LDK der Schweregrad B dominierte.

Die Auswertung der Zusammenhänge zwischen der Region und dem Auftreten des jeweiligen MIH-Schweregrades durch den Fisher-Exact-Test ergab für den Zahn 16 einen p-Wert von $p = 7,495E-11$, für den Zahn 26 $p = 5,756E-13$, für den Zahn 36 $p = 3,635E-09$ und für den Zahn 46 $p = 5,710E-11$. Statistisch war ein deutlicher

Hinweis zwischen der Region und dem Auftreten des MIH-Schweregrades bei allen Molaren gegeben.

Tabelle 21: Schweregradverteilung einzelner hypomineralisierter Sechsjahrmolaren in Abhängigkeit von der Region

LDK								
Schweregrad	16		26		36		46	
	n	%	n	%	n	%	n	%
A	24	38,7	26	40,0	20	40,0	22	38,6
B	30	48,4	31	47,7	22	44,0	29	50,9
C	8	12,9	8	12,3	8	16,0	6	10,5
Gesamt	62	100,0	65	100,0	50	100,0	57	100,0
Ffm								
A	93	80,9	100	87,7	80	78,4	92	80,7
B	14	12,2	10	8,8	12	11,8	17	14,9
C	8	7,0	4	3,5	10	9,8	5	4,4
Gesamt	115	100,0	114	100,0	102	100,0	114	100,0

5.2.9 Flächenbefund der hypomineralisierten Sechsjahrmolaren (MIH) und der Milchmolaren (MMH)

Tabelle 22 (S. 50) zeigt die Flächenbefunde der einzelnen Molaren (16, 26, 36, 46) und der zweiten Milchmolaren (55, 65, 75, 85). Die häufigste Ausprägungsform aller MIH- und MMH-Zähne war die Farbveränderung. Okklusal dominierten zudem die Substanzverluste und atypischen Restaurationen.

Für die Befunde der MIH-Molaren im Oberkiefer lässt sich festhalten, dass die okklusalen gefolgt von den palatinalen und bukkalen Flächen am häufigsten betroffen waren. Im Unterkiefer waren es die okklusalen gefolgt von den bukkalen Flächen. Die zweiten Milchmolaren zeigten eine ähnliche Tendenz.

Tabelle 22: Flächenbefunde der einzelnen hypomineralisierten Sechsjahrmolaren (MIH) und der Milchmolaren (MMH), Angaben in Zahlenwerten; Legende: FV = Farbveränderung, SV = Substanzverlust, AR = atypische Restauration, n. B. = nicht beurteilbar

Fläche	Befund	Molaren (MIH)				Milchmolaren (MMH)			
		16	26	36	46	55	65	75	85
okklusal	FV	105	110	86	90	10	10	4	7
	SV	19	19	8	18	4	6	5	4
	AR	17	15	19	16	8	8	16	8
	n. B.	0	0	0	0	0	0	0	0
mesial	FV	35	40	29	33	1	0	2	0
	SV	2	0	0	3	0	0	1	1
	AR	3	3	3	0	5	3	4	1
	n. B.	3	4	2	1	0	1	0	0
distal	FV	43	38	18	23	6	5	4	3
	SV	4	3	1	2	1	2	1	0
	AR	3	4	5	0	3	1	2	1
	n. B.	5	9	21	26	0	2	0	0
bukkal	FV	65	71	83	89	4	5	4	7
	SV	4	3	6	18	3	3	4	3
	AR	2	3	9	4	1	0	3	3
	n. B.	0	1	0	0	0	0	0	0
palatinal/ lingual	FV	89	86	33	31	14	14	2	1
	SV	4	5	1	1	4	4	2	0
	AR	8	9	3	0	2	2	5	1
	n. B.	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.10 Einteilung der Ergebnisse nach EAPD-Kriterien

Die Einteilung der Ergebnisse nach EAPD-Kriterien in Frontzähne, Sechsjahrmolaren und zweiten Milchmolaren ist aus Tabelle 23 (S. 51) zu entnehmen.

In der Datenauswertung des Schuljahres 2014/15 wurden die MIH-Befunde der einzelnen Kinder nach Kriterien von Wetzel und Reckel (1991) bewertet [228]. Die Befunde wurden für die folgende Tabelle in die EAPD-Kriterien kategorisiert. Die Kriterien umfassen abgrenzbare Opazitäten, posteruptiven Schmelzeinbruch, atypische Restaurationen und Extraktionen eines Sechsjahrmolars aufgrund von MIH. Das zuletzt genannte Kriterium wurde nach Wetzel und Reckel dem Schweregrad C zugeordnet und lässt sich nicht separat abbilden.

Bei allen MIH-/MMH-Zähnen überwogen die Farbveränderungen und Opazitäten. Lediglich bei den Milchmolaren im LDK dominierten die atypischen Restaurationen.

Tabelle 23: Einteilung der Untersuchungsergebnisse des Schuljahres 2014/15 nach EAPD-Kriterien im Stadt-Land-Vergleich, Häufigkeit aller MIH-Zähne in absoluten Zahlen und in %; Legende: FZ = Frontzähne, M = Molaren, MM = Milchmolaren; PEB = Posteruptiver Schmelzeinbruch, k. B. = keine Beurteilung

	Zähne	n (Gesamt)		Abgrenzbare Opazitäten		PEB		Atypische Restaurationen		k. B.	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LDK	FZ	102	100,0	89	87,3	10	9,8	1	1,0	3	2,9
	M	227	100,0	121	53,3	58	25,6	32	14,1	16	7,0
	MM	65	100,0	16	24,6	22	33,8	26	40,0	1	1,5
Ffm	FZ	287	100,0	280	97,6	7	2,4	0	0,0	0	0,0
	M	439	100,0	385	87,7	25	5,7	29	6,6	2	0,5
	MM	61	100,0	44	72,1	10	16,4	7	11,5	0	0,0

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der EAPD-Graduierung pro Proband und in regionaler Differenzierung. Die abgrenzbaren Opazitäten dominierten bei allen MIH-/MMH-Zähnen unabhängig von der Region. Lediglich die zweiten Milchmolaren im LDK zeigten vermehrte Häufigkeiten bei atypischen Restaurationen und Substanzverlusten bzw. zerstörten Zähnen.

Tabelle 24: Einteilung der Untersuchungsergebnisse des Schuljahres 2014/15 nach EAPD-Kriterien im Stadt-Land-Vergleich, Häufigkeit pro Proband in absoluten Zahlen und in %; Legende: FZ = Frontzähne, M = Sechsjahrmolaren, MM = Milchmolaren; PEB = Posteruptiver Schmelzeinbruch, k. B. = keine Beurteilung

	Zähne	n (Gesamt)		Abgrenzbare Opazitäten		PEB		Atypische Restaurationen		k. B.	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
LDK	FZ + M	162	100,0	84	51,9	45	27,8	19	11,7	14	8,6
	MM	44	100,0	11	25,0	16	36,4	16	36,4	1	2,3
Ffm	FZ + M	220	100,0	180	81,8	21	9,5	17	7,7	2	0,9
	MM	32	100,0	20	62,5	7	21,9	5	15,6	0	0,0

5.2.11 Kariesbefunde

DMF-T/dmf-t-Befunde

Die Tabellen 25 und 26 (S. 52) zeigen die einzelnen Kariesparameter (DMF-T und dmf-t) nach altersabhängiger Differenzierung für die beiden ausgewählten Regionen. Zum Untersuchungszeitpunkt gab es keine nennenswerten Unterschiede in der Karieshistorie der Probanden. Die DMF-T-/dmf-t-Gesamtwerte betragen im LDK 1,82 und in Ffm 1,77.

Tabelle 25: DMF-T- und dmf-t-Befunde im LDK nach Altersgruppen

Altersgruppe (Jahre)	D-T	M-T	F-T	DMF-T	d-t	m-t	f-t	dmf-t
6-7,9	0,05	0,00	0,02	0,06	0,69	0,21	0,75	1,65
8-9,9	0,03	0,00	0,07	0,11	0,65	0,19	1,10	1,94
10-12	0,04	0,00	0,26	0,30	0,37	0,08	0,71	1,16
Gesamt	0,04	0,00	0,10	0,14	0,60	0,17	0,91	1,68

Tabelle 26: DMF-T- und dmf-t-Befunde in Ffm nach Altersgruppen

Altersgruppe (Jahre)	D-T	M-T	F-T	DMF-T	d-t	m-t	f-t	dmf-t
6-7,9	0,02	0,00	0,04	0,06	0,39	0,14	1,03	1,56
8-9,9	0,05	0,00	0,10	0,15	0,38	0,13	1,33	1,84
10-12	0,06	0,01	0,24	0,31	0,28	0,00	0,87	1,15
Gesamt	0,04	0,00	0,10	0,15	0,37	0,11	1,15	1,62

Den Tabellen 27 und 28 (S. 53) sind die Mittel-, Median-Werte sowie die Minima und Maxima der DMF-T-, dmf-t- und DMF-T/dmf-t-Gesamt-Werte zu entnehmen.

Tabelle 27: Regionale DMF-T- und dmf-t-Mittelwerte der einzelnen Altersstufen sowie Angaben der Quartile, Minima, Maxima und Medianwerte

Altersstufe (Jahre)	6-7,9		8-9,9		10-12	
	LDK	Ffm	LDK	Ffm	LDK	Ffm
DMF-T-Mittelwert	0,06	0,06	0,11	0,15	0,30	0,31
Median	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
unteres Quartil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
oberes Quartil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	3,00	4,00	4,00	6,00	8,00	5,00
dmf-t-Mittelwert	1,65	1,56	1,94	1,84	1,16	1,15
Median	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
unteres Quartil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
oberes Quartil	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	11,00	16,00	11,00	11,00	9,00	7,00

Tabelle 28: Regionale DMF-T/dmf-t-Gesamt-Mittelwerte nach Altersgruppen sowie Angaben der Quartile, Minima, Maxima und Medianwerte

Altersstufe (Jahre)	6-7,9		8-9,9		10-12	
	LDK	Ffm	LDK	Ffm	LDK	Ffm
DMF-T/dmf-t-Mittelwert	1,71	1,62	2,05	1,99	1,47	1,46
Median	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
unteres Quartil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
oberes Quartil	3,00	2,00	4,00	3,00	2,00	2,00
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	11,00	16,00	13,00	16,00	12,00	8,00

Tabelle 29 zeigt die Befunde von Kindern ohne Karies und von Kindern mit Karieshistorie im gesamten Kollektiv von 2.103 Probanden. Kinder ohne Karies in der zweiten Dentition (91,3 %) waren im Vergleich zum Milchgebiss (51,7 %) häufiger zu beobachten. Dieser Befund gilt auch für die Karieshistorie (DMF-T: 8,7 %; dmf-t: 48,3 %). Die höchsten Einzelwerte lagen bei Zähnen mit Füllungstherapie vor, gefolgt von zerstörten und fehlenden Zähnen.

Tabelle 29: Anzahl kariesfreier und kariöser Befunde im bleibenden Gebiss und Milchgebiss in der gesamten Gruppe (LDK + Ffm)

Karies	D-T/d-t		M-T/m-t		F-T/f-t		DMF-T/dmf-t	
	DMF-T							
	n	%	n	%	n	%	n	%
nein	2.042	97,1	2.100	99,9	1.972	93,8	1.920	91,3
ja	61	2,9	3	0,1	131	6,2	183	8,7
Gesamt	2.103	100,0	2.103	100,0	2.103	100,0	2.103	100,0
dmf-t								
nein	1.613	76,7	1.957	93,1	1.315	62,5	1.088	51,7
ja	490	23,3	146	6,9	788	37,5	1.015	48,3
Gesamt	2.103	100,0	2.103	100,0	2.103	100,0	2.103	100,0

DMF-T/dmf-t-Befunde in Zusammenhang mit MIH

Tabelle 30 (S. 54) zeigt die Kariesbefunde der Studienteilnehmer mit und ohne MIH. Es bestanden im Milchgebiss keine nennenswerten Unterschiede bezüglich Karieshistorie, auch nicht in Bezug auf die regionale Zugehörigkeit. In der zweiten Dentition war ein höheres Kariesvorkommen bei Kindern mit MIH zu verzeichnen als bei Kindern ohne MIH (LDK: DMF-T: 0,55; Ffm: DMF-T: 0,37). Zudem zeigt sich in beiden Regionen eine höhere Gesamt-Kariesprävalenz bei Kindern mit MIH (LDK: 2,23; Ffm: 2,01).

Tabelle 30: DMF-T und dmf-t-Befunde in Zusammenhang mit MIH (Sechsjahrmolaren) im LDK und Ffm (Mittelwerte mit SD)

MIH	D-T/ d-t	M-T/ m-t	F-T/ f-t	DMF-T/ dmf-t	Gesamt-DMF-T/ dmf-t
LDK					
nein	0,03 ± 0,23	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,39	0,09 ± 0,45	1,78 ± 2,40
	0,61 ± 1,31	0,16 ± 0,69	0,91 ± 1,56	1,68 ± 2,30	
ja	0,11 ± 0,41	0,00 ± 0,00	0,43 ± 0,93	0,55 ± 0,98	2,23 ± 2,60
	0,46 ± 0,89	0,33 ± 1,07	0,89 ± 1,51	1,68 ± 2,38	
Ffm					
nein	0,02 ± 0,15	0,00 ± 0,06	0,08 ± 0,40	0,10 ± 0,44	1,72 ± 2,53
	0,36 ± 0,98	0,11 ± 0,53	1,15 ± 1,95	1,62 ± 2,45	
ja	0,15 ± 0,62	0,00 ± 0,00	0,22 ± 0,72	0,37 ± 0,98	2,01 ± 2,65
	0,38 ± 1,05	0,11 ± 0,46	1,15 ± 1,86	1,64 ± 2,27	

5.3 Vergleich der Untersuchungszeitpunkte 2002/03 und 2014/15 im LDK

Tabelle 31 (S. 55) zeigt eine Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 2002/03 und 2014/15 im LDK [194]. Zu beiden Untersuchungszeitpunkten nahmen annähernd so viele Mädchen wie Jungen an der Studie teil. Die Prävalenz ist von 2002/03 zu 2014/15 von 5,9 auf 9,4 % angestiegen.

Die Schweregradverteilung nach Wetzel und Reckel (1991) zeigt im Untersuchungsjahr 2002/03 eine Dominanz des Schweregrades A mit 67,2 % gegenüber dem Schweregrad B mit 47,9 % in den Jahren 2014/15. Für beide Untersuchungszeiträume sind lediglich die Sechsjahrmolaren erfasst worden [228].

Die Karieshistorie zeigt, dass 2002/03 Kinder ohne MIH einen höheren dmf-t-Wert (2,62) aufwiesen als Kinder mit MIH (1,66). Der DMF-T-Wert hingegen war bei Kindern mit MIH erhöht (0,80). 2014/15 war der dmf-t-Wert beider Untersuchungsgruppen mit 1,68 gleich hoch, der DMF-T-Wert hingegen war mit 0,98 bei Kindern mit MIH deutlich höher als bei Kindern ohne MIH (0,09).

Tabelle 31: Vergleich der Untersuchungsjahre 2002/03 und 2014/15 im LDK

LDK		2002/03 [154]		2014/15	
Anzahl der Probanden					
		n	%	n	%
Gesamt		1.002	100,0	1.036	100,0
männlich		506	50,5	543	52,4
weiblich		496	49,5	493	47,6
Prävalenz					
MIH		59	5,9	97	9,4
kein MIH		943	94,1	939	90,6
Schweregrade nach Wetzels und Reckel, 1991 [182]					
A		82	67,2	92	39,3
B		31	25,4	112	47,9
C		9	7,4	30	12,8
Karies					
MIH	dmf-t	1,66		1,68	
	DMF-T	0,80		0,98	
kein MIH	dmf-t	2,62		1,68	
	DMF-T	0,51		0,09	

5.4 Ergebnisse der In-vitro-Studie

Zur Veranschaulichung des mikromorphologischen Aussehens werden zwei von elf initialkariösen Molaren und zwei von 18 MIH-Molaren exemplarisch abgebildet. Die Aussagekraft über das Ausmaß der Infiltration und die hohe Bildqualität waren ausschlaggebend für die Auswahl.

Die Bildfolge umfasst eine Makroskopaufnahme des Zahnschnitts mit optischer Beschreibung, eine Fluoreszenzlichtaufnahme mit Verdeutlichung der Läsion und eine CLSM-Aufnahme mit Beschreibung des Ergebnisses der Untersuchung.

Alle anderen Bilder zu den untersuchten Zähnen ergaben keine weiteren Besonderheiten oder Auffälligkeiten und sind im Anhang beigefügt. Es existieren nicht immer alle drei Bildvarianten (Abschnitt 13.3, S. 122 ff.).

5.4.1 Ergebnisse von Molaren mit Initialkaries

1. Zahnschnittfolge eines initialkariösen Molaren im axialen Zahnschnitt nach modifiziertem Infiltrationsverfahren mit ICON (Fa. DMG; Abbildung 11–13, S. 57 ff.)

Der axiale Zahnschnitt zeigt im Bildausschnitt eine intakte Zahnoberfläche und keine Verfärbungen der Zahnhartsubstanz. Lediglich die Karies im Schmelz (SK) des Approximalraums erscheint unter dem Makroskop ohne Filter gelblich und erstreckt sich pyramidenförmig, mit der Basis zur Zahnoberfläche gerichtet, den Hunter-Schreger-Linien folgend. Der Schmelz (S) und das Dentin (D) sind visuell durch eine gestrichelte Linie voneinander abgegrenzt (Abbildung 11, S. 57).

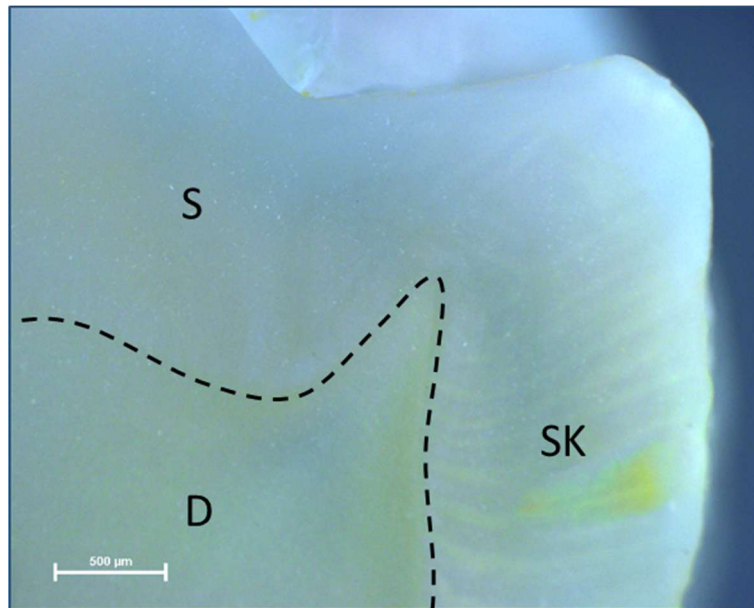


Abbildung 11: Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); S = Schmelz, D = Dentin.

Im Fluoreszenzlicht verdeutlicht sich das Ausmaß der Schmelzkaries (SK) von etwa 670 µm Tiefe (Abbildung 12).

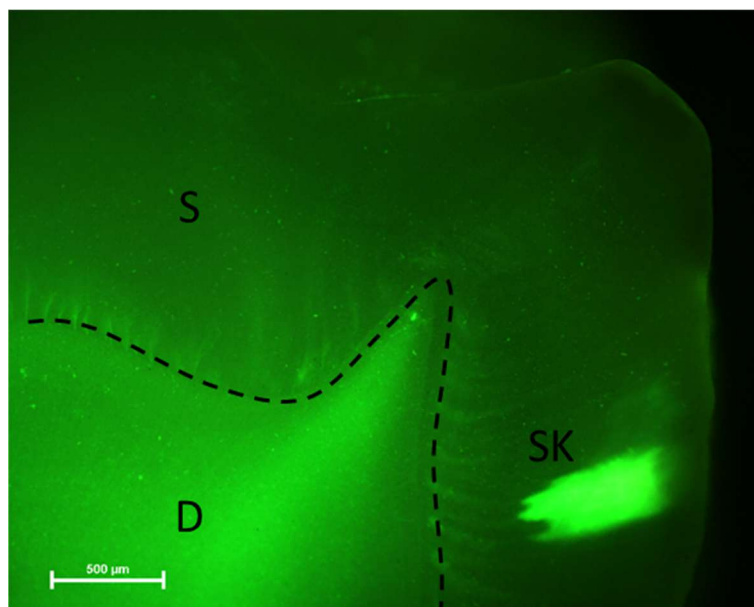


Abbildung 12: Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); S = Schmelz, D = Dentin.

Mithilfe des CLSM lassen sich der Infiltrant und der Läsionskörper separat voneinander darstellen und veranschaulichen das Ergebnis der Infiltration. Der mit Rhodamin-B-Isothiocyanat rot angefärbte Infiltrant (I, ICON) penetrierte ca. 284 µm. Dies entspricht damit nahezu der Breite des Läsionskörpers, der (mit Natriumfluoresceinlösung grün

gefärbt) mit ca. 700 µm darstellbar ist. Zudem ist der rot gefärbte Infiltrant auf der Zahnoberfläche sichtbar. Die Infiltration der Initialkaries kann als gelungen angesehen werden (Abbildung 13).

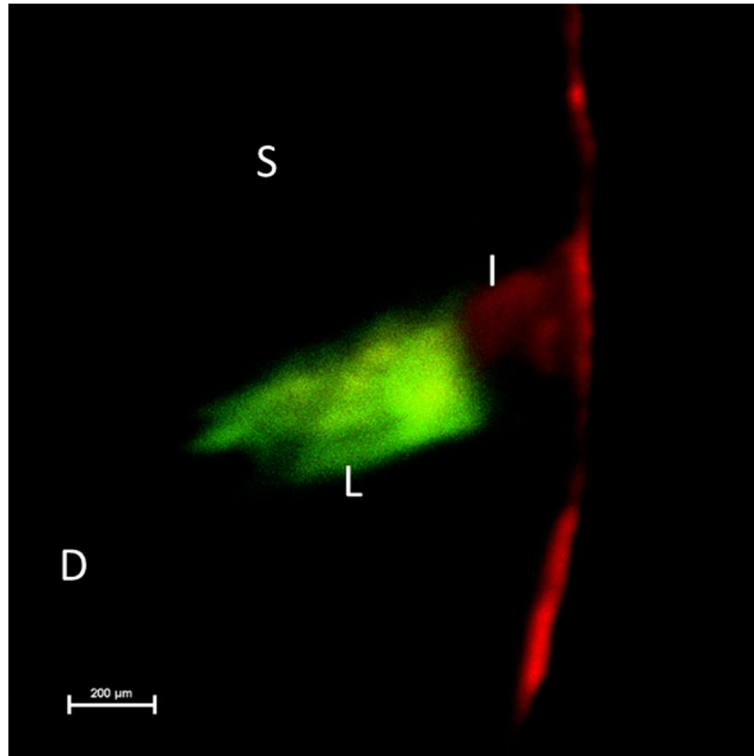


Abbildung 13: Aufnahme einer Schmelzkaries eines Molaren mit dem Makroskop (CLSM); I = Infiltrant ICON, S = Schmelz, D = Dentin, L = Läsionskörper.

2. Zahnschnittfolge eines initialkariösen Molaren im axialen Zahnschnitt nach modifiziertem Infiltrationsverfahren mit ICON (Fa. DMG; Abbildung 14–16, S. 59 ff.)

Der Zahnschnitt zeigt im Bildausschnitt eine leicht unebene, aber intakte Zahnoberfläche. Die Initialkaries erscheint unter dem Makroskop ohne Filter gelblich, halbmondförmig und erstreckt sich den Hunter-Schreger-Linien folgend in einem Ausmaß von ca. 952 µm Länge und 238 µm Breite. Auch der rot gefärbte Infiltrant ist bereits ohne Filter oberflächlich zu erkennen. Schmelz (S) und Dentin (D) sind schematisch mit einer gestrichelten Linie gekennzeichnet (Abbildung 14, S. 59).

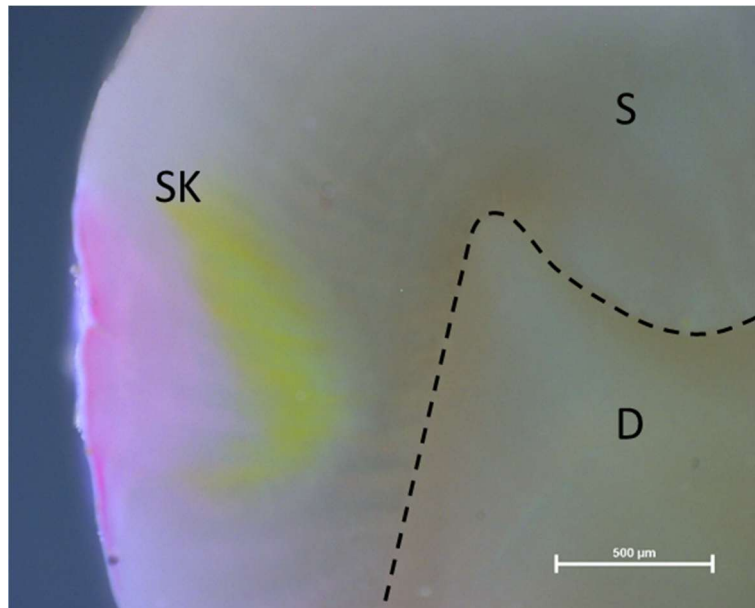


Abbildung 14: Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); S = Schmelz, D = Dentin.

Erst im Fluoreszenzlicht verdeutlicht sich das gesamte Ausmaß der Schmelzkaries von etwa 1190 µm Länge und ca. 476 µm Breite (Abbildung 15).

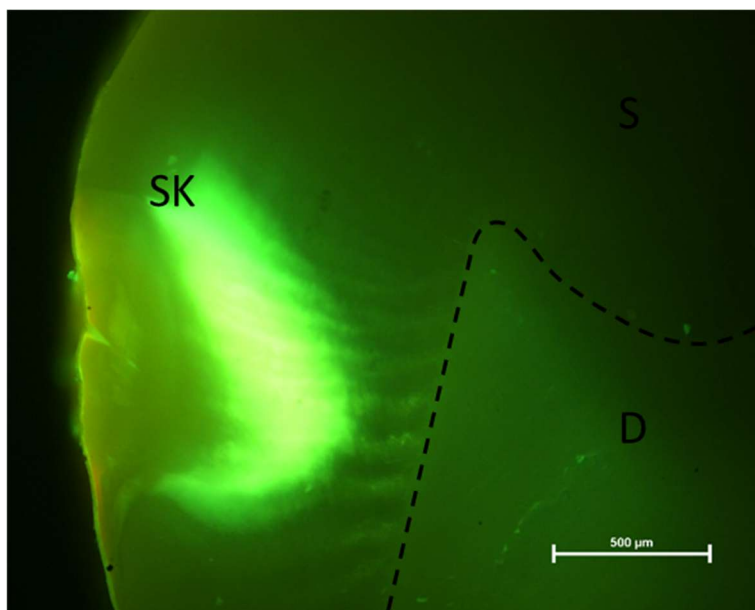


Abbildung 15: Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); S = Schmelz, D = Dentin.

Mithilfe des CLSM lässt sich neben dem Läsionskörper (L, grün) auch die Penetrationstiefe des Infiltranten (I, rot) darstellen, die bei einer approximalen Länge von 1763 µm insgesamt 526 µm umfasst. Aufgrund der Porositäten erstreckt sich die Läsionstiefe (L, grün) der Schmelzkaries über 1000 µm. Da der Infiltrant in die

Porositäten der Initialkaries eingedrungen ist, kann die Infiltration als erfolgreich angenommen werden (Abbildung 16).

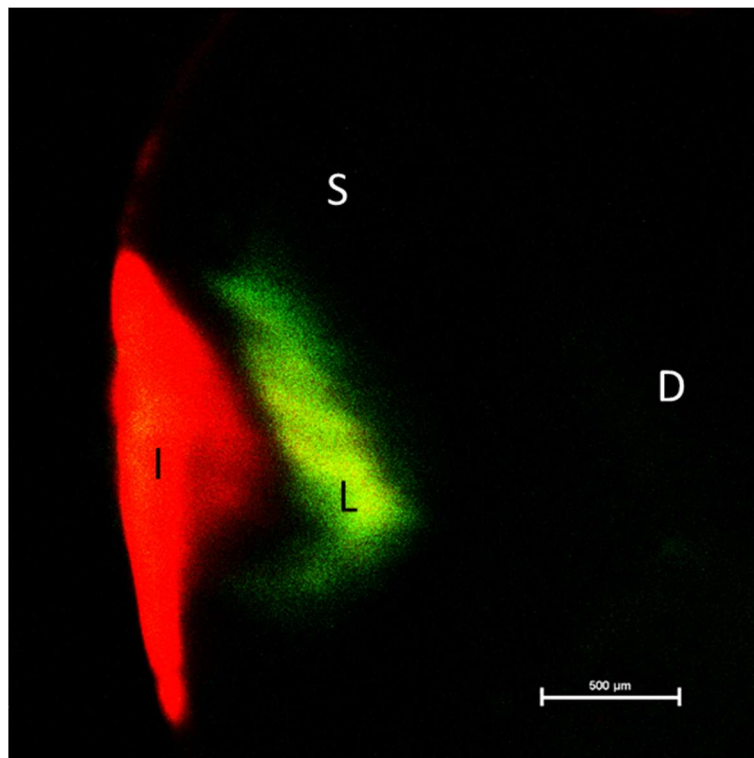


Abbildung 16: Aufnahme einer Schmelzkaries eines Molaren mit dem Makroskop (CLSM); I = Infiltrant, ICON, L = Läsionskörper, S = Schmelz, D = Dentin.

5.4.2 Ergebnisse von Molaren mit MIH

1. Zahnschnittfolge eines MIH-Molaren im axialen Zahnschnitt nach modifiziertem Infiltrationsverfahren mit ICON (Fa. DMG; Abbildung 17–19, S. 61 ff.)

Die sichtbare proximale Zahnoberfläche weist leichte Unebenheiten auf, ist aber dennoch intakt. Die okklusale und proximale Hypomineralisation erscheint gelblich und der Infiltrant schimmert im äußeren Schmelzbereich bereits ohne Filter unter dem Makroskop rötlich. Die Hunter-Schreger-Linien sind deutlich zu erkennen. Das Dentin scheint unversehrt zu sein. Die Hypomineralisation erstreckt sich von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Zahnoberfläche. Das Dentin (D) und der Schmelz sind durch eine gestrichelte Linie hervorgehoben (GS = gesunder Schmelz; Abbildung 17, S. 61).

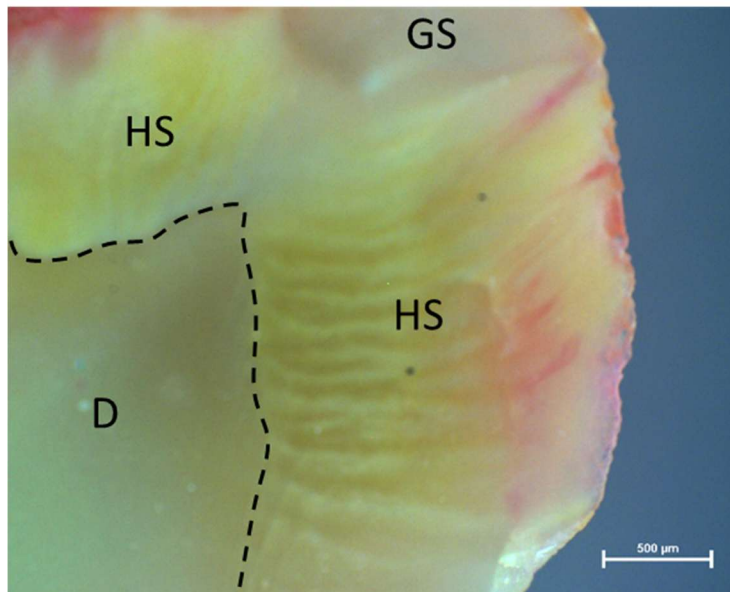


Abbildung 17: Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin.

Mit dem Fluoreszenzlichtfilter des Makroskops lassen sich die hypomineralisierten Bereiche noch deutlicher abbilden, die sich über die gesamte Schmelzbreite von 1833 µm Tiefe approximal und 1066 µm okklusal erstrecken. Das Dentin scheint unversehrt zu sein (Abbildung 18).

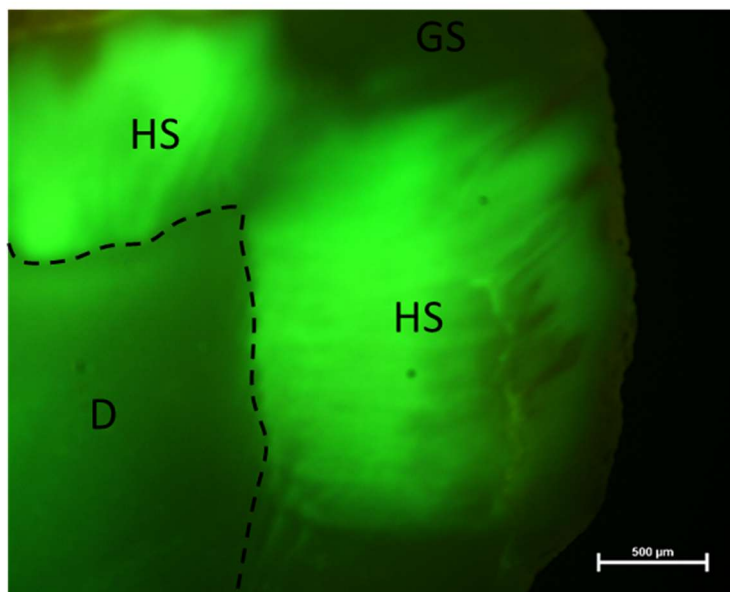


Abbildung 18: Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); HS = hypomineralisierter Schmelz, D = Dentin, GS = gesunder Schmelz.

In der CLSM-Darstellung sind der Infiltrant (I, rot) und der Läsionskörper (L, grün) separat abgebildet. Die Hypomineralisation (grün) ist nur im Schmelz lokalisiert, das Dentin scheint unberührt. Die gesamten hypomineralisierten Läsionsareale wurden aufgrund der Porositäten penetriert (P und L, grün). Der Infiltrant (I, ICON, rot) lässt sich mit einer Eindringtiefe von ca. 833 µm nachweisen. Er liegt sowohl okklusal als auch approximal auf der Zahnoberfläche auf. Okklusal ist er nicht in die hypomineralisierten Bereiche eingedrungen. Lediglich approximal ist eine Infiltration nachweisbar. Eine homogene Darstellung der Penetration ist nicht gegeben (Abbildung 19).

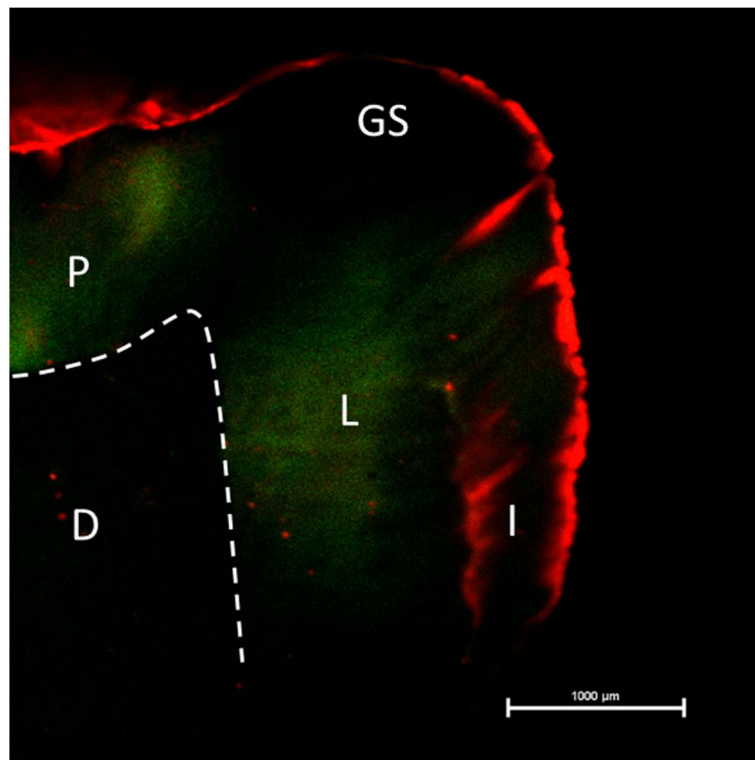


Abbildung 19: Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (CLSM); GS = gesunder Schmelz, P = Penetration, L = Läsionskörper, D = Dentin, I = Infiltration mit ICON.

2. Zahnschnittfolge eines MIH-Molaren im axialen Zahnschnitt nach modifiziertem Infiltrationsverfahren mit ICON (Fa. DMG; Abbildung 20–22, S. 63 ff.)

Die im Bildausschnitt sichtbare Zahnoberfläche eines Höckerabhanges ist intakt und die Hypomineralisation erscheint im Höckerabhang gelblich. Der Infiltrant schimmert approximal auf der Zahnoberfläche rötlich. Die Hunter-Schreger-Linien sind nur im hypomineralisierten Areal auffällig erkennbar. Das Dentin scheint unversehrt zu sein. Das Dentin (D) und der Schmelz (HS und GS) sind durch eine gestrichelte Linie schematisch voneinander abgegrenzt (Abbildung 20, S. 63).

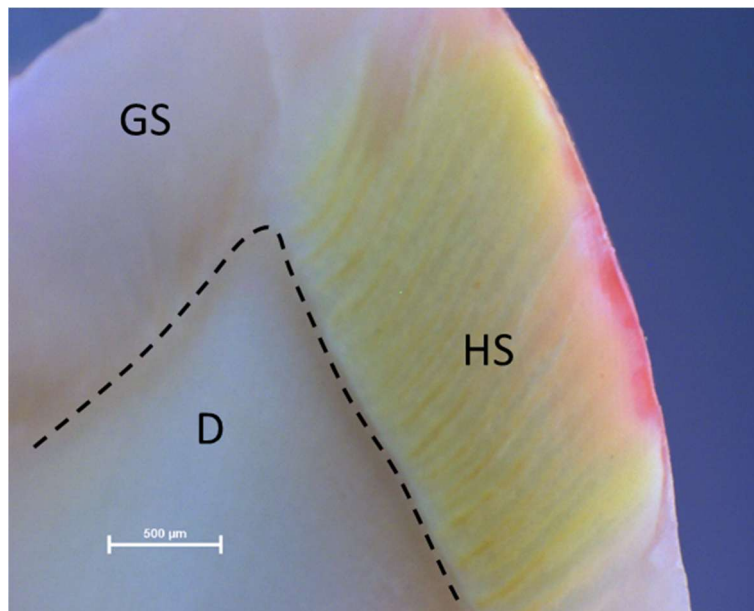


Abbildung 20: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin.

Mit dem Fluoreszenzlichtfilter des Makroskops lässt sich der approximal hypomineralisierte Bereich in einem Ausmaß von 1433 µm in der Tiefe abbilden. Die Länge erstreckt sich im Höckerabhang über 2866 µm. Das Dentin ist unversehrt (Abbildung 21).

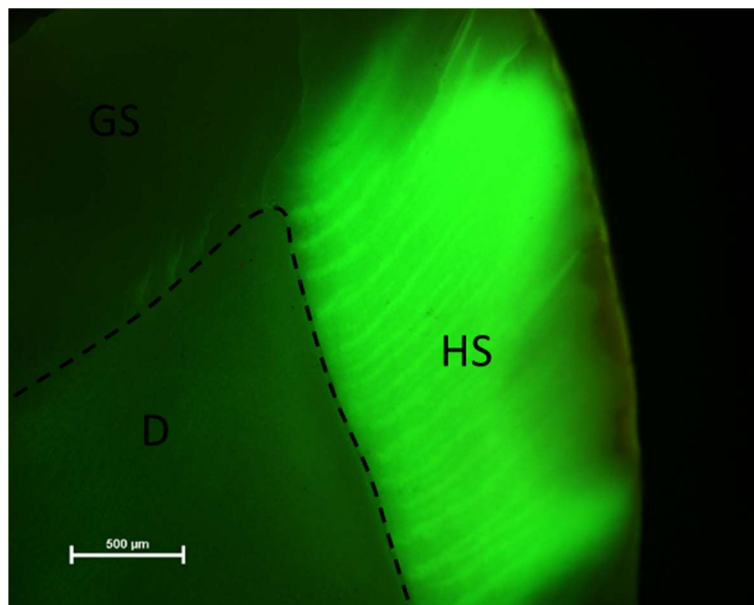


Abbildung 21: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin.

In der CLSM-Darstellung ist der Infiltrant (IA, rot) nur auf der Zahnoberfläche nachweisbar. Der Läsionskörper (L, grün) erstreckt sich hingegen über die gesamte Schmelzbreite. Der Infiltrant ist gar nicht in die Hypomineralisation penetriert, sodass die Infiltration als nicht gelungen angesehen werden kann (Abbildung 22).

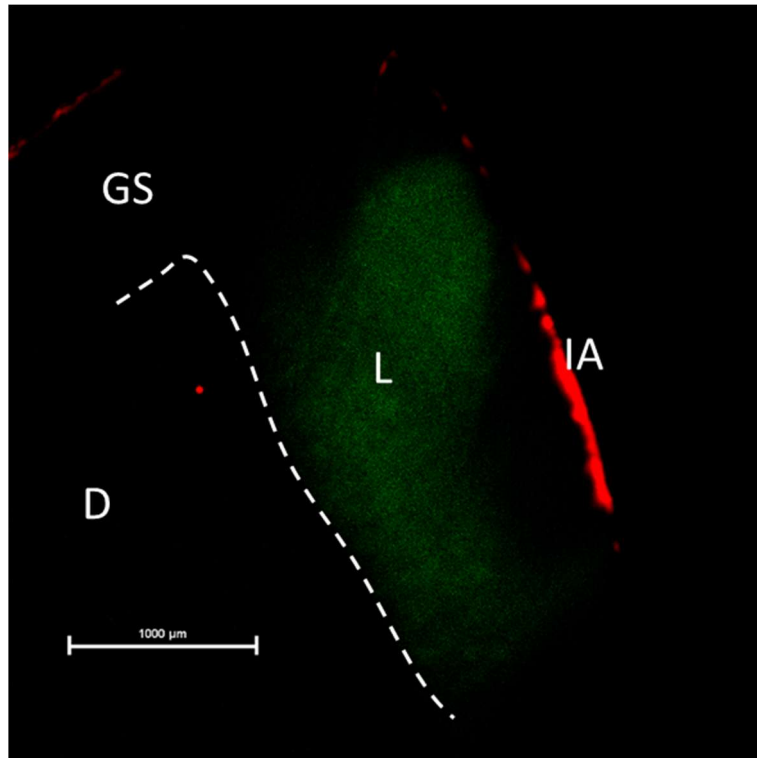


Abbildung 22: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (CLSM); GS = gesunder Schmelz, L = Läsionskörper, D = Dentin, IA = Infiltrant oberflächlich aufliegend.

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1 Bewertung des methodischen Ansatzes

6.1.1 Stichprobenauswahl und Drop-out

Bei der klinischen Studie handelt es sich um eine repräsentative Querschnittsstudie mit zufälliger Stichprobenauswahl. Insgesamt wurden 2.103 Kinder untersucht, davon 1.036 im LDK und 1.067 in Ffm. Die Probandenanzahl wurde der Studie von 2014/15 angepasst und eine Drop-out-Rate berücksichtigt, um sie mit der Studie von 2002/03 vergleichen zu können [194].

Sozioökonomische Veränderungen, andere ethnische und soziale Zugehörigkeiten oder Einflüsse infolge von vermehrten Präventionsmaßnahmen können nicht ausgeschlossen werden, weil es sich im LDK nicht um dieselben Schulen wie in der Studie von Preusser et al. (2007) handelt.

Während einige Studien keine signifikanten Ergebnisse in Bezug auf den sozioökonomischen Status oder eine Verbindung zu Ethnizitäten nachweisen konnten [45,180,222], kann in Deutschland gezeigt werden, dass Kinder aus sozial schlechter gestellten Regionen und Umfeldern oder mit Migrationshintergrund deutlich häufiger von Karies betroffen sind [17].

6.1.2 Kalibrierung

Die Studienuntersucher wurden im Vorfeld zu den Themen Karies und MIH kalibriert. Kappa-Werte konnten im Rahmen der Inter-Untersucher-Reliabilität erfasst werden, weil für die Karieskalibrierung eine Onlineplattform im Rahmen der DAJ-Studie von 2016 (DMF-T/dmf-t-Kriterien) genutzt wurde (482 Zahnärzte). Diese betragen $\kappa = 0,75$ für den LDK und $\kappa = 0,65-0,9$ für Ffm [143]. Lediglich eine Prüfung der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit erfolgte nicht.

Im Rahmen der MIH-Kalibrierung fand eine 45-Minuten-Präsentation durch Prof. Dr. Dr. Norbert Krämer statt, die anschließend anhand von klinischen Bildern vertieft und diskutiert wurde. Die Kalibrierung stützte sich auf einer Auswertung von Fotografien, wie sie auch bei Elfrink et al. (2015) erfolgte [54]. Demnach mussten fünf aufeinanderfolgende hochauflösende Fotografien mit einer Übereinstimmungsquote von $> 90\%$ erkannt werden. Nach dieser Methode wurde keine Intra-Untersucher-Kalibrierung vorgenommen.

Leichte Abweichungen in den Untersuchungsergebnissen sind nicht auszuschließen. So ist für weitere Studien aus diesem Grund ein EAPD-Kalibrierungstraining für Zahnärzte zu empfehlen, die die Studienuntersuchungen durchführen. Auf diese Weise können Abweichungen in der Intra- und Inter-Untersucher-Reliabilität minimiert werden [84].

6.1.3 Untersuchung und Befunderhebung

Die Untersuchungen der Kinder erfolgten in den Räumen der jeweiligen Schule. Aufgrund nicht optimaler Lichtverhältnisse während der Untersuchung trugen die Zahnärzte Stirnlampen. Zur Begutachtung der Zähne und Diagnostik einer MIH wurden die Zähne mit Mundspiegel und Sonde untersucht sowie mit Gaze-umwickelten Holzspateln oder Watterollen getrocknet. Entgegen dieser Maßnahme empfiehlt die EAPD die Beurteilung einer MIH auf feuchten Zähnen [225].

Zur Vergleichbarkeit der Daten mit den Untersuchungsergebnissen von Preusser et al. (2007) aus dem Schuljahr 2002/03 wurden zur Erfassung des Hypomineralisationsgrades einer MIH oder MMH die Kriterien nach Wetzel und Reckel (1991) verwendet (Abschnitt 2.2, S. 3 ff.; [194,228]). Diese Ergebnisse wurden dann, um einen nationalen und internationalen Vergleich mit anderen Studienergebnissen zu gewährleisten, nach den EAPD-Kriterien kategorisiert [225]. Lediglich zu dem Kriterium Extraktionen herrschte Unsicherheit bei den Untersuchern, ob aufgrund von MIH Zähne gezogen wurden, weil nur ein persönliches Gespräch mit den Kindern und keine Elternbefragung stattfand. Die extrahierten Zähne aufgrund von MIH wurden außerdem dem Schweregrad C (nach Wetzel und Reckel) zugeordnet. Aus diesem Grund liegen keine aussagekräftigen Angaben zu Extraktionen vor.

6.2 Bewertung der Ergebnisse im nationalen und internationalen Vergleich

6.2.1 Stadt-Land-Vergleich

Die vorliegende Querschnittsstudie zielte darauf ab, die MIH-Prävalenz in Mittelhessen hinsichtlich eines Stadt-Land-Vergleichs zu beurteilen. Die Probanden lebten entweder in einer ländlichen Region, dem Lahn-Dill-Kreis (MIH 9,4 %), oder in Frankfurt am Main (MIH 17,4 %).

Im nationalen und internationalen Vergleich existieren überwiegend Prävalenzdaten aus Städten. In Deutschland gibt es lediglich die Studie von Preusser et al. (2007) aus dem Schuljahr 2002/03, deren Daten in einer ländlichen Region (LDK) erhoben wurden (MIH 5,9 %). Die Prävalenzdaten aus den Städten liegen zwischen 4,3 und 33,8 %. Auf nationaler Ebene sind Vergleiche der Studien daher nur bedingt möglich.

In Finnland und in Manaus (Brasilien) ist das MIH-Vorkommen in urbanen Regionen (21,3 bzw. 9,2 %) höher als in ländlichen Gebieten (11,5 bzw. 8,7 %), was auch die gegenwärtige Studie bestätigt [91,233]. Lediglich in den Studien von Souza et al. (2012) und da Costa-Silva et al. (2010) wird eine vermehrte Häufigkeit von MIH in ländlichen Gebieten beschrieben (MIH rural: 24,9 % / 24,3 %; [43,213]). In der Studie von Kuscu et al. (2008) und Gorbatova et al. (2019) sind keine Unterschiede zwischen ländlichen und städtischen Regionen nachgewiesen worden [87,138].

6.2.2 Altersgruppen

Insgesamt wurden 2.103 6- bis 12-jährige Kinder untersucht. Laut EAPD-Empfehlungen bietet sich als Untersuchungszeitpunkt zur Feststellung einer MIH das Alter von ca. acht Jahren an, weil in dieser Lebensphase der Durchbruch aller Sechsjahrmolaren angenommen werden kann [150,225]. Ein Zeitraum von sechs bis zwölf Lebensjahren beinhaltet sowohl einen großzügigen Spielraum für die Beurteilung und Diagnostik einer MIH in der bleibenden Dentition als auch zur Beurteilung der zweiten Milchmolaren im Milchgebiss. Weiterhin ist aufgrund der Untergruppierung der einzelnen Altersstufen (6–7,9; 8–9,9; 10–12) ein Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen des LDK von 2002/03 möglich [194].

In den einzelnen Altersstufen der vorliegenden Querschnittsstudie von 2014/15 gab es keine Unterschiede zur Häufigkeit der MIH. Die Verteilung ergab bei den 6- bis 7-Jährigen eine Häufigkeit von 14,1 %, bei den 8- bis 10-Jährigen 13,6 % und bei den 10- bis 12-Jährigen 12,2 %.

Die Studien von Oyedele et al. (2015) und Hanan et al. (2015) konnten ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter eines Kindes und einer MIH nachweisen ($p = 0,26$ / $p = 0,23$ [91,179]).

6.2.3 Geschlecht

Internationale Studien konnten keine signifikanten Ergebnisse hinsichtlich geschlechtsspezifischer Unterschiede bei einer MIH ermitteln [25,75,91,123,169,179,181,212,219,222]. Mädchen und Jungen sind gleichermaßen dem Risiko ausgesetzt, an MIH zu erkranken. Dieses Ergebnis wurde auch in der vorliegenden Studie erfasst (Jungen 54,4 %, Mädchen 45,6 %).

Shrestha et al. (2014) und Hasenauer et al. (2010) dokumentieren geschlechtsspezifische Unterschiede im Vorkommen von MIH. Jungen seien häufiger als Mädchen betroffen [92,209]. Ghanim et al. (2013) und Kemoli (2008) erwähnen eine vermehrte Häufigkeit des Auftretens einer MIH bei Mädchen [78,121].

6.2.4 Lokalisation der MIH

Eine klare Häufigkeitsverteilung der Lage von MIH-Molaren im Ober- und Unterkiefer ist der aktuellen Studienlage nicht eindeutig zu entnehmen. Während in vielen Studien die UK-Molaren häufiger betroffen sind [23,109,219], sind es in anderen die OK-Molaren [10,34,45,75,83,92,123,148,209]. In der Studie von Temilola et al. (2015) sind alle Molaren gleichermaßen betroffen [222]. Nach Zaweideh et al. (2011) gibt es ebenfalls keine Seitenunterschiede in Bezug auf eine MIH [237]. Die vorliegende Studie bestätigt die bisherige Datenlage (OK: 52,4 %, UK: 47,6 %).

Im Hinblick auf die Verteilung zwischen rechter und linker Kieferhälfte waren die MIH-Molaren in der vorliegenden Studie nahezu gleichermaßen betroffen. Dies galt auch für die regionale Differenzierung (LDK: rechts: 17,5 %, links: 16,9 %; Ffm: rechts: 33,7 %, links: 31,8 %). In internationalen Datenerhebungen gibt es sowohl Angaben für eine rechtsseitige [53,164] als auch für eine linksseitige Häufigkeit [91]. Nach Oyedele et al. (2015) konnte in diesem Zusammenhang kein signifikanter Nachweis erbracht werden [179].

Eine eindeutige Häufung der MIH scheint es nur bei den OK-Frontzähnen zu geben, die im Vergleich zu den UK-Frontzähnen häufiger betroffen sind [23,34,60]. Lediglich eine Studie konnte ein vermehrtes Vorkommen der MIH bei UK-Schneidezähnen feststellen [91]. Die lateralen UK-Schneidezähne sind wie in dieser Studie am seltensten betroffen [148].

6.2.5 Zusammenhang zwischen MIH und MMH

Die Prävalenz der MMH erstreckt sich international von 0,5 % in Indien bis 22,3 % in der Türkei und national von 1,2 % (Düsseldorf, Greifswald, Heidelberg, Hamburg) bis 4,0 % in München. Die vorliegende Studie erfasst eine Prävalenz von 3,0 % in Mittelhessen [118,132,188,219]. Darüber hinaus besteht bei einer MMH eine Wahrscheinlichkeit von 11,32 (95 % KI 6,73–19,03) ebenfalls eine MIH zu bekommen. In der Studie von Petrou et al. (2013) wurde gezeigt, dass bei einer MIH-Prävalenz von 10,1 % (n = 2.395) in 4 deutschen Städten (Düsseldorf, Greifswald, Heidelberg, Hamburg) 12,0 % der Kinder auch mindestens einen hypomineralisierten Milchmolaren aufwiesen, sodass ein statistischer Zusammenhang zwischen einer MMH und MIH gegeben ist ($p < 0,0001$) [188].

Internationale Studien gehen ebenfalls von einem Zusammenhang zwischen einer MMH und einer MIH aus, sodass eine MMH als Prädiktor für eine MIH angenommen werden kann. Laut Elfrink et al. (2012) besteht eine Wahrscheinlichkeit von 4,4 (95 % KI 3,1–6,4) eine MIH zu bekommen [52]. In der Studie von Ghanim et al. (2013) konnte eine MMH-Prävalenz von 6,6 % nachgewiesen werden. Davon hatten 39,6 % der Kinder mindestens einen hypomineralisierten Sechsjahrmolar. Allerdings konnte statistisch kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden (OR = 1,48; 95 % KI 0,79-2,74) [81]. Nach Temilola et al. (2015) ist eine Co-Morbidität gegeben. 34,8 % der Kinder mit MIH zeigten auch eine Hypomineralisation im Milchgebiss [222]. Auch nach Karakaya et al. (2021) kann eine MMH als Prädiktor für eine MIH angenommen werden. Hier wurde bei 61,7 % der Kinder mit MIH auch eine MMH diagnostiziert im Vergleich zu 2,6 % der Kinder aus der Kontrollgruppe (OR = 60,242; 95 % KI 24,646–147,250; $p < 0,001$) [118].

6.3 Bewertung der strukturellen Untersuchung

6.3.1 Zusammenhang zur Epidemiologischen Studie (klinisches Aussehen und mikromorphologisches Aussehen)

Das klinische Aussehen eines MIH-Zahnes reicht nach Wetzel und Reckel von weißlichen Opazitäten über gelb-braune Farbveränderungen bis hin zu morphologischen Defekten mit Schmelzeinbrüchen [228]. Diese äußeren Erscheinungsformen zeigten sich auch bei der klinischen Untersuchung. Während die Farbveränderungen der

Molaren überwiegend den Kauflächen oder Bukkalflächen zugeordnet werden konnten, waren die Inzisiven vornehmlich an den Labialflächen betroffen. Diese Lokalisation hypomineralisierter Areale bestätigen auch andere Wissenschaftler [128,166,175,179]. Die klinischen Beobachtungen wurden in der gegenwärtigen Studie auch in vitro bestätigt. Während stark zerstörte Molaren und Frontzähne für die Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, zeigten sich dennoch so genannte „pits and grooves“ (deutsch: Gruben und Rillen) unterschiedlicher Ausdehnung an den extrahierten Zähnen. Oberflächlich zeigten sich weiterhin gelb-braune Farbveränderungen, die sich mikroskopisch durch den gesamten Schmelz erstreckten. Weiße Opazitäten hingegen durchziehen nach Jälevik et al. (2000) und Fagrell et al. (2013) nur die innere Schmelzschicht [65,106]. Es zeigten sich zudem deutlich sichtbare Hunter-Schreger-Linien im Schmelz, die auch Jälevik et al. (2005) und Fagrell et al. (2013) in ihren Untersuchungen bestätigen [65,103].

Die mikromorphologischen Besonderheiten des strukturellen Schmelzaufbaus hypomineralisierter Zahnhartsubstanz, die sich maßgeblich von intakter, gesunder Zahnhartsubstanz unterscheiden, zeichnen sich durch einen verringerten Mineral- und erhöhten Proteingehalt aus. Dieser macht sich durch den hohen Anteil an Porositäten bemerkbar. Zudem ist die Prismen- und Apatitkristallstruktur weniger dicht angeordnet [16,62,103,220,234]. Studien von da Costa Silva et al. (2011) und Ghanim et al. (2011) zeigen diesbezüglich Zusammenhänge zwischen dem klinischen Erscheinungsbildes (Farbe) und dem Schweregrad der Hypomineralisation [42,83].

6.3.2 Implikation für die Klinik (Infiltration)

Die Infiltrationsmethode ist in der Kariestherapie gut eruiert [182,183]. Auch in der Behandlung der MIH sind zahlreiche erfolgversprechende Therapiemaßnahmen beschrieben worden. So sind die oft ästhetisch störenden Opazitäten der Patienten im Frontzahnbereich bei milden MIH-Formen mit einer Infiltrationsbehandlung therapierbar [8,156]. Schwere Formen hingegen mit gelb-braunen Farbveränderungen bedürfen eher einer invasiveren Maßnahme. Marouane et al. (2020) konnten keine zuverlässige Garantie für die Infiltrationsbehandlung in diesen schweren Fällen geben [155]. Hier konnten jedoch Prud`homme et al. (2017) mit ihrer „Etch-bleach-seal“-Technik und Attal et al. (2014) mit der Tiefeninfiltration zufriedenstellende Ergebnisse liefern [12,195]. Zudem kann die Lebensqualität der Patienten durch diesen Meilenstein der ästhetischen Maskierung im Frontzahnbereich erheblich verbessert werden [199].

Mit einer verlängerten Applikationszeit des Infiltranten können die Infiltrationsresultate außerdem verbessert werden [156].

Die häufig vorhandenen Hypersensibilitäten der MIH-Zähne können durch die Infiltrationsmethode ebenfalls erfolgreich behandelt werden. Hier konnten Murri Dello Diago et al. (2021) neben einer reduzierten Hypersensibilität auch eine verbesserte Mundhygiene nachweisen. Nach einer 12-monatigen Verlaufskontrolle konnte bei 85,7 % der Probanden eine Verbesserung der Plaqueablagerungen und bei 81 % eine Reduktion der Gingivitis dokumentiert werden [170].

Auch die mechanischen Eigenschaften durch die Infiltrationsmethode konnten nach Nogueira et al. (2021) nachweislich verbessert werden. Das Risiko eines posteruptiven Schmelzeinbruchs war gegenüber einer Behandlung mittels Fluoridlack oder Fluoridlack mit Ätztechnik deutlich reduziert (Versagensrate bei Infiltration 6,1 %, Fluoridlack 17,9 %, Fluoridlack mit Ätztechnik 17,3 %). Auch Horzutepe und Baseren (2017) beschreiben einen Anstieg der Mikrohärtigkeit. Lediglich Crombie et al. (2014) konnten keinen nennenswerten Anstieg der Härte in hypomineralisierten Arealen nachweisen. Ihre Untersuchungsergebnisse zeigten zudem keine verlässlichen Infiltrationsergebnisse an MIH-Zähnen [38].

In-vitro-Studien zeigen, dass eine Vorbehandlung der Zahnhartsubstanz im Sinne einer Deproteinierung mit NaOCl die Haftfestigkeit des Restaurationsmaterials verbessern kann. Grund dafür ist das erhöhte Proteinvorkommen eines MIH-Zahnes, welches das Eindringen des Infiltranten in die poröse Zahnhartsubstanz erschwert. Ghandi et al. (2012) konnten keine validen Ergebnisse in Bezug auf die Deproteinierung eines MIH-Zahnes und einer verbesserten Penetrationstiefe des Infiltranten liefern. Sie testeten hierfür mehrere Vorbehandlungen mithilfe konventioneller Ätztechnik oder mit NaOCl 5 % [74]. Zu diesem Ergebnis kommen auch Natarajan et al. (2015). Sie halten eine Infiltration ohne eine Deproteinierung des Defekts für kaum bis gar nicht möglich. Das Forschungsteam führte ebenfalls Vorbehandlungen mithilfe von 15 % HCl, mit 15 % HCl gefolgt von 5 % NaOCl, mit 5 % NaOCl gefolgt von 15 % HCl sowie mit 30 % H₂O₂ und 15 % HCl durch. Die überzeugendsten Resultate bezüglich der Infiltrationstiefen wurden mit letzterem Verfahren (30 % H₂O₂ und 15 % HCl) erzielt. Nach der Deproteinierung erschien die Ultrastruktur laut Raman-Spektroskopie und Hauptkomponentenanalyse wie die einer normalen Hartschicht. In hypomineralisierten bzw. desorganisierten Arealen der Zahnhartsubstanz wurden die Proteine vereinfacht herausgelöst [171].

Lediglich eine In-vivo-Studie von Sönmez et al. (2017) zeigte durch die Deproteinierung hypomineralisierter Areale mithilfe der NaOCl-Vorbehandlung signifikant verbesserte Erfolgsraten nach 24 Monaten bei Kompositrestaurationen.

Auch Chay et al. (2013) führten Vorbehandlungen an MIH-Zähnen und Adhäsionsversuche durch. Mit einer reinen ICON-Infiltration konnte keine verbesserte Scherhaftung erreicht werden. Hier war eine Vorbehandlung mit NaOCl 5,25 % notwendig [33]. Die Studienergebnisse von Krämer et al. (2017) konnten ebenso keine verbesserte Verbundfestigkeit in der Adhäsivtechnik mit NaOCl-Vorbehandlung des hypomineralisierten Schmelzes darstellen [130].

Die strukturellen Gegebenheiten des Dentins eines MIH-Zahnes scheinen unbeeinflusst zu sein, sodass nach wie vor eine Präparation der Kavität bis in die gesunde Zahnhartsubstanz propagiert wird. Auf diese Weise soll eine möglichst gute Verbundfestigkeit gegenüber des Restaurationsmaterials erfolgen und Füllungsverlusten sowie Frakturen vorgebeugt werden [130].

Zusammenfassend zeigen die vorliegenden In-vitro-Untersuchungen, dass eine erfolgreiche Infiltration von MIH-Zähnen fraglich ist, da die Penetration des Infiltranten nur bei einer Minderheit der Proben möglich war. Aktuelle klinische Studien zur Methodik (siehe Kapitel 2.5.2, S. 28 ff.), insbesondere zur Vorbehandlung und Deproteinierung des Schmelzes von MIH-Zähnen zeigen, dass es mittlerweile durchaus möglich ist bessere Ergebnisse mit der Infiltrationstherapie zu erzielen.

Im Vergleich zu den Behandlungsoptionen mit GIZ, Kunststoff oder der Behandlung mittels Mikroabrasion (siehe Kapitel 2.4.3, Tabelle 9, S. 21) ist die Infiltration eine eher teure Therapiemaßnahme. Dennoch ist es ein mikroinvasives Verfahren und für Patienten eine potentielle Möglichkeit des Zahnerhalts ohne invasive konservierende oder prothetische Therapieeingriffe.

6.4 Bewertung der Nullhypothesen

6.4.1 Es bestehen keine Unterschiede zur Häufigkeit der MIH in den einzelnen Altersstufen

In den einzelnen Altersstufen der vorliegenden Querschnittsstudie von 2014/15 gab es keine Unterschiede zur Häufigkeit der MIH. Die Verteilung ergab bei den 6- bis 7-Jährigen eine Häufigkeit von 14,1 %, bei den 8- bis 10-Jährigen 13,6 % und bei den 10- bis 12-Jährigen 12,2 %. Das Ergebnis bestätigt die Annahme, dass eine MIH unabhängig von dem Alter eines Kindes vorliegt. Nach dem Fisher-Exact-Test mit $p = 0,6818$ ergab sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen den einzelnen Altersstufen und dem Vorliegen einer MIH. Die Nullhypothese bestätigt sich somit.

6.4.2 Es bestehen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Zusammenhang mit MIH

In der vorliegenden Studie (2014/15) konnten von insgesamt 2.103 Probanden bei Jungen 7,3 % (n = 154) und bei Mädchen 6,1 % (n = 129) MIH-Fälle dokumentiert werden. Diese Häufigkeit entspricht jeweils einem Anteil von 54,4 % Jungen und 45,6 % Mädchen. Nach dem Fisher-Exact-Test mit $p = 0,8615$ konnte kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Vorkommen einer MIH erbracht werden, sodass sich die Nullhypothese bestätigt.

6.4.3 Die individuelle MIH-Prävalenz wird durch die individuelle Kariesprävalenz nicht beeinflusst

Seit den 1980er Jahren ist ein deutlicher Rückgang der Karies in Deutschland zu verzeichnen. Grund für diese Entwicklung sind Präventivmaßnahmen und eine Änderung des Bewusstseins für Zahnhygiene in der Bevölkerung [17]. Eine „MIH“, für die vor 2003 noch die Begriffe „cheese molars“ oder „idiopathische Schmelzhypomineralisation“ üblich waren, ließ sich diagnostisch noch nicht einordnen [125]. Es ist fraglich, ob MIH schon zu diesem Zeitpunkt in seiner Gänze existierte und lediglich von der Diagnose Karies maskiert wurde oder ob seither eine Zunahme dieses Krankheitsbildes zu verzeichnen ist. Zahlreiche Studien beweisen, dass Kinder mit MIH deutlich häufiger eine Karies aufweisen [1,23,43,75,82,87,145,188]. Weiterhin kann durch die zunehmenden Präventionsmaßnahmen in Schulen oder die Präsenz des Themas in den Medien angenommen werden, dass die Verantwortung zur Mundgesundheit vor allem seit Preussers Studie (2007) von 2002/03 gestiegen ist [17]. Kinder mit MIH haben häufig starke Hypersensibilitäten, die dazu führen, dass oft nur eine unzureichende Mundhygiene möglich ist [178]. Infolge dieses Hygienedefizits steigt das Kariesrisiko [190]. Die vorliegende Untersuchung untermauert diese Erkenntnis. Der Gesamt-DMF-T/dmf-t-Wert lag ohne MIH bei 1,78 im LDK und bei 1,72 in Ffm. Kinder mit MIH zeigten einen Gesamtwert von 2,23 im LDK und 2,01 in Ffm. Der mittlere Gesamtwert für die komplette Untersuchungsgruppe (n = 2.103) ergab einen DMF-T/dmf-t-Wert von 1,75 ohne MIH und 2,12 mit MIH. Die Hypothese, dass die individuelle MIH-Prävalenz unbeeinflusst von der individuellen Kariesprävalenz ist, trifft somit nicht zu.

Mahoney et al. (2011) bestätigen dieses Ergebnis. Hier besteht jedoch eine Ausnahme in der 1. Dentition, bei der keine erhöhte Kariesprävalenz nachgewiesen werden konnte [152]. Dieses Resultat wird auch in den Studien von Jeremias et al. (2013) und Groselj et al. (2013) bestätigt [88,116].

Im Gegensatz zu den oben genannten Studienresultaten ergab sich in der Studie von Preusser et al. (2007) ein anderes Bild [194]. Bei Kindern mit MIH wurde ein DMF-T/dmf-t-Gesamtwert von 2,46 dokumentiert, während Kinder ohne MIH einen Wert von 3,13 aufwiesen.

Keinerlei Zusammenhänge zwischen MIH und Karies sind außerdem in der Studie von Heitmüller et al. (2012) dokumentiert [96].

6.4.4 Die Verteilung des Schweregrades der MIH macht keinen Unterschied bezüglich ländlicher und städtischer Herkunft

Die Verteilung des Schweregrades der MIH-Zähne im ländlichen und städtischen Vergleich ist unterschiedlich. Es gibt dagegen keinerlei Unterschiede in den Ergebnissen, ob lediglich die Molaren oder Molaren und Frontzähne erfasst wurden.

In Ffm waren mehr Frontzähne vom Schweregrad A betroffen, sodass der Schweregrad A mit 86,7 % höher als im LDK mit 52,2 % war. Der Schweregrad B dominierte hingegen im LDK mit 38,9 % im Vergleich zu 8,9 % in Ffm. Lediglich der Schweregrad C wich weniger voneinander ab (LDK: 8,9 %, Ffm: 4,4 %; Tabelle 20, S. 48).

Wurden nur die Sechsjahrmolaren berücksichtigt, änderte sich an der Schweregradverteilung (abfallend von A nach C) für die Gesamtgruppe (n = 2.103) nichts (67,3 % > 24,3 % > 8,4 %). Allerdings war im regionalen Vergleich ein dominierender Schweregrad B im LDK zu verzeichnen. Die höchsten Anteile für die Sechsjahrmolaren wurden in Ffm gemessen. Der Schweregrad A war hier besonders vertreten (Tabelle 21, S. 49). Statistisch lässt sich ein deutlicher Hinweis zwischen der Region und dem Auftreten des MIH-Schweregrades bei allen Molaren zeigen. Der Fisher-Exact-Test ergab für den Zahn 16 einen p-Wert von $p = 7,495E-11$, für den Zahn 26 $p = 5,756E-13$, für den Zahn 36 $p = 3,635E-09$ und für den Zahn 46 $p = 5,710E-11$. Die Nullhypothese bestätigt sich somit nicht.

In internationalen Erhebungen ist der Schweregrad A ebenfalls deutlich häufiger dokumentiert worden [209,216,232].

6.4.5 Die Prävalenz der MIH im LDK hat sich nicht verändert (2002/03–2014/15)

Die Prävalenz der MIH im LDK betrug 2002/03 5,9 % bei einer untersuchten Anzahl von 1.002 Schülern im Alter von sechs bis zwölf Jahren [194]. Im Schuljahr 2014/15 wurde die Studie unter Berücksichtigung weiterer Kriterien und mikroskopischer Untersuchungen wiederholt und erweitert. Für eine Vergleichbarkeit wurden 2014/15 im LDK 1.036 Kinder untersucht, ebenfalls in der Altersstufe sechs bis zwölf Jahre. Die Prävalenz betrug 9,4 %. Innerhalb von ca. zwölf Jahren bedeutet dies einen Anstieg von 59 %. Statistisch besteht ein deutlicher Hinweis zwischen dem Erhebungszeitpunkt und dem Auftreten einer MIH ($p = 0,0035$). Die Hypothese kann somit widerlegt werden.

Auch in der niederländischen Studie von Jasulaityte et al. (2008) ist eine Zunahme der MIH-Prävalenz in den Jahren 1999 (11-Jährige) bis 2003 (9-Jährige) von 9,7 auf 14,3 % zu beobachten [111].

6.4.6 Die Verteilung des Schweregrades der MIH im LDK hat sich nicht verändert

Die Verteilung des Schweregrades im LDK hat sich innerhalb von zwölf Jahren verändert. Während 2002/03 der Schweregrad A bei allen vier Molaren dominierte, überwog 2014/15 der Schweregrad B.

Die Untersuchung von Preusser et al. (2007) ergab einen Schweregrad A mit 67,2 %, Schweregrad B mit 25,4 % und Schweregrad C mit 7,4 % [194]. 2014/15 wurde ein Schweregrad A mit 39,3 %, ein Schweregrad B mit 47,9 % und ein Schweregrad C mit 12,8 % dokumentiert. Während die Anzahl der MIH-Molaren bei Schweregrad A abgenommen hat, ist der Anteil bei Schweregrad B und C jeweils gestiegen. Die Daten für die einzelnen Molaren bestätigen diese Aussage. Der Fisher-Exact-Test ergab für den Zahn 16 einen p-Wert von $p = 0,0053$, für den Zahn 26 $p = 0,0083$, für den Zahn 36 $p = 0,0016$ und für den Zahn 46 $p = 2,591E-05$. Es besteht demnach ein deutlicher Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Erhebungszeitpunkt und der Schweregradverteilung der einzelnen Molaren, sodass sich die Nullhypothese nicht bestätigt.

Bei Einbeziehung der Frontzähne in die Studie von 2014/15 ergab die Datenauswertung ein anderes Bild. Die Verteilung des Schweregrades blieb in den zwölf Jahren weitgehend unverändert, weil die meisten Frontzähne dem Schweregrad A zugeordnet wurden. Die Häufigkeitsverteilung entsprach den Ergebnissen aus der Untersuchung

von 2002/03. Der Schweregrad A war in beiden Zeiträumen mit Abstand der häufigste Ausprägungsgrad (2002/03: 67,2 %, 2014/15: 64,1 %). Für den Schweregrad B (2002/03: 25,4 %, 2014/15: 26,3 %) und den Schweregrad C (2002/03: 7,4 %, 2014/15: 9,6 %) wurden geringere Anteile gemessen.

Der Schweregrad A, in anderen Studien auch als milde Form bezeichnet, wird in zahlreichen Studien ebenfalls als die häufigste Ausprägungsform beschrieben [1,10,43,78,83,92,109,110,116,237]. Dieses Ergebnis gilt auch für die 1. Dentition [57]. Mit zunehmenden Alter der Probanden wird jedoch ein Voranschreiten des Schweregrades beschrieben [23]. Dieser kann in Bezug auf die poröse Zahnstruktur selbst oder durch die Kariesentwicklung aufgrund mangelnder Mundhygiene begründet liegen.

6.4.7 Es besteht kein Unterschied zwischen nationalen und internationalen Erhebungen zur Prävalenz und Lokalisation der MIH/MMH

Im nationalen und internationalen Vergleich bestehen zunächst keine Unterschiede bezüglich der Prävalenz und Lokalisationen der MIH bzw. MMH. In den internationalen Studien liegt die Prävalenz zwischen 2,1 % in Russland und 40,5 % in Saudi-Arabien [6,87]. Allerdings stützen sich die Datenerhebungen auf unterschiedliche Parameter. Während die Indizes variieren, sind auch die Probandenanzahl und das Untersuchungsalter verschieden. Ein repräsentativer Datenvergleich ist bei genauerer Betrachtung demnach nur bedingt möglich. Nur Studien mit gleicher Methodik sind tatsächlich vergleichbar.

Nach Zhao et al. (2018) liegen die globalen Prävalenzdaten (hier: 70 Studien) im Mittel bei 14,2 % [238]. Dieser Anteil entspricht durchaus dem in der vorliegenden Studie ermitteltem Ergebnis von 13,5 %.

Im nationalen Vergleich werden Häufigkeiten zwischen 4,3 und 33,8 % beschrieben [126,188]. Auch in diesen Studien sind die Methodik und Kriterien unterschiedlich. Ein statistisch repräsentativer Vergleich ist nur mit der Studie von Preusser et al. (2007) aus dem Jahr 2002/03 [194] gegeben, in der allerdings nur Schulen aus dem ländlich geprägten Lahn-Dill-Kreis miteinander verglichen wurden. Die Prävalenz ist in dieser Region von 5,9 auf 9,4 % angestiegen.

Hinsichtlich der MMH zeigen sich Prävalenzen von 0,5 % in Indien [219] bis 21,8 % in den Niederlanden [58]. Eine deutsche Studie von Kühnisch et al. (2014) [132] beschreibt

eine Prävalenz von 4,0 %. Die Ergebnisse von 2014/15 untermauern mit 3,0 % diese Datenlage.

Es lässt sich festhalten, dass es keine Unterschiede zwischen nationalen und internationalen Erhebungen zur Prävalenz der MIH und MMH gibt. Dies gilt auch für die Lokalisation der MIH. Es konnte weder eine Häufung im Ober- oder Unterkiefer (OK 52,4 %, UK 47,6 %) noch eine Häufung der rechten oder linken Kieferhälfte (rechts 51,3 %, links 48,7 %) nachgewiesen werden. Die Hypothese bestätigt sich daher nicht.

6.4.8 Die Infiltrationstherapie an MIH-Zähnen erreicht die gleichen optischen Effekte wie an initialkariösen Zähnen

Neben den histologischen und ultrastrukturellen Unterschieden zwischen hypomineralisierten MIH- und gesunden Zähnen scheint die mikromorphologische Ausrichtung der Hunter-Schreger-Linien unbeeinflusst zu sein [65]. So sind in hypomineralisierten Arealen eine geringere Dichte der Prismenstruktur, schmalere Schmelzstäbchen, ungeordnete Kristalle und strukturelle Hohlräume nachzuweisen, während in der Übergangszone lediglich die Menge der Apatitkristalle und der Prismenzusammenhalt gestört sind [16,32,62,103,220,234]. Im Vergleich zu gesunden Zähnen ist der Mineralgehalt reduziert und der Proteingehalt erhöht [69,70,153,220]. Es wird der Eindruck erweckt, dass eine Infiltration vereinfacht möglich ist, weil die Zahnhartsubstanz stark porös und das Porenvolumen erhöht ist [38,106].

In der Literatur können viele Studien eine positive ästhetische Behandlung von MIH-Läsionen berichten. Meist handelt es sich um milde Formen der MIH [8,156]. Bei gelbbraunen Farbveränderungen waren die Ergebnisse nicht garantiert [155]. Hier kann eine Tiefeninfiltration [12], eine „Etch-bleach-seal“-Technik [195] oder eine verlängerte Applikationszeit des Infiltranten hilfreich sein [156].

Tatsächlich konnten in der gegenwärtigen In-vitro-Untersuchung mit MIH-Zähnen Infiltrationstiefen von über 500 µm erfasst werden (Abbildung 19, S. 62, rot). Die Mehrheit aller infiltrierten MIH-Molaren zeigte jedoch, dass der Infiltrant kaum penetrierte oder dem Zahn nur oberflächlich auflag (Abbildung 22, S. 64), obwohl der hypomineralisierte Bereich (Abbildung 17, S. 61, gelblich) mehr Eindringtiefe vermuten ließ. Die Studie von Crombie et al. (2014) unterstützt die These der unzuverlässigen und unregelmäßigen Eindringtiefe des Infiltranten [38].

Die Infiltrationsbehandlung an initialkariösen Läsionen hingegen ist seit vielen Jahren ausgiebig untersucht worden. Die Arbeitsgruppe von Paris und Meyer-Lückel hat zu diesem Thema viele Studien veröffentlicht. Während die Progression einer Läsion

minimiert werden kann und die Erfolge bei ICDAS-Kategorisierung bis Code 3 vielversprechend sind, kann eine verbesserte Infiltrationstiefe bei tiefen Läsionen mit einer verlängerten Applikationszeit (ab drei Minuten) erreicht werden [182–184]. Auch die ästhetische Maskierung von „white spot lesions“ mit zielführenden Ergebnissen ist hinreichend dokumentiert [30,48,230].

Die Ergebnisse der gegenwärtigen In-vitro-Untersuchung hinsichtlich der Kariesinfiltration bestätigen die Studienlage und zeigten erfolgreiche Infiltrationsergebnisse mit Eindringtiefen von 284 µm und 526 µm (Kapitel 5.4.1, S. 57 ff.).

Für klinische Studien lässt sich festhalten, dass eine klassische Infiltrationstherapie mit ICON (Fa. DMG) bei MIH-Zähnen nicht verlässlich ist und eine vollständige Maskierung einer Opazität jeden Schweregrades nicht gewährleisten kann [155]. Während bei milden MIH-Formen ästhetische Erfolge beschrieben werden [8,156], sind schwerwiegende gelb-braune Farbveränderungen erfolgreicher mit invasiveren Methoden oder kombinierten Verfahren zu behandeln [12,156,195].

Die Hypothese bestätigt sich aus diesem Grund nicht.

7. Zusammenfassung

Zielsetzung: Das Ziel der vorliegenden Querschnittsstudie war die Erhebung von MIH- und MMH-Prävalenzdaten 6- bis 12-jähriger Kinder im Stadt-Land-Vergleich. Hierzu wurden Daten im ländlich geprägten Lahn-Dill-Kreis (LDK) in Mittelhessen und in Frankfurt am Main (Ffm) erhoben und miteinander verglichen. Für die Darstellung eines Entwicklungstrends in der ländlichen Region LDK wurden Vergleichsdaten aus einer früheren Studie von Preusser et al. (2007) von 2002/03 herangezogen.

Begleitend zur epidemiologischen Studie sollten die strukturellen Unterschiede an kariösen und MIH-Zähnen mithilfe der Infiltrationstechnik untersucht werden.

Methode: Im Schuljahr 2014/15 wurden im Rahmen jährlicher schulzahnärztlicher Kontrollen insgesamt 2.103 6- bis 12-jährige Schulkinder (LDK: n = 1.036; Ffm: n = 1.067) an insgesamt 14 Schulen untersucht. Acht kalibrierte Zahnärzte des öffentlichen Gesundheitsdienstes nahmen die Beurteilung zur MIH gemäß der EAPD-Kriterien und Schweregradeinteilung nach Wetzels und Reckel (1991) vor [228]. Weiterhin wurden das Alter, die Herkunft und das Geschlecht der Probanden, der Flächenbefund und die Karieshistorie (DMF-T/dmf-t-Werte) erfasst.

Die Infiltrationsmethode wurde mit dem Produkt ICON (Fa. DMG, Hamburg) an elf kariösen und 18 MIH-Zähnen vorgenommen. Das Verfahren wurde unter Verwendung von NaOCl 5,25 % für 120 s ergänzt. Es wurden Längsschnitte der Dicke 100 µm angefertigt und die Farbstoffe Rhodamin-B-Isothiocyanat mit 0,1 % und Natriumfluorescein mit 0,1 mM benutzt, um die Eindringtiefe im Läsionskörper am konfokalen Lasermikroskop (CLSM) sichtbar zu machen.

Ergebnisse: Die Prävalenz der MIH und MMH betrug 9,4 bzw. 3,2 % im LDK und 17,4 bzw. 2,9 % in Ffm. Während im LDK hypomineralisierte Sechsjahrmolaren mehrheitlich dem Schweregrad B zugeordnet wurden, dominierte in Ffm der Schweregrad A. In den meisten Fällen konnten abgrenzbare Opazitäten dokumentiert werden. Im Vergleich zum Schuljahr 2002/03 stieg im LDK die MIH von 5,9 auf 9,4 % an. Es gab weder geschlechtsspezifische noch altersabhängige Unterschiede in der MIH/MMH-Prävalenz. Bei Kindern mit MIH bestand eine höhere Kariesprävalenz (DMF-T-/dmf-t-Gesamtwert: 2,12 [MIH]; 1,75 [keine MIH]). Weiterhin bestand bei Kindern mit einer MMH eine Wahrscheinlichkeit von 11,32 (95 % KI 6,73–19,03) eine MIH in der bleibenden Dentition zu bekommen.

Die Infiltrationstiefe bei den zwei exemplarisch dargestellten kariösen Zähnen betrug bis zu 526 µm. Bei den MIH-Zähnen konnte eine Penetrationstiefe bis zu 833 µm erreicht werden. In der Regel drang der Infiltrant jedoch gar nicht in die Porositäten ein.

Schlussfolgerung: Die Daten zur MIH-Prävalenz weisen regionale Unterschiede auf. Zudem scheint eine MMH ein Prädiktor für das Auftreten einer MIH zu sein. Der MIH-Anstieg von 59 % im LDK über eine Zeitspanne von zwölf Jahren gibt Anlass für weitere Untersuchungen zur MIH-Ätiologie.

Das ICON-Infiltrationsverfahren ist bei Zähnen mit Initialkaries verlässlich durchführbar. Bei MIH-Zähnen ist die Infiltrationsmethode sporadisch möglich. Mehrheitlich hat eine Penetration des Infiltranten jedoch nicht stattgefunden. Weitere Untersuchungen zur Vorbehandlung von MIH-Zähnen sind daher erforderlich.

8. Summary

Objective: The aim of the current cross-sectional study was to collect MIH and DMH prevalence data in 6-12-year-old children in an urban-rural comparison. For this purpose, data in the rural Lahn-Dill-Kreis (LDK) in Central Hesse and in Frankfurt am Main (Ffm) were collected and compared. In order to show a development trend of the MIH, the surveys of the rural region were compared with data of an earlier study by Preusser et al. (2007) from 2002/03.

Accompanying the epidemiological study, the structural differences in carious and MIH-affected teeth were to be examined using the infiltration technique.

Method: In the 2014/15 school year, a total of 2,103 6-12-year-old school children (LDK: n = 1,036; Ffm: n = 1,067) at a total of 14 schools were examined as part of annual school dental check-ups. Eight calibrated dentists from the public health service performed the assessment of MIH according to the EAPD criteria and severity classification according to Wetzel and Reckel [204]. Furthermore, the age, origin and sex of the subjects, the surface area and the caries history (DMF-T/dmf-t) were recorded.

The infiltration method was carried out with the product ICON (DMG, Hamburg) on 11 carious and 18 MIH-affected teeth. The procedure was supplemented using NaOCl 5.25 % for 120 s. Longitudinal sections with a thickness of 100 µm were prepared and the dyes rhodamine B isothiocyanate with 0.1 % and sodium fluorescein with 0.1 mM were used to visualize the penetration depth in the lesion body using the confocal laser scanning microscope (CLSM).

Results: The prevalence of MIH and HSPM (hypomineralized second primary molars) was 9.4 % / 3.2 % in LDK and 17.4 % and 2.9 % in Ffm. While in LDK hypomineralized first permanent molars were mostly classified as grade B, in Ffm the grade of severity A was dominant. Definable opacities could be documented in most of all cases. Compared to the 2002/03 school year, an increase in MIH from 5.9 % to 9.4 % could be determined in the rural region (LDK). There were neither gender-specific nor age-related differences in MIH/HSPM prevalence. A higher caries prevalence was found in children with MIH (DMF-T/dmf-t total: 2.12 [MIH]; 1.75 [no MIH]). Furthermore, in children with HSPM there was an odds ratio of 11.32 (95 % CI 6.73–19.03) of getting MIH in the permanent detachment.

The infiltration depth in the 2 carious teeth presented as an example was up to 526 μm . A penetration depth of up to 833 μm could be achieved with the MIH-affected teeth. As a rule, however, the infiltrant did not penetrate the porosities at all.

Conclusion: The data on MIH prevalence show regional differences. In addition, HSPM seems to be a predictor for the occurrence of MIH. The 59 % increase in MIH in LDK over a 12-year period prompts further investigation of MIH etiology.

The ICON infiltration procedure can be carried out reliably on teeth with initial caries. In the case of MIH-affected teeth, the infiltration method is sporadically possible. In most cases, however, the infiltrant did not penetrate. Further investigations into the pre-treatment of MIH-affected teeth are therefore required.

9. Abkürzungsverzeichnis

Am	Amalgam
APGAR	Test zur Beurteilung des klinischen Zustands Neugeborener
6JM	6-Jahr-Molar, Sechsjahrmolar
b	bukkal
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
Ca	Kalzium
ca.	circa
CI	Confidence Interval, deutsch: Konfidenzintervall (siehe unten)
CLSM	Confocal Laser Scanning Microscope
CPP-ACP	Casein-Phosphopeptid amorphes Calciumphosphat
D	Dentin
D/d	laut DMF-/dmf-Index für decayed (zerstört)
d	distal
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege
DDE-Index	epidemiological index of developmental defects of dental enamel
DMF-T/dmf-t	Kariesindex-Kriterien in 1. und 2. Dentition (decayed, missing, filled, teeth)
EAPD	European Academy of Paediatric Dentistry
EDI	Enamel Defect Index
F/f	laut DMF-/dmf-Index für filled (gefüllt)
ff.	folgende
FITC	Fluorescein-5-isothiocyanat
g	Gramm
GIZ	Glasionomerzement
HCl	Salzsäure
HSPM	Hypomineralized Second Primary Molars; deutsch: hypomineralisierte zweite Milchmolaren
IRM	Intermediate Restorative Material (Zinkoxid-Eugenol-Zement)
I	lingual
ICDAS	International Carious Detection And Assessment System
ICON	niedrigvisköser Infiltrationskunststoff der Firma DMG, Hamburg
K	Krone

KI	Konfidenzintervall (Wahrscheinlichkeit des Lagebereichs eines Parameters, Konfidenzniveau 95 %)
KST	Kunststoff
LDK	Lahn-Dill-Kreis
M/m	laut DMF-/dmf-Index für missing (fehlend)
m	mesial
mM	Millimol
MIH	Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation
MMH	Milchmolaren-Hypomineralisation
MMP20	Matrix-Metalloproteinase-20
MTA	Mineral-Trioxide-Aggregate
nm	Nanometer
n	Anzahl
N	Stickstoff
NaF	Natriumfluorid
NaOCl	Natriumhypochlorid
Nr.	Nummer
O	Sauerstoff
o	okklusal
OK	Oberkiefer
OR	Odds Ratio; deutsch: Chancenverhältnis, Maß für die Effektstärke eines Zusammenhangs
P	Phosphor
p	palatinal
p-Wert	statistische Größe zur Beurteilung zufälliger Stichproben zweier Gruppen, Hypothesentest
s	Sekunden
S	Schmelz
S.	Seite
SK	Schmelzkaries
u.	und
UK	Unterkiefer
FV	Fissurenversiegelung
Vol.-%	Volumenprozent
Z	Zement

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	MIH-Grad A, Frontzähne (11, 21, 31, 41), © Prof. Dr. Norbert Krämer	3
Abbildung 2:	MIH-Grad A, Sechsjahrmolar (46),	3
Abbildung 3:	MIH-Grad B, Frontzähne (11, 21, 31, 32), © Prof. Dr. Norbert Krämer	4
Abbildung 4:	MIH-Grad B,	4
Abbildung 5:	MIH-Grad C, Frontzähne (11, 21), © Prof. Dr. Norbert Krämer	4
Abbildung 6:	MIH-Grad C, Sechsjahrmolar (46),	4
Abbildung 7:	tag-Typen nach Gandhi et al. (2012) [73]	30
Abbildung 8:	Befunddokumentation: Allgemeine Angaben zur Person	36
Abbildung 9:	Befunddokumentation: Spezielle Angaben zum MIH-Befund	38
Abbildung 10:	Befunddokumentation: Kariesbefund (DMF-T/dmf-t)	39
Abbildung 11:	Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); S = Schmelz, D = Dentin.	57
Abbildung 12:	Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); S = Schmelz, D = Dentin.	57
Abbildung 13:	Aufnahme einer Schmelzkaries eines Molaren mit dem Makroskop (CLSM); I = Infiltrant ICON, S = Schmelz, D = Dentin, L = Läsionskörper.	58
Abbildung 14:	Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); S = Schmelz, D = Dentin.	59
Abbildung 15:	Aufnahme einer Schmelzkaries (SK) eines Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); S = Schmelz, D = Dentin.	59
Abbildung 16:	Aufnahme einer Schmelzkaries eines Molaren mit dem Makroskop (CLSM); I = Infiltrant, ICON, L = Läsionskörper, S = Schmelz, D = Dentin.	60
Abbildung 17:	Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin.....	61
Abbildung 18:	Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); HS = hypomineralisierter Schmelz, D = Dentin, GS = gesunder Schmelz.	61

- Abbildung 19: Aufnahme einer okklusalen und approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (CLSM); GS = gesunder Schmelz, P = Penetration, L = Läsionskörper, D = Dentin, I = Infiltration mit ICON..... 62
- Abbildung 20: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (kein Filter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin..... 63
- Abbildung 21: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation (HS = hypomineralisierter Schmelz) eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (Fluoreszenzlichtfilter); GS = gesunder Schmelz, D = Dentin. 63
- Abbildung 22: Aufnahme einer approximalen Hypomineralisation eines MIH-Molaren mit dem Makroskop (CLSM); GS = gesunder Schmelz, L = Läsionskörper, D = Dentin, IA = Infiltrant oberflächlich aufliegend... 64

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prävalenzstudien zur MIH in Afrika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach EDI = Enamel Defect Index, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Kemoli et al. und EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry 6
Tabelle 2:	Prävalenzstudien zur MIH in Asien: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach DDE = Index of Developmental Defects of Dental Enamel, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Wetzel und Reckel, Clarkson und O'Mullane, Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD; die Türkei wurde dem Kontinent Asien demografisch zugeordnet..... 6
Tabelle 3:	Prävalenzstudien zur MIH in Ozeanien: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel 9
Tabelle 4:	Prävalenzstudien zur MIH in Europa: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach EDI = Enamel Defect Index, DDE = Index of Developmental Defects of Dental Enamel, mDDE = modifizierter Index of Developmental Defects of Dental Enamel, nach Kriterien von Wetzel und Reckel, Koch et al., Alaluusua et al. (1996), Calderara et al., Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD..... 9
Tabelle 5:	Prävalenzstudien zur MIH in Nordamerika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry..... 12

Tabelle 6:	Prävalenzstudien zur MIH in Südamerika: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Mathu-Muju und Wright sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry 13
Tabelle 7:	Epidemiologische Studien zur MMH-Prävalenz: Tabellarische Darstellung einzelner Erhebungsdaten; k. A. = keine Angabe in der Studie; Untersuchungsindizes nach Kriterien von Kemoli et al. sowie der EAPD = European Academy of Paediatric Dentistry, Kriterien nach Weerheijm et al. (2003) entsprechen den Kriterien der EAPD; die Türkei wurde dem Kontinent Asien demografisch zugeordnet..... 14
Tabelle 8:	MIH-TNI, Teil 1: Befunderhebung nach Bekes et al. (2016) [217]; Kategorisierung durch 0 bis 4 Indexpunkte mit Untergruppierung der Indexpunkte 2 und 4..... 20
Tabelle 9:	MIH-TNI, Therapieschema, Teil 2: Therapieplanung; Kategorisierung der Therapieoptionen von A bis F mit Unterpunkten in Abhängigkeit des TNI-Index; TCP = Tricalciumphosphat, CCP-ACP = Casein-Phosphopeptid amorphem Calciumphosphat, F = Fluorid, FV = Fissurenversiegelung, GIZ = Glasionomerzement, SDF = silver diamine fluoride, SSC = stainless steel crown (konfektionierte Stahlkrone), Therapieoptionen für Frontzähne rot markiert, für Seitenzähne grün markiert, Therapieoptionen A gelten sowohl für Front- als auch für Seitenzähne (blau) 21
Tabelle 10:	Verteilung der Schüler auf die teilnehmenden Schulen im Lahn-Dill-Kreis 2014/15..... 42
Tabelle 11:	Verteilung der Schüler auf die teilnehmenden Schulen in Frankfurt am Main 2014/15 43
Tabelle 12:	Verteilung der Anzahl teilnehmender Schüler nach Alter und Geschlecht im LDK und in Ffm im Schuljahr 2014/15 (n = 2.103) ... 44
Tabelle 13:	Verteilung der Anzahl teilnehmender Probanden nach Alter und Geschlecht im LDK im Schuljahr 2014/15 (n = 1.036) 44
Tabelle 14:	Anzahl städtischer und ländlicher Verteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren, Frontzähne (MIH) und Milchmolaren (MMH) in Ffm und im LDK 45
Tabelle 15:	Verteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren im LDK und in Ffm mit Geschlechtsdifferenzierung 46

Tabelle 16:	Verteilung hypomineralisierter Molaren nach durchschnittlicher Anzahl pro Kind.....	46
Tabelle 17:	Verteilung der Anzahl hypomineralisierter Molaren pro Kind in regionaler Differenzierung (LDK/Ffm).....	47
Tabelle 18:	Regionale Verteilung hypomineralisierter Molaren im Ober- und Unterkiefer	47
Tabelle 19:	Regionale Verteilung hypomineralisierter Molaren zwischen rechter und linker Kieferhälfte	48
Tabelle 20:	Schweregradverteilung hypomineralisierter Sechsjahrmolaren und Frontzähne im LDK und in Ffm.....	48
Tabelle 21:	Schweregradverteilung einzelner hypomineralisierter Sechsjahrmolaren in Abhängigkeit von der Region	49
Tabelle 22:	Flächenbefunde der einzelnen hypomineralisierten Sechsjahrmolaren (MIH) und der Milchmolaren (MMH), Angaben in Zahlenwerten; Legende: FV = Farbveränderung, SV = Substanzverlust, AR = atypische Restauration, n. B. = nicht beurteilbar.....	50
Tabelle 23:	Einteilung der Untersuchungsergebnisse des Schuljahres 2014/15 nach EAPD-Kriterien im Stadt-Land-Vergleich, Häufigkeit aller MIH-Zähne in absoluten Zahlen und in %; Legende: FZ = Frontzähne, M = Molaren, MM = Milchmolaren; PEB = Posteruptiver Schmelzeinbruch, k. B. = keine Beurteilung	51
Tabelle 24:	Einteilung der Untersuchungsergebnisse des Schuljahres 2014/15 nach EAPD-Kriterien im Stadt-Land-Vergleich, Häufigkeit pro Proband in absoluten Zahlen und in %; Legende: FZ = Frontzähne, M = Sechsjahrmolaren, MM = Milchmolaren; PEB = Posteruptiver Schmelzeinbruch, k. B. = keine Beurteilung	51
Tabelle 25:	DMF-T- und dmf-t-Befunde im LDK nach Altersgruppen	52
Tabelle 26:	DMF-T- und dmf-t-Befunde in Ffm nach Altersgruppen	52
Tabelle 27:	Regionale DMF-T- und dmf-t-Mittelwerte der einzelnen Altersstufen sowie Angaben der Quartile, Minima, Maxima und Medianwerte	52
Tabelle 28:	Regionale DMF-T/dmf-t-Gesamt-Mittelwerte nach Altersgruppen sowie Angaben der Quartile, Minima, Maxima und Medianwerte	53
Tabelle 29:	Anzahl kariesfreier und kariöser Befunde im bleibenden Gebiss und Milchgebiss in der gesamten Gruppe (LDK + Ffm).....	53
Tabelle 30:	DMF-T und dmf-t-Befunde in Zusammenhang mit MIH (Sechsjahrmolaren) im LDK und Ffm (Mittelwerte mit SD)	54

Tabelle 31: Vergleich der Untersuchungsjahre 2002/03 und 2014/15 im LDK ... 55

12. Literaturverzeichnis

1. Ahmadi R, Ramazani N, Nourinasab R (2012) Molar Incisor Hypomineralization: A Study of Prevalence and Etiology in a Group of Iranian Children. *Iran J Pediatr* 22:245-251
2. Ainamo J, Cutress TW (1982) An epidemiological index of developmental defects of dental enamel (DDE Index). *Int Dent J* 32:159-167
3. Alaluusua S (2010) Aetiology of Molar-Incisor Hypomineralisation: A systematic review. *Eur Arch Paediatr Dent* 11:53-58
4. Alaluusua S, Lukinmaa P-L, Koskimies M et al. (1996) Developmental dental defects associated with long breast feeding. *Eur J Oral Sci* 104:493-497
5. Alaluusua S, Lukinmaa P-L, Vartiainen T, Partanen M, Torppa J, Tuomisto J (1996) Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans via mother's milk may cause developmental defects in the child's teeth. *Environ Toxicol Pharmacol* 1:193-197
6. Alhowaish L, Baidas L, Aldhubaiban M, Bello LL, Al-Hammad N (2021) Etiology of Molar-Incisor Hypomineralization (MIH): A Cross-Sectional Study of Saudi Children. *Children* 8:466-474. <https://doi.org/10.3390/children8060466>
7. Allazzam SM, Alaki SM, El Meligy OAS (2014) Molar incisor hypomineralization, prevalence, and etiology. *Int J Dent.* <https://doi.org/10.1155/2014/234508>
8. Altan H, Yilmaz RE (2023) Clinical evaluation of resin infiltration treatment masking effect on hypomineralised enamel surfaces. *BMC Oral Health* 23:444. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03140-6>
9. Andrade NS, Pontes AS, de Sousa Paz HE, Moura MS, Moura LdFAdD, Lima MdDM (2017) Molar incisor hypomineralization in HIV-infected children and adolescents. *Spec Care Dentist* 37:28-37. <https://doi.org/10.1111/scd.12209>
10. Arrow P (2008) Prevalence of developmental enamel defects of the first permanent molars among school children in Western Australia. *Aust Dent J* 53:250-259. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2008.00057.x>

11. Arrow P (2009) Risk factors in the occurrence of enamel defects of the first permanent molars among schoolchildren in Western Australia. *Community Dent Oral Epidemiol* 37:405-415. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2009.00480.x>
12. Attal JP, Atlan A, Denis M, Vennat E, Tirlet G (2014) White spots on enamel: treatment protocol by superficial or deep infiltration (part 2). *Int Orthod* 12: 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2013.12.011>
13. Ballikaya E, Ünverdi GE, Cehreli ZC (2022) Management of initial carious lesions of hypomineralized molars (MIH) with silver diamine fluoride or silver-modified atraumatic restorative treatment (SMART): 1-year results of a prospective, randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 26: 2197-2205. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04236-5>
14. Balmer R, Toumba J, Godson J, Duggal M (2012) The prevalence of molar incisor hypomineralisation in Northern England and its relationship to socioeconomic status and water fluoridation. *Int J Paediatr Dent* 22:250-257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01189.x>
15. Balmer R, Toumba KJ, Munyombwe T, Duggal MS (2015) A comparison of the presentation of molar incisor hypomineralisation in two communities with different fluoride exposure. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:257-264. <https://doi.org/10.1007/s40368-014-0170-8>
16. Baroni C, Marchionni S (2011) MIH supplementation strategies: prospective clinical and laboratory trial. *J Dent Res* 90:371-376. <https://doi.org/10.1177/0022034510388036>
17. Basner R, Santamaria RM, Schmoeckel J et al. (2017) Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2016. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e. V. (DAJ) 1-244
18. Beentjes V, Weerheijm KL, Groen HJ (2002) Factors involved in the aetiology of molar-incisor hypomineralisation (MIH). *Eur J Paediatr Dent* 1:9-13
19. Bekes K, Krämer N, van Waes H, Steffen R (2016) Das Würzburger-MIH-Konzept: Teil 2. Der Therapieplan. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 38:171-175
20. Bekes K, Steffen R (2016) Das Würzburger MIH-Konzept: Teil 1. Der MIH-Treatment Need Index (MIH-TNI). *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 38:165-170. <https://doi.org/10.3238/OPKZH.2016.0165-0170>

21. Bekes K, Steffen R, Krämer N (2023) Update of the molar incisor hypomineralization: Würzburg concept. *Eur Arch Paediatr Dent* 24: 807-813. <https://doi.org/10.1007/s40368-023-00848-5>
22. Bhandari R, Thakur S, Singhal P, Chauhan D, Jayam C, Jain T (2018) Concealment effect of resin infiltration on incisor of Grade I molar incisor hypomineralization patients: An in vivo study. *J Conserv Dent* 21:450-454. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_61_18
23. Bhaskar SA, Hegde S (2014) Molar-incisor hypomineralization: prevalence, severity and clinical characteristics in 8- to 13-year-old children. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 32:322-329. <https://doi.org/10.4103/0970-4388.140960>
24. Biondi AM, Cortese SG, Martinez K et al. (2011) Prevalence of molar incisor hypomineralization in the city of Buenos Aires. *Acta Odontol Latinoam* 24:81-85
25. Biondi AM, Lopez Jordi MDC, Cortese SG, Alvarez L, Salveraglio I, Ortolani AM (2012) Prevalence of molar-incisor hypomineralisation (MIH) in children seeking dental care at the schools of dentistry of the university of Buenos Aires (Argentina) an university of La Republica (Uruguay). *Acta Odontol Latinoam* 25:224-230
26. Brogårdh-Roth S, Matsson L, Klingberg G (2011) Molar-incisor hypomineralization and oral hygiene in 10- to-12-yr-old Swedish children born preterm. *Eur J Oral Sci* 119:33-39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2011.00792.x>
27. Bullio Fragelli CM, Jeremias F, Feltrin de Souza J, Paschoal MA, de Cássia Loiola Cordeiro R, Santos-Pinto L (2015) Longitudinal Evaluation of the Structural Integrity of Teeth Affected by Molar Incisor Hypomineralisation. *Caries Res* 49:378-383. <https://doi.org/10.1159/000380858>
28. Cabasse C, Marie-Cousin A, Huet A, Sixou JL (2015) Computer-assisted intraosseous anaesthesia for molar and incisor hypomineralisation teeth. A preliminary study. *Odontostomatol Trop* 38:5-9
29. Calderara PC, Gerthoux PM, Mocarelli P, Lukinmaa PL, Tramacere PL, Alaluusua S (2005) The prevalence of Molar Incisor Hypomineralisation (MIH) in a group of Italian school children. *Eur J Paediatr Dent* 2:79-83

30. Cazzolla AP, Franco AR de, Lacaita M, Lacarbonara V (2018) Efficacy of 4-year treatment of icon infiltration resin on postorthodontic white spot lesions. *BMJ Case Rep*. <https://doi.org/10.1136/bcr-2018225639>
31. Cervantes Mendez MJ, Abudawood S, Hatch JP, Chun YP (2015) Prevalence of Molar-Incisor Hypomineralization in South Texas. UT Health Science Center. Presented at the IIMS Community Engagement Symposium San Antonio, Texas
32. Chan YL, Ngan AHW, King NM (2010) Degraded prism sheaths in the transition region of hypomineralized teeth. *J Dent* 38:237-244. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.11.003>
33. Chay PL, Manton DJ, Palamara JEA (2013) The effect of resin infiltration and oxidative pre-treatment on microshear bond strength of resin composite to hypomineralised enamel. *Int J Paediatr Dent* 24:252-267. <https://doi.org/10.1111/ipd.12069>
34. Cho SY, Ki Y, Chu V (2008) Molar incisor hypomineralization in Hong Kong Chinese children. *Int J Paediatr Dent* 18:348-352. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2008.00927.x>
35. Clarkson J, O'Mullane D (1989) A Modified DDE Index for Use in Epidemiological Studies of Enamel Defects. *J Dent Res* 68:445-450. <https://doi.org/10.1177/00220345890680030201>
36. Comes Martínez Á, de la Puente Ruiz C (2007) The prevalence of MIH (Molar-Incisor-Hypomineralization) in the Área 2 children population of Madrid. *RCOE* 12:129-134. Published by SciELO
37. Condo R, Perugia C, Maturo P, Docimo R (2012) MIH: Epidemiologic Clinic Study in Paediatric Patient. *Oral Implantol* 5:58-69
38. Crombie F, Manton D, Palamara J, Reynolds E (2013) Resin infiltration of developmentally hypomineralised enamel. *Int J Paediatr Dent* 24:51-55. <https://doi.org/10.1111/ipd.12025>
39. Crombie F, Manton D, Reynolds E (2011) Therapie der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) in einem schwierigen Umfeld. *Quintessenz* 62:1593-1599
40. Crombie FA, Cochrane NJ, Manton DJ, Palamara JEA, Reynolds EC (2013) Mineralisation of developmentally hypomineralised human enamel in vitro. *Caries Res* 47:259-263. <https://doi.org/10.1159/000346134>

41. Crombie FA, Manton DJ, Palamara JEA, Zalizniak I, Cochrane NJ, Reynolds EC (2013) Characterisation of developmentally hypomineralised human enamel. *J Dent* 41:611-618. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.05.002>
42. da Costa-Silva CM, Ambrosano GMB, Jeremias F, Souza JFd, Mialhe FL (2011) Increase in severity of molar-incisor hypomineralization and its relationship with the colour of enamel opacity: a prospective cohort study. *Int J Paediatr Dent* 21:333-341. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01128.x>
43. da Costa-Silva CM, Jeremias F, Souza JFd, Cordeiro, R. de Cássia Loiola, Santos-Pinto L, Zuanon ACC (2010) Molar incisor hypomineralization: prevalence, severity and clinical consequences in Brazilian children. *Int J Paediatr Dent* 20:426-434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2010.01097.x>
44. da Silva Figueiredo Sé AJ, Dias Ribeiro AP, Aparecida Martins dos Santos-Pinto L, de Cassia Loiola Cordeiro R, Nunes Cabral R, Coelho Leal S (2017) Are Hypomineralized Primary Molars and Canines Associated with Molar-Incisor Hypomineralization? *Pediatr Dent* 39:445-449
45. Davenport M, Welles AD, Angelopoulou MV et al. (2019) Prevalence of molar-incisor hypomineralization in Milwaukee, Wisconsin, USA: a pilot study. *Clin Cosmet Investig Dent* 11:109-117. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S172736>
46. Dietrich G, Sperling S, Hetzer G (2003) Molar Incisor Hypomineralisation in a group of children and adolescents living in Dresden (Germany). *Eur J Paediatr Dent* 4:133-137
47. Donly KJ, Sasa I, Contreras CI, Cervantes Mendez MJ (2018) Prospective Randomized Clinical Trial of Primary Molar Crowns: 24-Month Results. *Pediatr Dent* 40:253-258
48. Eckstein A, Helms H-J, Knösel M (2015) Camouflage effects following resin infiltration of postorthodontic white-spot lesions in vivo: One-year follow-up. *Angle Orthod* 85:374-380. <https://doi.org/10.2319/050914-334.1>
49. Eichenberger M, Erb J, Zwahlen M, Schätzle M (2015) The timing of extraction of non-restorable first permanent molars: a systematic review. *Eur J Paediatr Dent* 4:272-278
50. ElBaz GA, Mahfouz SM (2017) Efficacy of two different treatment modalities on masking white spot lesions in children with molar incisor hypomineralization. *Egypt Dent J* 63:2147-2154

51. Elcock C, Lath DL, Luty JD et al. (2006) The new Enamel Defects Index: testing and expansion. *Eur J Oral Sci* 114:35-38
52. Elfrink MEC, Cate JM ten, Jaddoe VWV, Hofman A, Moll HA, Veerkamp JSJ (2012) Deciduous molar hypomineralization and molar incisor hypomineralization. *J Dent Res* 91:551-555. <https://doi.org/10.1177/0022034512440450>
53. Elfrink MEC, Cate JM ten, van Ruijven LJ, Veerkamp JSJ (2013) Mineral content in teeth with deciduous molar hypomineralisation (DMH). *J Dent* 41:974-978. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.08.024>
54. Elfrink MEC, Ghanim A, Manton DJ, Weerheijm KL (2015) Standardised studies on Molar Incisor Hypomineralisation (MIH) and Hypomineralised Second Primary Molars (HSPM): a need. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:247-255. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0179-7>
55. Elfrink MEC, Moll HA, Kiefte-de Jong JC et al. (2013) Is maternal use of medicines during pregnancy associated with deciduous molar hypomineralisation in the offspring? A prospective, population-based study. *Drug Saf* 36:627-633. <https://doi.org/10.1007/s40264-013-0078-y>
56. Elfrink MEC, Moll HA, Kiefte-de Jong JC et al. (2014) Pre- and postnatal determinants of deciduous molar hypomineralisation in 6-year-old children. The generation R study. *PLoS ONE* 9: e91057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091057>
57. Elfrink MEC, Schuller AA, Weerheijm KL, Veerkamp JSJ (2008) Hypomineralized second primary molars: prevalence data in Dutch 5-year-olds. *Caries Res* 42:282-285. <https://doi.org/10.1159/000135674>
58. Elfrink MEC, Veerkamp JSJ, Aartman IHA, Moll HA, Cate JM ten (2009) Validity of scoring caries and primary molar hypomineralization (DMH) on intraoral photographs. *Eur Arch Paediatr Dent* 10:5-10
59. Elhussein M, Jamal H (2020) Molar Incisor Hypomineralisation-To Extract or to Restore beyond the Optimal Age? *Children* 7:91. <https://doi.org/10.3390/children7080091>
60. Emmatty TB, Eby A, Joseph MJ, Bijimole J, Kavita K, Asif I (2020) The prevalence of molar incisor hypomineralization of school children in and around Muvattupuzha, Kerala. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 38:14-19. https://doi.org/10.4103/JISPPD.JISPPD_152_18

61. Estivals J, Fahd C, Baillet J, Rouas P, Manton DJ, Garot E (2023) The prevalence and characteristics of and the association between MIH and HSPM in South-Western France. *Int J Paediatr Dent* 33:298-304. <https://doi.org/10.1111/ipd.13040>
62. Fagrell TG, Dietz W, Jälevik B, Norén JG (2010) Chemical, mechanical and morphological properties of hypomineralized enamel of permanent first molars. *Acta Odontol Scand* 68:215-222. <https://doi.org/10.3109/00016351003752395>
63. Fagrell TG, Lingström P, Olsson S, Steiniger F, Norén JG (2008) Bacterial invasion of dentinal tubules beneath apparently intact but hypomineralized enamel in molar teeth with molar incisor hypomineralization. *Int J Paediatr Dent* 18:333-340. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2007.00908.x>
64. Fagrell TG, Ludvigsson J, Ullbro C, Lundin SA, Koch G (2011) Aetiology of severe demarcated enamel opacities - an evaluation based on prospective medical and social data from 17,000 children. *Swed Dent J* 35:57-67
65. Fagrell TG, Salmon P, Melin L, Norén JG (2013) Onset of Molar Incisor Hypomineralization (MIH). *Swed Dent J* 37:61-70
66. Farah R, Drummond B, Swain M, Williams S (2010) Linking the clinical presentation of molar-incisor hypomineralisation to its mineral density. *Int J Paediatr Dent* 20:353-360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2010.01061.x>
67. Farah RA, Drummond BK, Swain MV, Williams S (2008) Relationship between laser fluorescence and enamel hypomineralisation. *J Dent* 36:915-921. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.07.012>
68. Farah RA, Monk BC, Swain MV, Drummond BK (2010) Protein content of molar-incisor hypomineralisation enamel. *J Dent* 38:591-596. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.04.012>
69. Farah RA, Swain MV, Drummond BK, Cook R, Atieh M (2010) Mineral density of hypomineralised enamel. *J Dent* 38:50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.09.002>
70. Fearne J, Anderson P, Davis GR (2004) 3D X-ray microscopic study of the extent of variations in enamel density in first permanent molars with idiopathic enamel hypomineralisation. *Br Dent J* 194:634-638. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4811282>

71. Fonseca Padua Goncalves Tourino L, Correa-Faria P, Ferreira RC, Bendo CB, Zarzar PM, Vale MP (2016) Association between Molar Incisor Hypomineralization in Schoolchildren and Both Prenatal and Postnatal Factors: A Population-Based Study. *PLoS One* 11:e0156332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156332>
72. Fteita D, Ali A, Alaluusua S (2006) Molar-incisor hypomineralization (MIH) in a group of school-aged children in Benghazi, Libya. *Eur Arch Paediatr Dent* 1:92-95
73. Gaardmand E, Poulsen S, Haubek D (2013) Pilot study of minimally invasive cast adhesive copings for early restoration of hypomineralised first permanent molars with post-eruptive breakdown. *Eur Arch Paediatr Dent* 14:35-39. <https://doi.org/10.1007/s40368-012-0002-7>
74. Gandhi S, Crawford P, Shellis P (2012) The use of a 'bleach-etch-seal' deproteinization technique on MIH affected enamel. *Int J Paediatr Dent* 22:427-434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01212.x>
75. Garcia-Margarit M, Catalá-Pizarro M, Montiel-Company JM, Almerich-Silla JM (2014) Epidemiologic study of molar-incisor hypomineralization in 8-year-old Spanish children. *Int J Paediatr Dent* 24:14-22. <https://doi.org/10.1111/ipd.12020>
76. Garot E, Manton D, Rouas P (2016) Peripartum events and molar-incisor hypomineralisation (MIH) amongst young patients in southwest France. *Eur Arch Paediatr Dent* 17:245-250. <https://doi.org/10.1007/s40368-016-0235-y>
77. Garot E, Rouas P, Somani C, Taylor GD, Wong F, Lygidakis NA (2021) An update of the aetiological factors involved in molar incisor hypomineralisation (MIH): a systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Paediatr Dent* 23:23-38. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00646-x>
78. Ghanim A, Bagheri R, Golkari A, Manton D (2014) Molar-incisor hypomineralisation: a prevalence study amongst primary schoolchildren of Shiraz, Iran. *Eur Arch Paediatr Dent* 15:75-82. <https://doi.org/10.1007/s40368-013-0067-y>
79. Ghanim A, Elfrink M, Weerheijm K, Mariño R, Manton D (2015) A practical method for use in epidemiological studies on enamel hypomineralisation. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:235-246. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0178-8>

80. Ghanim A, Manton D, Bailey D, Mariño R, Morgan M (2013) Risk factors in the occurrence of molar-incisor hypomineralization amongst a group of Iraqi children. *Int J Paediatr Dent* 23:197-206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2012.01244.x>
81. Ghanim A, Manton D, Mariño R, Morgan M, Bailey D (2013) Prevalence of demarcated hypomineralisation defects in second primary molars in Iraqi children. *Int J Paediatr Dent* 23:48-55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2012.01223.x>
82. Ghanim A, Mariño R, Morgan M, Bailey D, Manton D (2013) An in vivo investigation of salivary properties, enamel hypomineralisation, and carious lesion severity in a group of Iraqi schoolchildren. *Int J Paediatr Dent* 23:2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01215.x>
83. Ghanim A, Morgan M, Mariño R, Bailey D, Manton D (2011) Molar-incisor hypomineralisation: prevalence and defect characteristics in Iraqi children. *Int J Paediatr Dent* 21:413-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01143.x>
84. Ghanim A, Silva MJ, Elfrink MEC et al. (2017) Molar incisor hypomineralisation (MIH) training manual for clinical field surveys and practice. *Eur Arch Paediatr Dent* 18:225-242. <https://doi.org/10.1007/s40368-017-0293-9>
85. Ghanim AM, Manton DJ, Morgan MV, Mariño RJ, Bailey DL (2012) Trends of oral health care and dental treatment needs in relation to molar incisor hypomineralisation defects: a study amongst a group of Iraqi schoolchildren. *Eur Arch Paediatr Dent* 13:171-178. <https://doi.org/10.1007/BF03262866>
86. Glodkowska N, Emerich K (2019) Molar Incisor Hypomineralization: prevalence and severity among children from Northern Poland. *Eur J Paediatr Dent* 20:59-66. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2019.20.01.12>
87. Gorbatova MA, Utkina EI, Zinchenko GA et al. (2019) Molar incisor hypomineralization among 12-years old children in Arkhangelsk region (Moliarno-reztsovaia gipoplaziia u 12-letnikh detej Arkhangel'skoj oblasti). *Stomatol* 98:64-66. <https://doi.org/10.17116/stomat20199802164>
88. Grošelj M, Jan J (2013) Molar incisor hypomineralisation and dental caries among children in Slovenia. *Eur J Paediatr Dent* 14:241-245

89. Guerra F, Mazur M, Nardi GM et al. (2015) Dental hypomineralized enamel resin infiltration. Clinical indications and limits. *Senses Sci* 2:135-139. <https://doi.org/10.14616/sands-2015-4-135139>
90. Gurrusquieta B, Mendoza Núñez V, Juárez López M (2017) Prevalence of Molar Incisor Hypomineralization in Mexican Children. *J Clin Pediatr Dent* 41:18-21
91. Hanan SA, Alves Filho AO, Medina PO, Cordeiro RCL, Santos-Pinto L, Zuanon ACC (2015) Molar-Incisor Hypomineralization in Schoolchildren of Manaus, Brazil. *Pesqui. bras. odontopediatria clín. integr.* 15:309-317. <https://doi.org/10.4034/PBOCI.2015.151.33>
92. Hasenauer L, Vogelsberger M, Bürkle V, Grunert I, Meißner N (2010) Prävalenz und Ausprägung der Molar Incisor Hypomineralisation (MIH) in Salzburg und Tirol und ein Beitrag zur Erforschung der Ursachen. *Stomatol* 107:43-50. <https://doi.org/10.1007/s00715-010-0118-5>
93. Hassan J, Leibovitz-Haviv S, Cohen O, Zilberman U (2019) The prevalence of Molar Incisor Hypomineralization among children in Jewish and Arab population in Israel. *J Isr Dent Assoc* 36:28-36
94. Heijs SCB, Dietz W, Norén JG, Blanksma NG, Jälevik B (2007) Morphology and chemical composition of dentin in permanent first molars with the diagnose MIH. *Swed Dent J* 31:155-164
95. Heitmüller D, Hickel R, Kühnisch J (2011) Diagnostik der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation. *Quintessenz* 62:1559-1563
96. Heitmüller D, Thiering E, Hoffmann U et al. (2013) Is there a positive relationship between molar incisor hypomineralisations and the presence of dental caries? *Int J Paediatr Dent* 23:116-124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2012.01233.x>
97. Hočevar L, Kovač J, Podkrajšek KT, Battelino S, Pavlič A (2020) The possible influence of genetic aetiological factors on molar-incisor hypomineralisation. *Arch Oral Biol* 118:104848. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.104848>
98. Hölttä P, Kiviranta H, Leppäniemi A, Vartiainen T, Lukinmaa PL, Alaluusua S (2001) Developmental dental defects in children who reside by a river polluted by dioxins and furans. *Arch Environ Health* 56:522-528. <https://doi.org/10.1080/00039890109602901>

99. Horuztepe SA, Baseren M (2017) Effect of resin infiltration on the color and microhardness of bleached white-spot lesions in bovine enamel (an in vitro study). *J Esthet Restor Dent* 29:378-385. <https://doi.org/10.1111/jerd.12308>
100. Hussein AS, Faisal M, Haron M, Am Ghanim, Abu Hassan MI (2015) Distribution of Molar Incisor Hypomineralization in Malaysian Children Attending University Dental Clinic. *J Clin Pediatr Dent* 39:219-223. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-39.3.219>
101. Hysi D, Kuscu OO, Droboniku E, Toti C, Xhemnica L, Caglar E (2016) Prevalence and aetiology of Molar-Incisor Hypomineralisation among children aged 8-10 years in Tirana, Albania. *Eur J Paediatr Dent* 17:75-79
102. Irigoyen-Camacho ME, Villanueva-Gutierrez T, Castano-Seiquer A, Molina-Frechero N, Zepeda-Zepeda M, Sánchez-Pérez L (2020) Evaluating the changes in molar incisor hypomineralization prevalence: A comparison of two cross-sectional studies in two elementary schools in Mexico City between 2008 and 2017. *Clin Exp Dent Res* 6:82-89. <https://doi.org/10.1002/cre2.252>
103. Jälevik B, Dietz W, Norén JG (2005) Scanning electron micrograph analysis of hypomineralized enamel in permanent first molars. *Int J Paediatr Dent* 15:233-240
104. Jälevik B, Klingberg GA (2002) Dental treatment, dental fear and behaviour management problems in children with severe enamel hypomineralization of their permanent first molars. *Int J Paediatr Dent* 12:24-32
105. Jälevik B, Möller M (2007) Evaluation of spontaneous space closure and development of permanent dentition after extraction of hypomineralized permanent first molars. *Int J Paediatr Dent* 17:328-335. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2007.00849.x>
106. Jälevik B, Norén JG (2000) Enamel hypomineralization of permanent first molars: a morphological study and survey of possible aetiological factors. *Int J Paediatr Dent* 10:287-289
107. Jälevik B, Norén JG, Klingberg G, Barregard L (2001) Etiologic factors influencing the prevalence of demarcated opacities in permanent first molars in a group of Swedish children. *Eur J Oral Sci* 109:230-234
108. Jälevik B, Odellius H, Dietz W, Norén JG (2001) Secondary ion mass spectrometry and X-ray microanalysis of hypomineralized enamel in human permanent first molars. *Arch Oral Biol* 46:239-247

109. Jankovic S, Ivanovic M, Davidovic B, Lecic J (2014) Distribution and characteristics of molar-incisor hypomineralization. *Vojnosanit Pregl* 71:730-734. <https://doi.org/10.2298/VSP1408730J>
110. Jasulaityte L, Veerkamp JS, Weerheijm KL (2007) Molar incisor hypomineralization: review and prevalence data from a study of primary school children in Kaunas (Lithuania). *Eur Arch Paediatr Dent* 8:87-94
111. Jasulaityte L, Weerheijm KL, Veerkamp JS (2008) Prevalence of Molar-Incisor-Hypomineralisation among children participating in the Dutch National Epidemiological Survey (2003). *Eur Arch Paediatr Dent* 9:218-223
112. Jedeon K, La Dure-Molla M de, Brookes SJ et al. (2013) Enamel defects reflect perinatal exposure to bisphenol A. *Am J Pathol* 183:108-118. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2013.04.004>
113. Jedeon K, Loiodice S, Marciano C et al. (2014) Estrogen and bisphenol A affect male rat enamel formation and promote ameloblast proliferation. *Endocrinol* 155:3365-3375. <https://doi.org/10.1210/en.2013-216>
114. Jedeon K, Marciano C, Loiodice S et al. (2014) Enamel hypomineralization due to endocrine disruptors. *Connect Tissue Res* 55:43-47. <https://doi.org/10.3109/03008207.2014.923857>
115. Jeremias F, Koruyucu M, Kuchler EC et al. (2013) Genes expressed in dental enamel development are associated with molar-incisor hypomineralization. *Arch Oral Biol* 58:1434-1442. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2013.05.005>
116. Jeremias F, Souza JFd, da Costa Silva CM, de Cássia Loiola Cordeiro R, Cilense Zuanon AC, Santos Pinto L (2013) Dental caries experience and Molar-Incisor Hypomineralization. *Acta Odontol Scand* 71:870-876. <https://doi.org/10.3109/00016357.2012.734412>
117. Kalkani M, Balmer RC, Homer RM, Day PF, Duggal MS (2016) Molar incisor hypomineralisation: experience and perceived challenges among dentists specialising in paediatric dentistry and a group of general dental practitioners in the UK. *Eur Arch Paediatr Dent* 17:81-88. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0209-5>

118. Karakaya E, Sonmez H (2021) The Relationship between Hypomineralized Second Primary Molars and Molar Incisor Hypomineralization in a Group of School-Aged Children in Turkey. *Eur J Gen Dent* 10:65-72. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1732951>
119. Kataria S, Marya CM, Nagpal R, Sukhvinder SO, Dhingra S (2017) Clinical efficacy of caries infiltration technique: systematic search of the literature. *Indian J Conserv Endod* 3:77-84
120. Kellerhoff NM (2011) Ätiologie der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation. *Quintessenz* 62:1565-1571
121. Kemoli AM (2008) Prevalence of molar incisor hypomineralisation in six to eight year-olds in two rural divisions in Kenya. *East Afr Med J* 85:514-519
122. Kevrekidou A, Kosma I, Arapostathis K, Kotsanos N (2015) Molar Incisor Hypomineralization of Eight- and 14-year-old Children: Prevalence, Severity, and Defect Characteristics. *Pediatr Dent* 5:455-461
123. Kirthiga M, Poornima P, Praveen R, Gayathri P, Manju M, Priya M (2015) Prevalence and severity of molar incisor hypomineralization in children aged 11-16 years of a city in Karnataka, Davangere. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 33:213-217. <https://doi.org/10.4103/0970-4388.160366>
124. Klein H, Palmer CE, Knutson JW (1938) Studies on Dental Caries: I. Dental Status and Dental Needs of Elementary School Children. *Pub Health Rep* 53:751-765
125. Koch G, Hallonsten AL, Ludvigsson N, Hansson BO, Hoist A, Ullbro C (1987) Epidemiologic study of idiopathic enamel hypomineralization in permanent teeth of Swedish children. *Commun Dent Oral Epidemiol* 15:279-285
126. Kohlboeck G, Heitmueller D, Neumann C et al. (2013) Is there a relationship between hyperactivity/inattention symptoms and poor oral health? Results from the GINIplus and LISApplus study. *Clin Oral Investig* 17:1329-1338. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0829-7>
127. Koruyucu M, Özel S, Tuna EB (2018) Prevalence and etiology of molar-incisor hypomineralization (MIH) in the city of Istanbul. *J Dent Sci* 13:318-328. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2018.05.002>

128. Kosma I, Kevrekidou A, Boka V, Arapostathis K, Kotsanos N (2016) Molar incisor hypomineralisation (MIH): correlation with dental caries and dental fear. *Eur Arch Paediatr Dent* 17:123-129. <https://doi.org/10.1007/s40368-016-0221-4>
129. Kotsanos N, Kaklamanos EG, Arapostathis K (2005) Treatment management of first permanent molars in children with Molar-Incisor Hypomineralisation. *Eur J Paediatr Dent* 6:179-184
130. Krämer N, Bui Khac N-HN, Lücker S, Stachniss V, Frankenberger R (2018) Bonding strategies for MIH-affected enamel and dentin. *Dent Mater* 34:331-340. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.11.015>
131. Krämer N, Stachniss V, Heidmann I, Frankenberger R (2011) Therapie der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) in einem schwierigen Umfeld. *Quintessenz* 62:1601-1612
132. Kühnisch J, Heitmüller D, Thiering E et al. (2014) Proportion and extent of manifestation of molar-incisor-hypomineralizations according to different phenotypes. *J Public Health Dent* 74:42-49. <https://doi.org/10.1111/j.1752-7325.2012.00365.x>
133. Kühnisch J, Mach D, Thiering E et al. (2014) Respiratory diseases are associated with molar-incisor hypomineralizations. *Swiss Dent J* 124:286-293
134. Kühnisch J, Thiering E, Heitmüller D et al. (2014) Genome-wide association study (GWAS) for molar-incisor hypomineralization (MIH). *Clin Oral Investig* 18:677-682. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1054-8>
135. Kühnisch J, Thiering E, Kratzsch J, Heinrich-Weltzien R, Hickel R, Heinrich J (2015) Elevated serum 25(OH)-vitamin D levels are negatively correlated with molar-incisor hypomineralization. *J Dent Res* 94:381-387. <https://doi.org/10.1177/0022034514561657>
136. Kukleva MP, Petrova SG, Kondeva VK, Nihtyanova TI (2008) Molar incisor hypomineralisation in 7-to-14-year old children in Plovdiv, Bulgaria--an epidemiologic study. *Folia Med* 50:71-75
137. Kumar H, Palamara J, Burrow MF, Manton DJ (2012) Resin infiltration-taking the first steps to filling the holes in cheese molars. *Ann Roy Australas Coll Dent Surg* 21:120-123

138. Kuscu OO, Caglar E, Aslan S, Durmusoglu E, Karademir A, Sandalli N (2009) The prevalence of molar incisor hypomineralization (MIH) in a group of children in a highly polluted urban region and a windfarm-green energy island. *Int J Paediatr Dent* 19:176-185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2008.00945.x>
139. Kuscu OO, Sandalli N, Dikmen S et al. (2013) Association of amoxicillin use and molar incisor hypomineralization in piglets: visual and mineral density evaluation. *Arch Oral Biol* 58:1422-1433. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2013.04.012>
140. Kuscu OO, Caglar E, Sandalli N (2008) The prevalence and aetiology of molar-incisor hypomineralisation in a group of children in Istanbul. *Eur J Paediatr Dent* 9:139-144
141. Laisi S, Ess A, Sahlberg C, Arvio P, Lukinmaa PL, Alaluusua S (2009) Amoxicillin may cause molar incisor hypomineralization. *J Dent Res* 88:132-136. <https://doi.org/10.1177/002203450832833>
142. Laisi S, Kiviranta H, Lukinmaa PL, Vartiainen T, Alaluusua S (2008) Molar-Incisor-Hypomineralisation and Dioxins: New Findings. *Eur Arch Paediatr Dent* 9:224-227
143. Landis JR, Koch GG (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33:159-174
144. Lee DW, Kim YJ, Kim SO et al. (2020) Factors Associated with Molar-Incisor Hypomineralization: A Population-Based Case-Control Study. *Pediatr Dent* 2:134-140
145. Leppäniemi A, Lukinmaa PL, Alaluusua S (2011) Nonfluoride Hypomineralizations in the Permanent First Molars and Their Impact on the Treatment Need. *Caries Res* 35:36-40
146. Li L, Li J (2012) Investigation of molar-incisor hypomineralization among children from 6 to 11 years in Lucheng district, Wenzhou city. *Shanghai J Stomatol* 21:576-579
147. Lopez Jordi MDC, Cortese SG, Alvarez L, Salveraglio I, Ortolani AM, Biondi AM (2014) Comparison of the prevalence of molar incisor hypomineralization among children with different health care coverage in the cities of Buenos Aires (Argentina) and Montevideo (Uruguay). *Salud Colect* 10:243-251

148. Lygidakis NA, Dimou G, Briseniou E (2008) Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH). Retrospective clinical study in Greek children. I. Prevalence and defect characteristics. *Eur Arch Paediatr Dent* 9:200-206
149. Lygidakis NA, Garot E, Somani C, Taylor GD, Rouas P, Wong FSL (2022) Best clinical practice guidance for clinicians dealing with children presenting with molar-incisor-hypomineralisation (MIH): an updated European Academy of Paediatric Dentistry policy document. *Eur Arch Paediatr Dent* 23:3-21. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00668-5>
150. Lygidakis NA, Wong F, Jälevik B, Vierrou AM, Alaluusua S, Espelid I (2010) Best Clinical Practice Guidance for clinicians dealing with children presenting with Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH). *Eur Arch Paediatr Dent* 11:75-81
151. Mahoney E, Ismail FSM, Kilpatrick N, Swain M (2004) Mechanical properties across hypomineralized/hypoplastic enamel of first permanent molar teeth. *Eur J Oral Sci* 112:497-502
152. Mahoney EK, Morrison DG (2011) Further examination of the prevalence of MIH in the Wellington region. *N Z Dent J* 107:79-84
153. Mahoney EK, Rohanizadeh R, Ismail FSM, Kilpatrick NM, Swain MV (2004) Mechanical properties and microstructure of hypomineralised enamel of permanent teeth. *Biomaterials* 25:5091-5100. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.02.044>
154. Mangum JE, Crombie FA, Kilpatrick N, Manton DJ, Hubbard MJ (2010) Surface integrity governs the proteome of hypomineralized enamel. *J Dent Res* 89:1160-1165. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.04.012>
155. Marouane O, Chtioui F (2020) Transillumination-aided infiltration: A diagnostic concept for treating enamel opacities. *J Esthet Restor Dent* 32:451-456. <https://doi.org/10.1111/jerd.1260>
156. Marouane O, Manton DJ (2021) The influence of lesion characteristics on application time of an infiltrate applied to MIH lesions on anterior teeth: An exploratory in vivo pilot study. *J Dent* 115:103814. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103814>

157. Martínez Gómez TP, Guinot Jimeno F, Bellet Dalmau LJ, Giner Tarrida L (2012) Prevalence of molar-incisor hypomineralisation observed using transillumination in a group of children from Barcelona (Spain). *Int J Paediatr Dent* 22:100-109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01172.x>
158. Massler M, Schour I, Poncher HG (1941) Developmental pattern of the child as reflected in the calcification pattern of the teeth. *Am J Dis Child* 62:33-67
159. Masumo R, Bårdsen A, Astrøm AN (2013) Developmental defects of enamel in primary teeth and association with early life course events: a study of 6-36 month old children in Manyara, Tanzania. *BMC Oral Health* 13:21-31. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-13-21>
160. Mathu-Muju K, Wright JT (2006) Diagnosis and Treatment of Molar Incisor Hypomineralization. *Compend Contin Educ Dent* 27:604-610
161. Mayne RJ, Cochrane NJ, Cai F, Woods MG, Reynolds EC (2011) In-vitro study of the effect of casein phosphopeptide amorphous calcium fluoride phosphate on iatrogenic damage to enamel during orthodontic adhesive removal. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:543-551. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.09.027>
162. Mejare I, Bergman E, Grindejord M (2005) Hypomineralized molars and incisors of unknown origin: treatment outcome at age 18 years. *Int J Paediatr Dent* 15:20-28
163. Mejía JD, Restrepo M, González S, Álvarez LG, Santos-Pinto L, Escobar A (2019) Molar Incisor Hypomineralization in Colombia: Prevalence, Severity and Associated Risk Factors. *J Clin Pediatr Dent* 43:185-189. <https://doi.org/10.17796/1053-4625-43.3.7>
164. Mittal N (2016) Phenotypes of Enamel Hypomineralization and Molar Incisor Hypomineralization in Permanent Dentition: Identification, Quantification and Proposal for Classification. *J Clin Pediatr Dent* 40:367-374. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-40.5.367>
165. Mittal N, Sharma BB (2015) Hypomineralised second primary molars: prevalence, defect characteristics and possible association with Molar Incisor Hypomineralisation in Indian children. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:441-447. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0190-z>

166. Mittal N, Sharma BB: Molar incisor hypomineralization (2015) Prevalence and defect characteristics in Indian schoolchildren. *J Cranio Max Dis* 4:49-56. <https://doi.org/10.4103/2278-9588.151904>
167. Mittal NP, Goyal A, Gauba K, Kapur A (2014) Molar incisor hypomineralisation: prevalence and clinical presentation in school children of the northern region of India. *Eur Arch Paediatr Dent* 15:11-18. <https://doi.org/10.1007/s40368-013-0045-4>
168. Mittal R, Chandak S, Chandwani M, Singh P, Pimpale J (2016) Assessment of association between molar incisor hypomineralization and hypomineralized second primary molar. *J Int Soc Prev Community Dent* 6:34-39. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.175409>
169. Muratbegovic A, Markovic N, Ganibegovic Selimovic M (2007) Molar Incisor Hypomineralisation in Bosnia and Herzegovina: Prevalence, Aetiology and Clinical Consequences in Medium Caries Activity Population. *Eur Arch Paediatr Dent* 8:189-194
170. Murri Dello Diago A, Cadenaro M, Ricchiuto R et al. (2021) Hypersensitivity in Molar Incisor Hypomineralization: Superficial Infiltration Treatment. *Appl Sci* 11:1823. <https://doi.org/10.3390/app11041823>
171. Natarajan AK, Fraser SJ, Swain MV, Drummond BK, Gordon KC (2015) Raman spectroscopic characterisation of resin-infiltrated hypomineralised enamel. *Anal Bioanal Chem* 407:5661-5671. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8742-y>
172. Negre-Barber A, Montiel-Company JM, Boronat-Catalá M, Catalá-Pizarro M, Almerich-Silla JM (2016) Hypomineralized Second Primary Molars as Predictor of Molar Incisor Hypomineralization. *Sci Rep* 6:31929. <https://doi.org/10.1038/srep31929>
173. Ng JJ, Eu OC, Nair R, Hong CHL (2015) Prevalence of molar incisor hypomineralization (MIH) in Singaporean children. *Int J Paediatr Dent* 25:73-78. <https://doi.org/10.1111/ipd.12100>
174. Nogueira VKC, Mendes Soares IP, Fragelli CMB et al. (2021) Structural integrity of MIH-affected teeth after treatment with fluoride varnish or resin infiltration: An 18-Month randomized clinical trial. *J Dent* 105:103570. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103570>

175. Oliver K, Messer LB, Manton DJ et al. (2014) Distribution and severity of molar hypomineralisation: trial of a new severity index. *Int J Paediatr Dent* 24:131-151. <https://doi.org/10.1111/ipd.12040>
176. Ordonez-Romero I, Jijon-Granja Y, Ubilla-Mazzini W, Porro-Porro L, Alvarez-Giler G (2019) Distribution of Molar Incisor Hypomineralization in Ecuadorian Children. *Dent Hypotheses* 10:65-69. https://doi.org/10.4103/denthyp.denthyp_26_19
177. Owen ML, Ghanim A, Elsby D, Manton DJ (2018) Hypomineralized second primary molars: prevalence, defect characteristics and relationship with dental caries in Melbourne preschool children. *Aust Dent J* 63:72-80. <https://doi.org/10.1111/adj.12567>
178. Oyedele TA, Folayan MO, Adekoya-Sofowora CA, Oziegbe EO (2015) Co-morbidities associated with molar-incisor hypomineralisation in 8 to 16 year old pupils in Ile-Ife, Nigeria. *BMC Oral Health* 15:37-41. <https://doi.org/10.1186/s12903-015-0017-7>
179. Oyedele TA, Folayan MO, Adekoya-Sofowora CA, Oziegbe EO, Esan TA (2015) Prevalence, pattern and severity of molar incisor hypomineralisation in 8- to 10-year-old school children in Ile-Ife, Nigeria. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:277-282. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0175-y>
180. Padavala S, Sukumaran G (2018) Molar Incisor Hypomineralization and Its Prevalence. *Contemp Clin Dent* 9:246-250. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_161_18
181. Parikh DR, Ganesh M, Bhaskar V (2012) Prevalence and characteristics of molar Incisor Hypomineralisation (MIH) in the child population residing in Gandhinagar, Gujarat, India. *Eur Arch Paediatr Dent* 13:21-26
182. Paris S, Bitter K, Naumann M, Dörfer CE, Meyer-Lueckel H (2011) Resin infiltration of proximal caries lesions differing in ICDAS codes. *Eur J Oral Sci* 119:182-186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2011.00807.x>
183. Paris S, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H (2010) Resin infiltration of caries lesions: an efficacy randomized trial. *J Dent Res* 89:823-826. <https://doi.org/10.1177/0022034510369289>

184. Paris S, Soviero VM, Seddig S, Meyer-Lueckel H (2012) Penetration depths of an infiltrant into proximal caries lesions in primary molars after different application times in vitro. *Int J Paediatr Dent* 22:349-355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01204.x>
185. Păsăreanu M, Bălan A, Maxim A (2006) Systemic impact of MIH syndrome on the child and adolescent. *J Med Prev* 14:96-102
186. Peedikayil F, Tomy N, Chandru TP, Muthedath M, Jose J (2019) Molar incisor hypomineralization in North Malabar: An epidemiological study. *Dent Med Res* 7:40-44. https://doi.org/10.4103/dmr.dmr_10_19
187. Peker S, Mete S, Gokdemir Y, Karadag B, Kargul B (2014) Related factors of dental caries and molar incisor hypomineralisation in a group of children with cystic fibrosis. *Eur Arch Paediatr Dent* 15:275-280. <https://doi.org/10.1007/s40368-014-0112-5>
188. Petrou MA, Giraki M, Bissar A-R et al. (2014) Prevalence of Molar-Incisor-Hypomineralisation among school children in four German cities. *Int J Paediatr Dent* 24:434-440. <https://doi.org/10.1111/ipd.12089>
189. Petrou MA, Giraki M, Bissar A-R et al. (2015) Severity of MIH findings at tooth surface level among German school children. *Eur Arch Paediatr Dent* 16:271-276. <https://doi.org/10.1007/s40368-015-0176-x>
190. Petrou MA, Giraki M, Bissar A-R, Wempe C, Schäfer M, Schiffner U, Beikler T, Schulte AG, Splieth CH (2014) Molar-Incisor-Hypomineralisation (MIH): Prevalence and therapeutic needs in Germany. *Dtsch Zahnärztl Z* 69:647-650. <https://doi.org/10.3238/dzz.2014.0647-0650>
191. Petrova S, Tomov G, Shindova M, Belcheva A (2021) Phenotypic characteristics of molar-incisor mineralization-affected teeth. A light and scanning electron microscopy study. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 35:1906-1911. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2028577>
192. Pieper K (2010) Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2009. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e. V. (DAJ) 1-150
193. Pitiphat W, Luangchaichaweng S, Pungchanchaikul P, Angwaravong O, Chansamak N (2014) Factors associated with molar incisor hypomineralization in Thai children. *Eur J Oral Sci* 122:265-270. <https://doi.org/10.1111/eos.12136>

194. Preusser SE, Ferring V, Wleklinski C, Wetzel W-E (2007) Prevalence and Severity of Molar Incisor Hypomineralization in a Region of Germany - A Brief Communication. *J Public Health Dent* 67:148-150. <https://doi.org/10.1111/j.1752-7325.2007.00040.x>
195. Prud'homme T, Hyon I, Dajeau Trudaud S, Lopez Cazaux S (2017) Different applicabilities of the etch-bleach-seal technique for treating opacities on permanent incisor damage by molar incisor hypomineralisation in three young patients. *BMJ Case Rep*. <https://doi.org/10.1136/bcr-2017-221442>
196. Quintero Y, Restrepo M, Rojas-Gualdrón DF, Farias ALd, Santos-Pinto L (2022) Association between hypomineralization of deciduous and molar incisor hypomineralization and dental caries. *Braz Dent J* 33:113-119. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202204807>
197. Rai A, Singh A, Menon I, Singh J, Rai V, Aswal GS (2018) Molar Incisor Hypomineralization: Prevalence and Risk Factors Among 7-9 Years Old School Children in Muradnagar, Ghaziabad. *Open Dent J* 12:714-722. <https://doi.org/10.2174/1745017901814010714>
198. Raposo F, Carvalho Rodrigues AC de, Lia ÉN, Leal SC (2019) Prevalence of Hypersensitivity in Teeth Affected by Molar-Incisor Hypomineralization (MIH). *Caries Res* 53:424-430. <https://doi.org/10.1159/000495848>
199. Reissenberger T, Ebel M, Klode C, Hirsch C, Bekes K (2022) Hypomineralized Teeth and Their Impact on Oral-Health-Related Quality of Life in Primary School Children. *Int J Environ Res Public Health* 19:10409. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610409>
200. Reynolds EC, Cai F, Shen P, Walker GD (2003) Retention in plaque and remineralization of enamel lesions by various forms of calcium in a mouthrinse or sugar-free chewing gum. *J Dent Res* 82:206-211. <https://doi.org/10.1177/154405910308200311>
201. Rizk H, Al-Mutairi M, Habibullah M (2018) The prevalence of molar-incisor hypomineralization in primary schoolchildren aged 7–9 years in Qassim Region of Saudi Arabia. *J Interdiscip Dentistry* 8:44-48. https://doi.org/10.4103/jid.jid_77_17

202. Saber F, Waly N, Moheb D (2017) Prevalence of molar incisor hypomineralization in Egypt as measured by enamel defect index a cross sectional study. *Futur Dent J* 4:59-63. <https://doi.org/10.1016/j.fdj.2017.11.002>
203. Sahlberg C, Pavlic A, Ess A, Lukinmaa PL, Salmela E, Alaluusua S (2013) Combined effect of amoxicillin and sodium fluoride on the structure of developing mouse enamel in vitro. *Arch Oral Biol* 58:1155-1164. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2013.03.007>
204. Saitoh M, Nakamura Y, Hanasaki M et al. (2018) Prevalence of molar incisor hypomineralization and regional differences throughout Japan. *Environ Health Prev Med* 23:55-60. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0748-6>
205. Schätzle M, Patcas R (2011) Idealer Extraktionszeitpunkt bei ersten bleibenden Molaren. *Quintessenz* 62:1631-1635
206. Seifo N, Cassie H, Radford JR, Innes NPT (2019) Silver diamine fluoride for managing carious lesions: an umbrella review. *BMC Oral Health* 19:145. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0830-5>
207. Sheoran N, Garg S, Damle SG, Dhindsa A, Opal S, Gupta S (2014) Esthetic management of developmental enamel opacities in young permanent maxillary incisors with two microabrasion techniques--a split mouth study. *J Esthet Restor Dent* 26:345-352. <https://doi.org/10.1111/jerd.12096>
208. Shin JH, An UJ, Kim S, Jeong TS (2010) The Prevalence of Molar Incisor Hypomineralization and Status of First Molars in Primary School Children. *J Korean Acad Pediatr Dent* 37:179-185
209. Shrestha R, Upadhaya S, Bajracharya M (2014) Prevalence of molar incisor hypomineralisation among school children in Kavre. *Kathmandu Univ Med J* 12:38-42
210. Sidaly R, Schmalfluss A, Skaare AB, Sehic A, Stiris T, Espelid I (2016) Five-minute Apgar score ≤ 5 and Molar Incisor Hypomineralisation (MIH) - a case control study. *BMC Oral Health* 17:25-31. <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0253-5>
211. Silva MJ, Scurrah KJ, Craig JM, Manton DJ, Kilpatrick N (2016) Etiology of molar incisor hypomineralization - A systematic review. *Community Dent Oral Epidemiol* 44:342-353. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12229>

212. Sönmez H, Yıldırım G, Bezgin T (2013) Putative factors associated with molar incisor hypomineralisation: an epidemiological study. *Eur Arch Paediatr Dent* 14:375-380. <https://doi.org/10.1007/s40368-013-0012-0>
213. Souza JF, Costa-Silva CM, Jeremias F, Santos-Pinto L, Zuanon ACC, Cordeiro RCL (2012) Molar Incisor Hypomineralisation: Possible aetiological factors in children from urban and rural areas. *Eur Arch Paediatr Dent* 13:164-170
214. Souza JF, Jeremias F, Costa-Silva CM, Santos-Pinto L, Zuanon ACC, Cordeiro RCL (2013) Aetiology of molar-incisor hypomineralisation (MIH) in Brazilian children. *Eur Arch Paediatr Dent* 14:233-238. <https://doi.org/10.1007/s40368-013-0054-3>
215. Souza JFd, Gramasco M, Jeremias F et al. (2016) Amoxicillin diminishes the thickness of the enamel matrix that is deposited during the secretory stage in rats. *Int J Paediatr Dent* 26:199-210. <https://doi.org/10.1111/ipd.12184>
216. Soviero V, Haubek D, Trindade C, Da Matta T, Poulsen S (2009) Prevalence and distribution of demarcated opacities and their sequelae in permanent 1st molars and incisors in 7 to 13-year-old Brazilian children. *Acta Odontol Scand* 67:170-175. <https://doi.org/10.1080/00016350902758607>
217. Steffen R (2011) Die Behandlung von Kindern mit Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation. *Quintessenz* 62:1585-1592
218. Steffen R, Krämer N, Bekes K (2017) The Würzburg MIH concept: the MIH treatment need index (MIH TNI) : A new index to assess and plan treatment in patients with molar incisor hypomineralisation (MIH). *Eur Arch Paediatr Dent* 18:355-361. <https://doi.org/10.1007/s40368-017-0301-0>
219. Subramaniam P, Gupta T, Sharma A (2016) Prevalence of molar incisor hypomineralization in 7-9-year-old children of Bengaluru City, India. *Contemp Clin Dent* 7:11-15. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.177091>
220. Taube F, Marczewski M, Norén JG (2015) Deviations of inorganic and organic carbon content in hypomineralised enamel. *J Dent* 43:269-278. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.09.003>
221. Teixeira RJPB, Andrade NS, Queiroz LCC et al. (2018) Exploring the association between genetic and environmental factors and molar incisor hypomineralization: evidence from a twin study. *Int J Paediatr Dent* 28:198-206. <https://doi.org/10.1111/ipd.12327>

222. Temilola OD, Folayan MO, Oyedele T (2015) The prevalence and pattern of deciduous molar hypomineralization and molar-incisor hypomineralization in children from a suburban population in Nigeria. *BMC Oral Health* 15:73-78. <https://doi.org/10.1186/s12903-015-0059-x>
223. Toumba KJ, Twetman S, Splieth C, Parnell C, van Loveren C, Lygidakis NA (2019) Guidelines on the use of fluoride for caries prevention in children: an updated EAPD policy document. *Eur Arch Paediatr Dent* 20:507-516. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00464-2>
224. Vieira AR, Kup E (2016) On the Etiology of Molar-Incisor Hypomineralization. *Caries Res* 50:166-169. <https://doi.org/10.1159/000445128>
225. Weerheijm KL, Duggal M, Mejare I et al. (2003) Judgement criteria for Molar Incisor Hypomineralisation (MIH) in epidemiologic studies: a summary of the European meeting on MIH held in Athens, 2003. *Eur J Paediatr Dent* 4:110-113
226. Weerheijm KL, Groen HJ, Beentjes V, Poorterman JHG (2001) Prevalence of cheese molars in eleven-year-old Dutch children. *J Dent Child* 68:259-262
227. Weerheijm KL, Jälevik B, Alaluusua S (2001) Molar-Incisor Hypomineralisation. *Caries Res* 35:390-391
228. Wetzell E, Reckel U (1991) Fehlstrukturierte Sechsjahrmolaren nehmen zu - eine Umfrage. *ZM* 81:650-652
229. Whatling R, Fearn JM (2008) Molar incisor hypomineralization: a study of aetiological factors in a group of UK children. *Int J Paediatr Dent* 18:155-162. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2007.00901.x>
230. Wierichs RJ, Abou-Ayash B, Kobbe C et al. (2023) Evaluation of the masking efficacy of caries infiltration in post-orthodontic initial caries lesions: 1-year follow-up. *Clin Oral Investig* 27:1945-1952. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04843-w>
231. William V, Burrow MF, Palamara JEA, Messer LB (2006) Microshear bond strength of resin composite to teeth affected by molar hypomineralization using 2 adhesive systems. *Pediatr Dent* 28:233-241
232. Wogelius P, Haubek D, Poulsen S (2008) Prevalence and distribution of demarcated opacities in permanent 1st molars and incisors in 6 to 8-year-old Danish children. *Acta Odontol Scand* 66:58-64. <https://doi.org/10.1080/00016350801926941>

233. Wuollet E, Laisi S, Salmela E, Ess A, Alaluusua S (2014) Background factors of molar-incisor hypomineralization in a group of Finnish children. *Acta Odontol Scand* 72:963-969. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.931459>
234. Xie Z, Kilpatrick NM, Swain MV, Munroe PR, Hoffman M (2008) Transmission electron microscope characterisation of molar-incisor-hypomineralisation. *J Mater Sci Mater Med* 19:3187-3192. <https://doi.org/10.1007/s10856-008-3441-2>
235. Zagdwon AM, Toumba KJ, Curzon MEJ (2002) The prevalence of developmental enamel defects in permanent molars in a group of English school children. *Eur J Paediatr Dent* 3:91-96
236. Zagdwon AM, Fayle SA, Pollard MA (2003) A prospective clinical trial comparing preformed metal crowns and cast restorations for defective first permanent molars. *Eur J Paediatr Dent* 4:138-142
237. Zawaideh FI, Al-Jundi SH, Al-Jaljoli MH (2011) Molar Incisor Hypomineralisation: prevalence in Jordanian children and clinical characteristics. *Eur Arch Paediatr Dent* 12:31-36
238. Zhao D, Dong B, Yu D, Ren Q, Sun Y (2018) The prevalence of molar incisor hypomineralization: evidence from 70 studies. *Int J Paediatr Dent* 28:170-179

13. Anhang

13.1 Gesetzgebungsauszug im Bundesland Hessen zur Gesundheitsfürsorge in Schulen

Übersicht

Die Durchführung der Maßnahmen zur Erkennung und Verhütung von Zahnerkrankungen bei Kindern und Jugendlichen sind im SGB V § 21 geregelt.

Die Aufgaben der Gesundheitsämter werden außerdem durch das Hessische Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst (HGöGD) und das Hessische Schulgesetz sowie die Verordnung zur Schulgesundheitspflege festgelegt.

Die Kinder- und Jugendzahnpflege in Hessen ist eine gemeinschaftliche Aufgabe der niedergelassenen Zahnärztinnen und Zahnärzte, so genannter Patenschaftszahnarzt-Teams, der Zahnärztinnen und Zahnärzte der Gesundheitsämter und der Prophylaxe-Fachkräfte der Arbeitskreise Jugendzahnpflege. An den Kosten der Durchführung beteiligen sich die gesetzlichen Krankenkassen.

Zur Erfüllung des gesetzlichen Auftrages führt der Jugendzahnärztliche Dienst des Amtes für Gesundheit in verschiedenen Altersstufen jährlich Vorsorgeuntersuchungen zur Feststellung von Zahn-, Mund- und Kiefererkrankungen in Schulen und Kindereinrichtungen durch. Die gruppenprophylaktische Betreuung erfolgt gemeinsam mit dem Arbeitskreis Jugendzahnpflege.

Dies betrifft Kinder bis zum 12. Lebensjahr sowie Kinder und Jugendliche bis zum 16. Lebensjahr in Schulen und Behinderteneinrichtungen, in denen das durchschnittliche Kariesrisiko überproportional hoch ist.

Rechtsgrundlagen (Auszug)

Hessisches Gesetz über den öffentlichen Gesundheitsdienst (HGöGD) **Vom 28. September 2007**

Gesamtausgabe in der Gültigkeit vom 01.01.2013 bis 31.12.2020

§ 10 Kinder- und Jugendgesundheit

(1) Die Gesundheitsämter schützen und fördern die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen. Dazu führen sie insbesondere bei allen Kindern vor Schuleintritt ärztliche Einschulungsuntersuchungen durch. Die Untersuchung hat den Zweck, Einschränkungen, die die Teilnahme am Unterricht betreffen, festzustellen. Die Untersuchungen sollen zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, der es erlaubt, gegebenenfalls notwendige, stützende Maßnahmen rechtzeitig anzubieten. Die Gesundheitsämter beraten Schülerinnen und Schüler, deren Sorgeberechtigte und die Schulen zu gesundheitlichen Fragen, die den Schulbesuch betreffen. Diese Beratung und Unterstützung betrifft auch das Auftreten von chronischen Erkrankungen und die damit jeweils zusammenhängenden Maßnahmen.

(2) Zur Früherkennung von Krankheiten, Behinderungen, Entwicklungs- und Verhaltensstörungen können die Gesundheitsämter weitere ärztliche Untersuchungen oder andere Testverfahren durchführen.

(3) Die Gesundheitsämter können in Zusammenarbeit mit den zuständigen Stellen Kinder und Jugendliche, deren körperliche, seelische oder geistige Gesundheit beeinträchtigt ist, sowie deren Sorgeberechtigte beraten, betreuen oder Hilfen vermitteln.

(4) Schulen und Kindertagesstätten sowie deren Träger sind verpflichtet, bei Maßnahmen im Rahmen der Schulgesundheitspflege und der Gruppenprophylaxe

mitzuwirken, insbesondere die erforderlichen Auskünfte zu geben und geeignete Räume zur Verfügung zu stellen.

(5) Die nach Abs. 1 erhobenen personenbezogenen Daten dürfen für die Zwecke nach Abs. 1 Satz 3 verarbeitet werden. Die Daten dürfen in anonymisierter Form für Zwecke der Gesundheitsberichterstattung verwendet werden. Vor einer Übermittlung von Daten an Stellen außerhalb des Gesundheitsamtes ist eine Anonymisierung vorzunehmen.

§ 11 Zahngesundheit

(1) Die Gesundheitsämter beraten und betreuen Kinder und Jugendliche bis zum 16. Lebensjahr sowie ihre Sorgeberechtigten, Erzieherinnen und Erzieher, Lehrerinnen und Lehrer bei der Gesunderhaltung der Zähne sowie des Mund- und Kieferbereiches. Die Gesundheitsämter können Informationen zur Zahnhygiene und Zahngesundheit auch für andere Altersgruppen anbieten.

(2) Die Gesundheitsämter führen regelmäßige zahnärztliche Untersuchungen durch mit dem Ziel, Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten frühzeitig zu erkennen und auf eine Behandlung hinzuwirken.

(3) Die Gesundheitsämter beteiligen sich an flächendeckenden Maßnahmen der Gruppenprophylaxe nach § 21 des Fünften Buches Sozialgesetzbuch vom 20. Dezember 1988 (BGBl. I S. 2477, 2482), zuletzt geändert durch Gesetz vom 21. Juli 2012 (BGBl. I S.1613), in Schulen, Kindergärten und Behinderteneinrichtungen im Zusammenwirken mit den Arbeitskreisen Jugendzahnpflege. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden dokumentiert und statistisch ausgewertet. (4) § 10 Abs. 4 und 5 gilt entsprechend.

§ 13 Gesundheitsberichterstattung, Epidemiologie

Um Maßnahmen, die die Gesundheit fördern und Krankheiten verhüten, wirksam planen und durchführen zu können, haben die Gesundheitsämter die gesundheitliche Situation der Bevölkerung in ihrem Bezirk zu beobachten, zu bewerten und zu beschreiben sowie die erhobenen Daten in anonymisierter Form dem Hessischen Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen zu übermitteln. Im Übrigen können die Gesundheitsämter epidemiologische Untersuchungen zu gesundheitlichen Fragen durchführen.

§ 21 SGB V Verhütung von Zahnerkrankungen (Gruppenprophylaxe)

(1) Die Krankenkassen haben im Zusammenwirken mit den Zahnärzten und den für die Zahngesundheitspflege in den Ländern zuständigen Stellen unbeschadet der Aufgaben anderer gemeinsam und einheitlich Maßnahmen zur Erkennung und Verhütung von Zahnerkrankungen ihrer Versicherten, die das zwölfte Lebensjahr noch nicht vollendet haben, zu fördern und sich an den Kosten der Durchführung zu beteiligen. Sie haben auf flächendeckende Maßnahmen hinzuwirken. In Schulen und Behinderteneinrichtungen, in denen das durchschnittliche Kariesrisiko der Schüler überproportional hoch ist, werden die Maßnahmen bis zum 16. Lebensjahr durchgeführt. Die Maßnahmen sollen vorrangig in Gruppen, insbesondere in Kindergärten und Schulen, durchgeführt werden; sie sollen sich insbesondere auf die Untersuchung der Mundhöhle, Erhebung des Zahnstatus, Zahnschmelzhärtung, Ernährungsberatung und Mundhygiene erstrecken. Für Kinder mit besonders hohem Kariesrisiko sind spezifische Programme zu entwickeln.

(2) Zur Durchführung der Maßnahmen nach Absatz 1 schließen die Landesverbände der Krankenkassen und die Verbände der Ersatzkassen mit den zuständigen Stellen nach Absatz 1 Satz 1 gemeinsame Rahmenvereinbarungen. Die Spitzenverbände der Krankenkassen haben gemeinsam bundeseinheitliche Rahmenempfehlungen insbesondere über Inhalt, Finanzierung, nicht versichertenbezogene Dokumentation und Kontrolle zu beschließen.

(3) Kommt eine gemeinsame Rahmenvereinbarung nach Absatz 2 Satz 1 nicht bis zum 30. Juni 1993 zustande, werden Inhalt, Finanzierung, nicht versichertenbezogene

Dokumentation und Kontrolle unter Berücksichtigung der bundeseinheitlichen Rahmenempfehlungen der Spitzenverbände der Krankenkassen durch Rechtsverordnung der Landesregierung bestimmt.

Hessisches Schulgesetz – HSchG - in der Fassung vom 10. Juni 2011

§ 71 Verpflichtung zu besonderen Untersuchungen

(1) Soweit zur Vorbereitung einer Entscheidung nach diesem Gesetz schulärztliche oder schulpyschologische Untersuchungen sowie sonderpädagogische Überprüfungen erforderlich werden, sind die Kinder, Jugendlichen und volljährigen Schülerinnen und Schüler verpflichtet, sich untersuchen zu lassen und an wissenschaftlich anerkannten Testverfahren teilzunehmen. In begründeten Einzelfällen kann durch das Staatliche Schulamt eine Untersuchung nach Satz 1 angeordnet werden. (2) Kinder und Jugendliche, ihre Eltern und volljährige Schülerinnen und Schüler haben die für die Untersuchungen erforderlichen Angaben zu machen. Kinder, Jugendliche und volljährige Schülerinnen und Schüler dürfen dabei in der Regel nicht befragt werden über Angelegenheiten, die ihre oder die Persönlichkeitssphäre ihrer Eltern oder Angehörigen betreffen.

(3) Jugendliche, ihre Eltern und volljährige Schülerinnen und Schüler sind über die Untersuchungen und Testverfahren vorher näher zu informieren. Ihnen ist Gelegenheit zur Besprechung der Ergebnisse und zur Einsicht in die Unterlagen zu geben.

(4) Für Untersuchungen im Rahmen der Schulgesundheitspflege gelten Abs. 1 bis 3 entsprechend. Dabei können auch röntgenologische Untersuchungen sowie percutane und intracutane Tuberkuloseproben angeordnet werden.

(5) Die nähere Ausgestaltung der Schulgesundheitspflege und die Zulassung der für sie erforderlichen Untersuchungen erfolgt durch Rechtsverordnung.

(6) Diese Vorschriften gelten auch für die Schulen in freier Trägerschaft.

§ 149 Schulgesundheitspflege

Der schulärztliche Dienst ist den kreisfreien Städten und den Landkreisen zur Erfüllung nach Weisung übertragen. Die Schulgesundheitspflege umfasst den schulärztlichen und den schulzahnärztlichen Dienst. Ihre Aufgabe ist es, in Zusammenarbeit mit der Schule und den Eltern die gesundheitliche Entwicklung der Schülerinnen und Schüler durch Vorsorge zu fördern, gesundheitlichen Gefährdungen vorzubeugen und Maßnahmen zur Behebung gesundheitlicher Störungen einzuleiten. Zur Schulgesundheitspflege gehören auch vorschulische Untersuchungen, soweit diese für eine spätere schulische Entscheidung notwendig sind. Zur Schulgesundheitspflege gehören auch vorschulische Untersuchungen, soweit diese für eine spätere schulische Entscheidung notwendig sind.

Verordnung über die Zulassung und die Ausgestaltung von Untersuchungen und Maßnahmen der Schulgesundheitspflege vom 7. Februar 2000 – Stand 22. September 2009 [Auszug]

§ 1 – Inhalte und Aufgabe der Schulgesundheitspflege

Die Schulgesundheitspflege umfasst:

2. sonstige schulärztliche Untersuchungen nach § 71 Abs. 1 des Hessischen Schulgesetzes sowie die nach dieser Verordnung zugelassenen weiteren schulärztlichen und schulzahnärztlichen Untersuchungen,
3. eine fortlaufende Betreuung chronisch kranker, behinderter und besonders gesundheitsgefährdeter Schülerinnen und Schüler,
4. eine Mitwirkung bei der kinder- und jugendgesundheitsgemäßen Gestaltung der Einrichtungen der Schule,

5. Maßnahmen der schulzahnärztlichen Gruppenprophylaxe und sonstige schulärztliche und schulzahnärztliche Maßnahmen der Schulgesundheitsförderung einschließlich der Impfberatung und des Angebotes schulischer Impfprogramme,
6. eine schulärztliche und schulzahnärztliche Fachberatung des Schulträgers, der Schulleitung und der Schulaufsicht,
7. eine schulärztliche und schulzahnärztliche Beratung der Schülerinnen und Schüler zur Prävention von Krankheiten.

§ 3 – Schulzahnärztliche Untersuchungen und Gruppenprophylaxe

(1) Schulzahnärztliche Untersuchungen werden bis zum Ende der Schulausbildung durchgeführt. Sie sind im jährlichen Abstand zulässig und erfassen die klinischen Untersuchungsverfahren mit dem nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft erforderlichen Instrumentarium.

(2) Schulzahnärztliche Gruppenprophylaxe ist zulässig. Sie wird bei Schülerinnen und Schülern bis zur Vollendung des 12. Lebensjahres durchgeführt und kann auch Maßnahmen der Intensivprophylaxe enthalten. Soweit die Gruppenprophylaxe mit zahnärztlichen Eingriffen verbunden ist, ist das Einverständnis der Eltern erforderlich.

§ 4 – Schulärztliche und schulzahnärztliche Sprechstunden

(1) In schulärztlichen Sprechstunden können den Schülerinnen und Schülern im notwendigen Umfang individuelle Untersuchungen, Begutachtungen und Beratungsangeboten werden.

(2) In regelmäßigen schulzahnärztlichen Sprechstunden können den Schülerinnen und Schülern im notwendigen Umfang individuelle Untersuchungen, Beratungen sowie Maßnahmen der Individualprophylaxe angeboten werden.

§ 5 – Informations- und Beteiligungsrechte der Eltern und der Schülerinnen und Schüler

Die Schülerinnen und Schüler und ihre Eltern sind vor schulärztlichen und schulzahnärztlichen Untersuchungen in geeigneter Form schriftlich zu informieren. Soweit für Maßnahmen nach § 2 Abs. 3 und § 3 Abs. 2 Satz 2 das Einverständnis der Eltern erforderlich ist, hat die Erklärung in schriftlicher Form zu erfolgen. Auf die Einwilligung kann verzichtet werden, wenn ihre Einholung unmöglich oder dem Betroffenen unzumutbar ist. Ergänzend gilt § 7 Abs. 2 des Hessischen Datenschutzgesetzes.

§ 6 – Organisation und Durchführung

(1) Die Heranführung zu und Beaufsichtigung der Schülerinnen und Schüler vor und nach den Maßnahmen der Schulgesundheitspflege obliegt der Schule.

(2) Die Durchführung der schulärztlichen und schulzahnärztlichen Untersuchungen und Maßnahmen erfolgt durch eine Ärztin oder einen Arzt beziehungsweise eine Zahnärztin oder einem Zahnarzt unter Assistenz einer Hilfskraft.

§ 7 – Datenverarbeitung

(1) Die Zulässigkeit der schulärztlichen und schulzahnärztlichen Untersuchungen und Maßnahmen umfasst auch die Verarbeitung der erforderlichen personenbezogenen Daten der Schülerinnen und Schüler. Bei einem Schulwechsel oder Umzug der Schülerin oder des Schülers werden die Schulgesundheitsdaten an das für die neue Schule zuständige Gesundheitsamt oder an die ansonsten zuständige Behörde weitergeleitet.

(2) Die namentlichen Schulgesundheitsdaten werden nach Ablauf des 23. Lebensjahres der betroffenen Schülerinnen und Schüler gelöscht.

(3) Ergänzende Vorschriften des Hessischen Datenschutzgesetzes, des Sozialgesetzbuches über die Datenverarbeitung bleiben unberührt.

13.2 Befundbogen

Prävalenz von MIH in Grundschulen (1.-4. Klasse):

Schul-Nr.: _____ Klassenstufe: _____ Untersuchungsdatum: _____
 Geschlecht: m/w Geb.-Datum: _____ Alter: _____ ID-
 Nummer: _____
 Geburtsort und Unters.ort identisch?: ja/nein Geburtsort Dtl.: ja/nein/unbekannt Land: _____
 Fluorose: ja/nein

	Farbe/ Veränderung (9:Fläche nicht beurteilbar)					Substanzen/ Verlust (Defekt ist nach Durchbruch entstanden)					Zerstörte/ fehlende Zähne (mit Defekt durchgebroc	Sensibilit ät (+/-)	Atypische Restaurationen (Kunststoff: KST; Zement: Zem; Amalgam: Am; Krone: K; Fissurenversiegelung: V)					
	m	o	d	b	p/ l	m	o	d	b	p/ l			m	o	d	b	p/ l	Welche:
16																		
55																		
12																		
11																		
21																		
22																		
65																		
26																		
36																		
75																		
32																		
31																		
41																		
42																		
85																		
46																		
Σ																		

Schweregrade nach Wetzel und Reckel (1991)

A: Einzelne weiß-cremig bis gelb-braune Verfärbungen/Opazitäten im Bereich der Kauflächen und/oder der Höcker/des oberen Kronendrittels, nur Schmelz betroffen

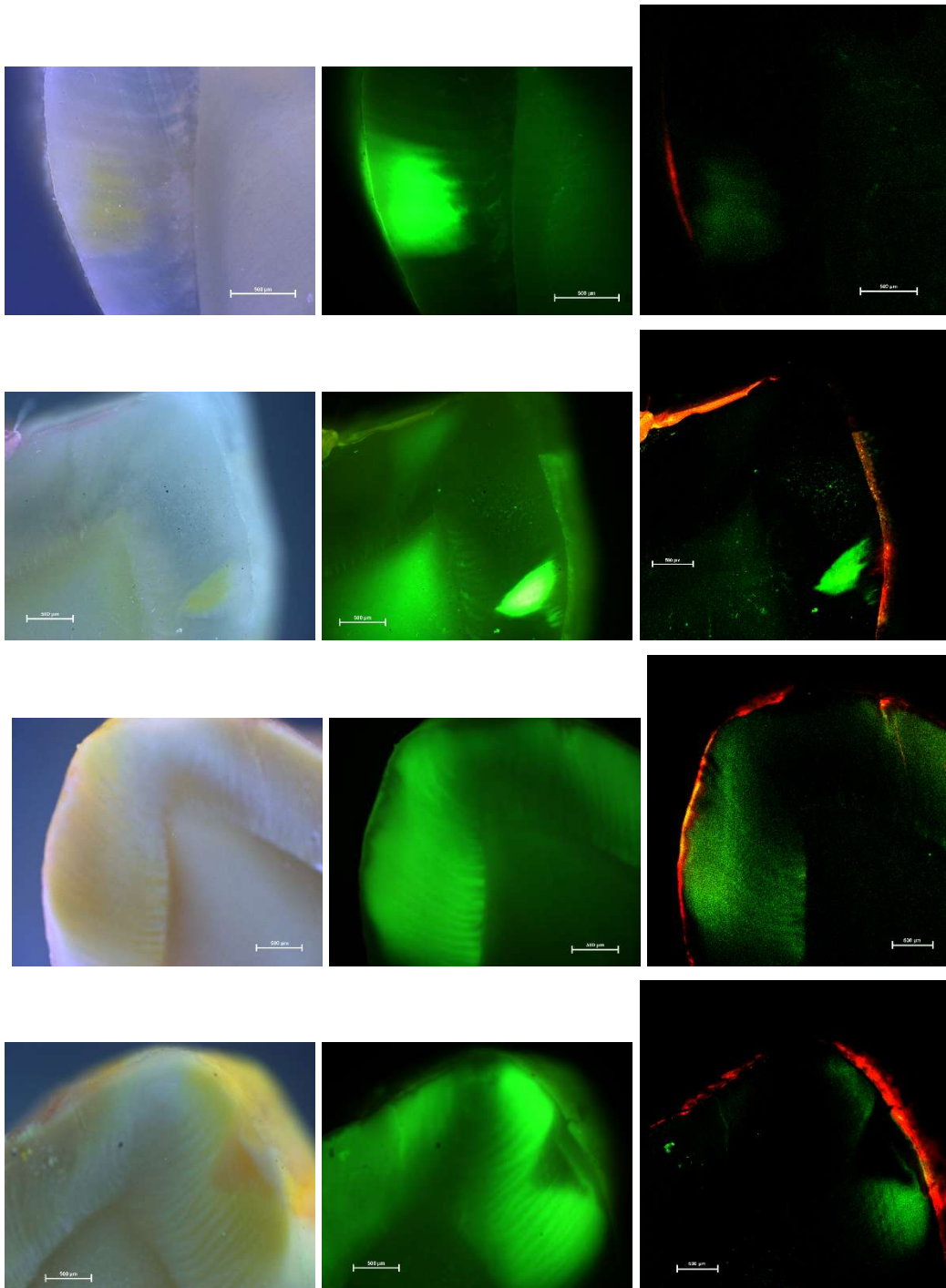
B: Überwiegend fehlmineralisierter gelb-bräunlicher Zahnschmelz, der alle Höcker mehr oder weniger erfasst; gesamte vestibuläre Fläche von Schneidezähnen betroffen

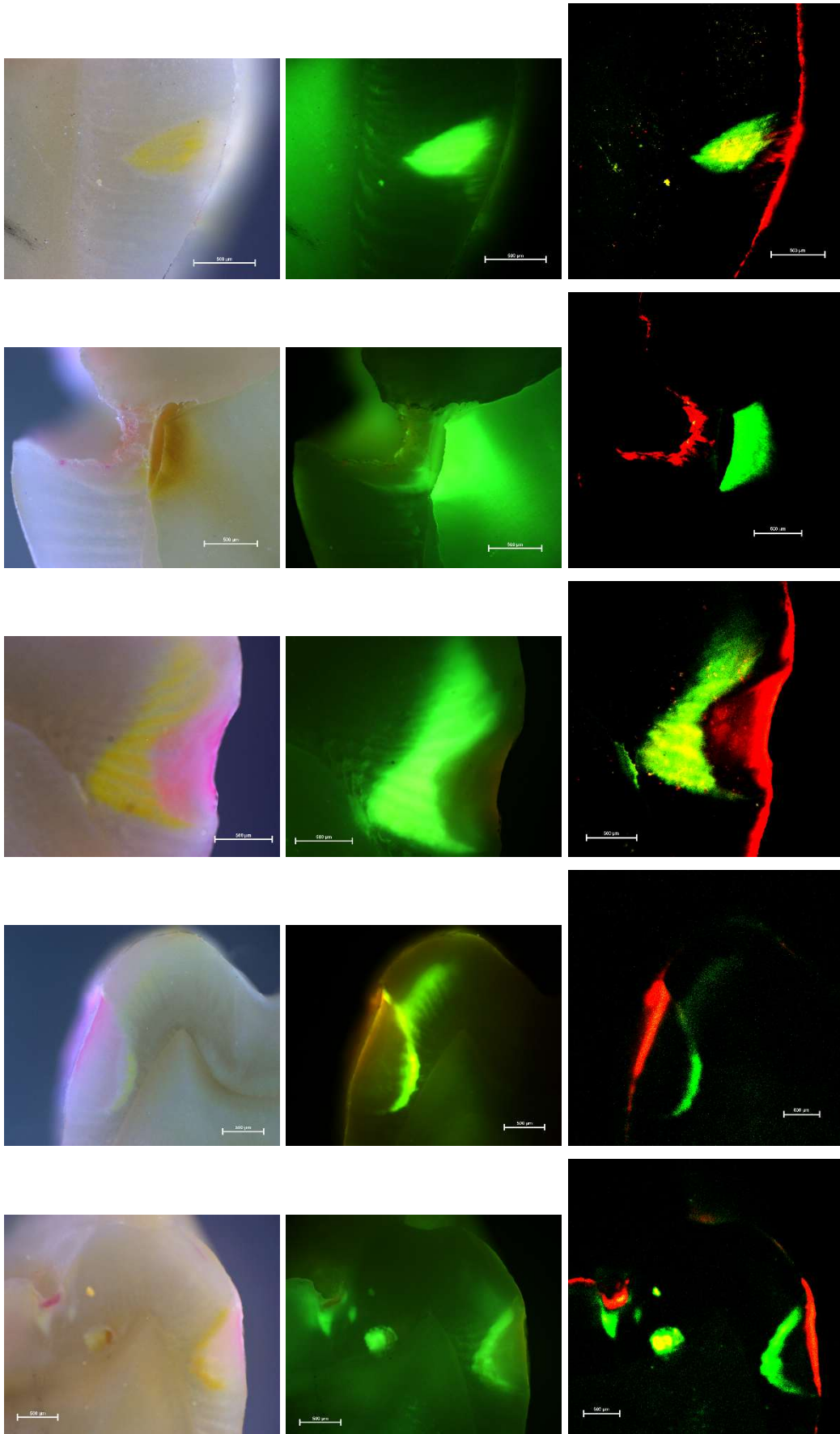
C: Großflächige Mineralisationsstörungen mit ausgeprägten gelblich-bräunlichen Verfärbungen und Defekten in der Kronenmorphologie von Molaren und Schneidezähnen aufgrund ausgeprägter Schmelzverluste mit Dentinbeteiligung

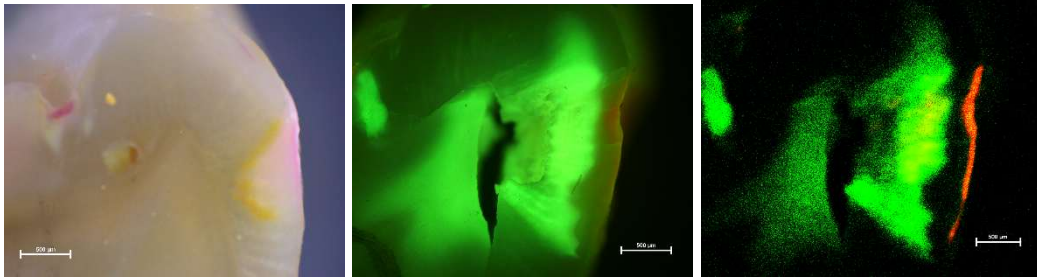
d		D	
m		M	
f		F	
dmf		DMF	

13.3 Bilder zur Untersuchung der In-vitro-Studie

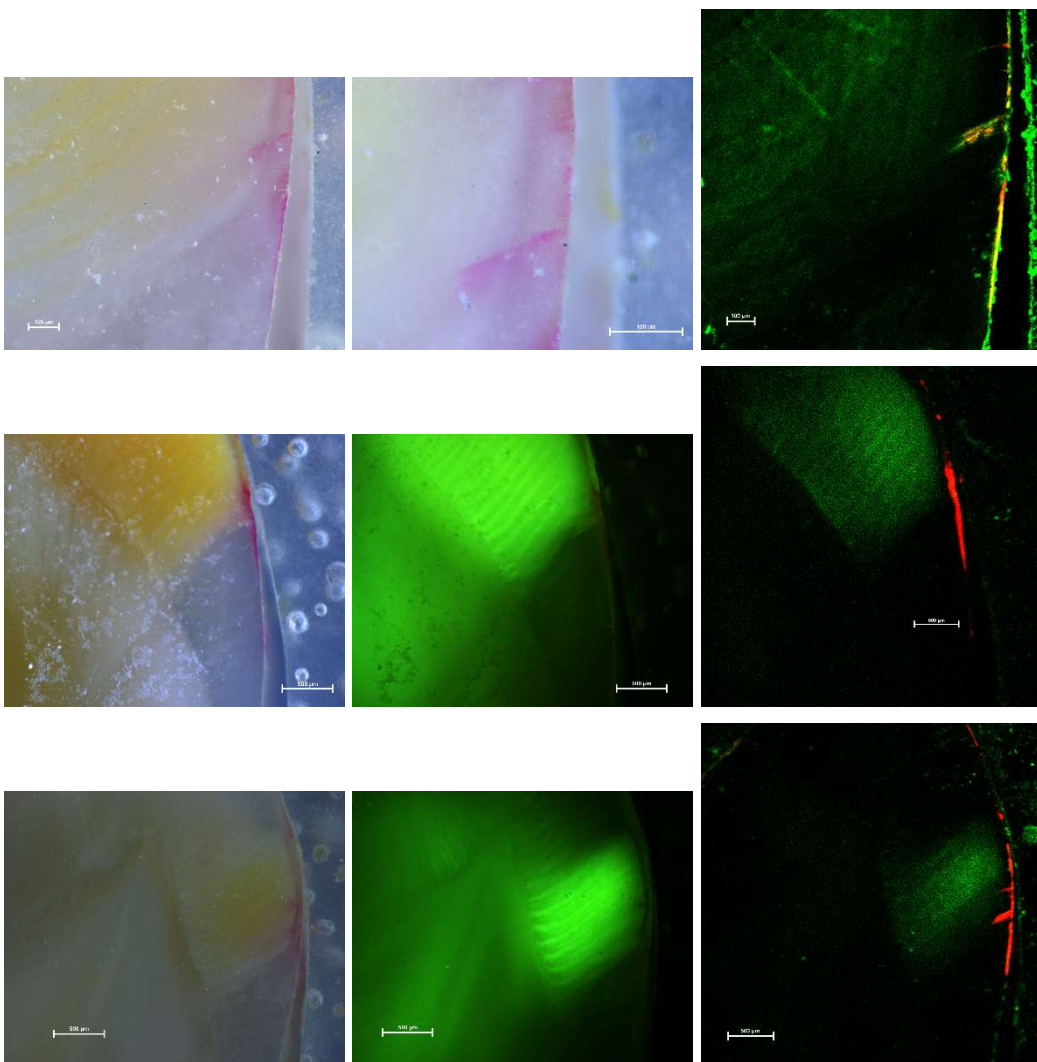
13.3.1 Molaren mit Initialkaries

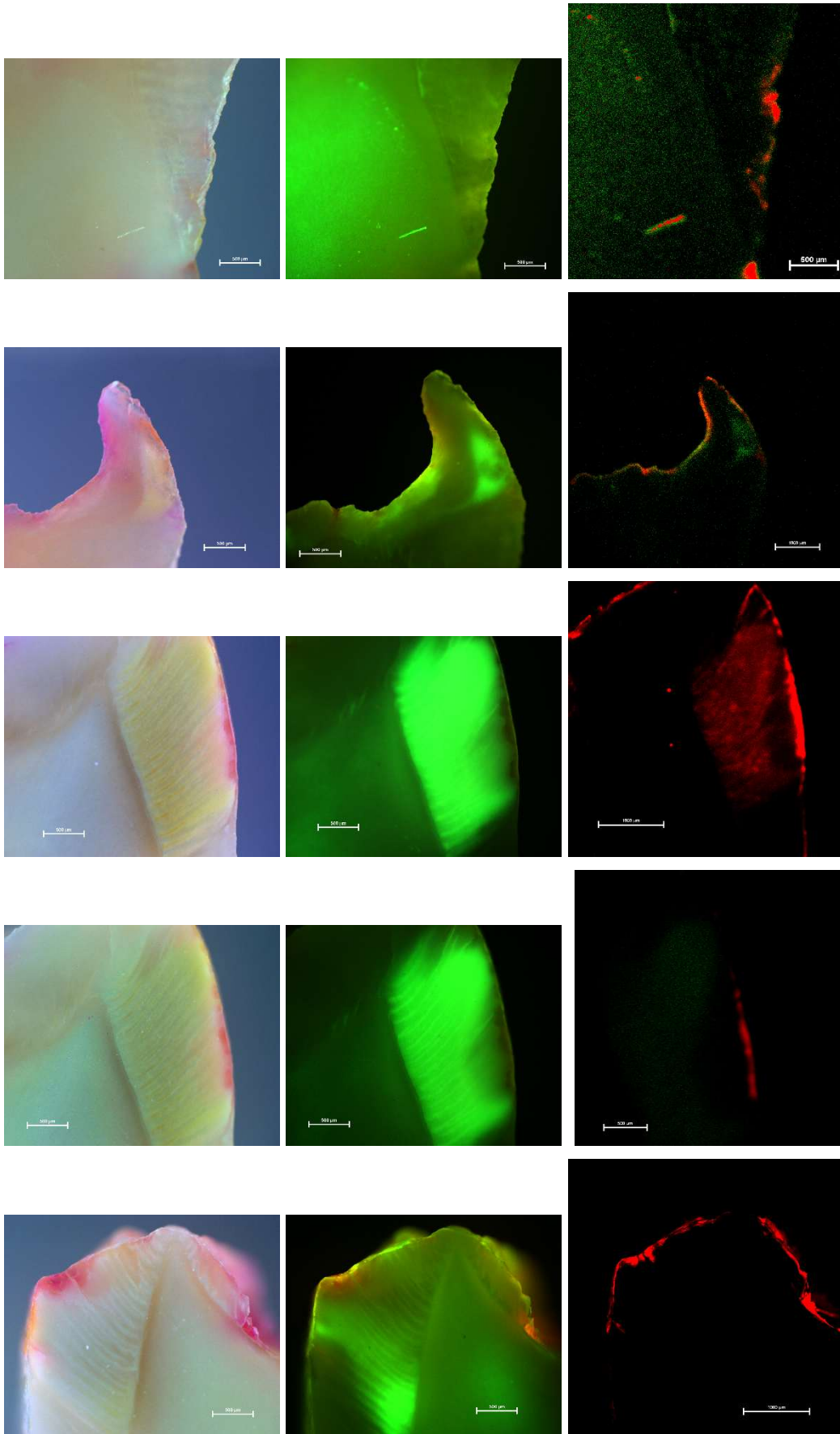


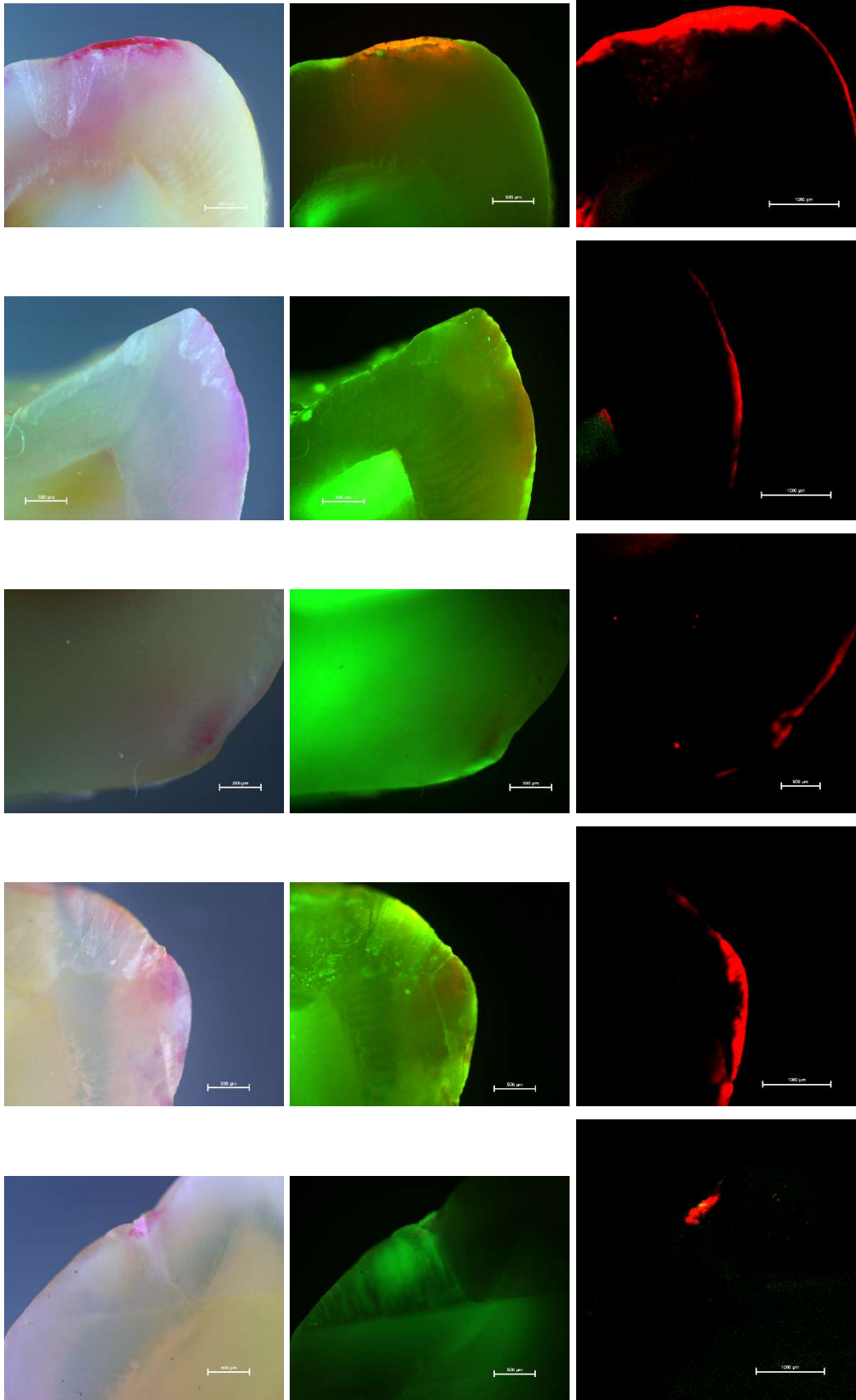


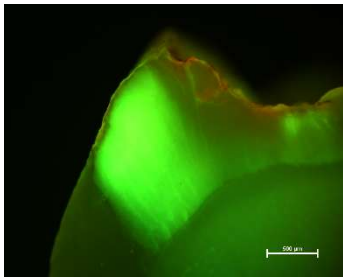
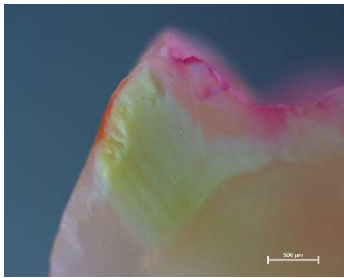
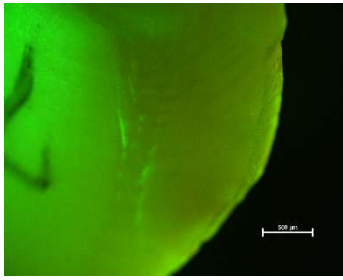
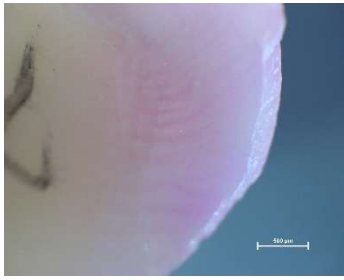
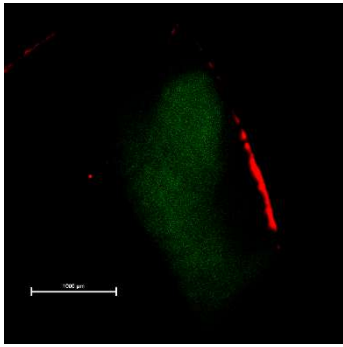
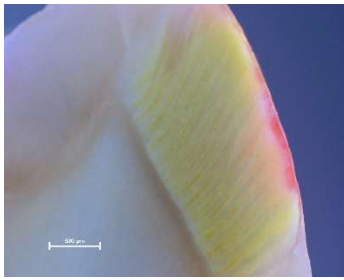
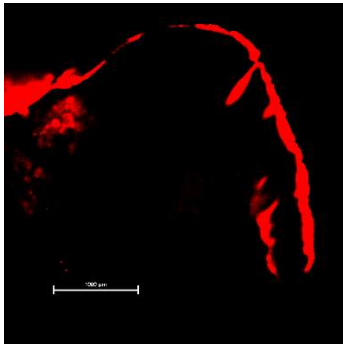
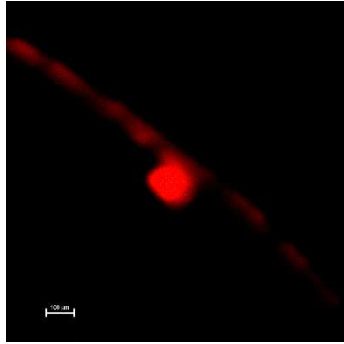
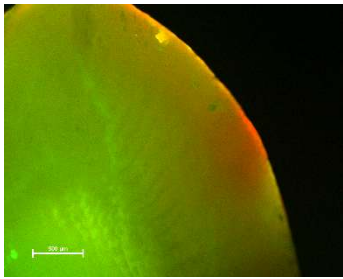
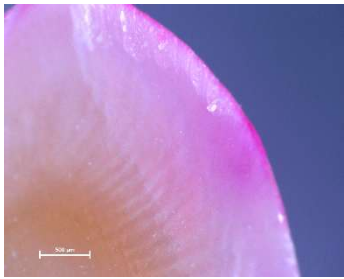


13.3.2 MIH-Molaren









14. Publikationsverzeichnis

2021

Amend S, Nossol C, Bausback-Schomakers S, Wleklinski C, Scheibelhut C, Pons-Kühnemann J, Frankenberger R, Krämer N: Prevalence of molar-incisor-hypomineralisation (MIH) among 6–12-year-old children in Central Hesse (Germany). Clin Oral Investig 2021: 2093–2100, doi: 10.1007/s00784-020-03519-7

2017

Jahrestagung der DGKIZ in Leipzig, 28.–30.09.2017
Postervorstellung am 29.09.2017

15. Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

16. Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Professor Dr. Dr. Norbert Krämer für die Auswahl und Bereitstellung dieses interessanten Themas, außerdem für die freundliche, ausdauernde und unterstützende Betreuung.

Ein besonderer Dank gilt auch Frau Dr. Susanne Lücker, Frau Dr. Stefanie Amend und Frau Ingrid Heidmann, die mich ebenso tatkräftig bei den histologischen Arbeiten im Labor oder bezüglich wissenschaftlich konstruktiver Hinweise unterstützt haben. Weiterhin bedanke ich mich bei dem Institut für Medizinische Statistik der Justus-Liebig-Universität Gießen für ihre Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Darüber hinaus danke ich der gesamten Abteilung für Kinderzahnheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen für ihre stets freundliche Unterstützung.

Dies gilt auch für alle Zahnarztpraxen, die mir freundlicherweise MIH-Zähne zur Verfügung gestellt haben.

Herrn Hergen Hillen danke ich für die Form- und Rechtschreibkorrektur.

Weiterhin möchte ich mich auch bei meiner Familie, meinen Eltern, insbesondere meinem Ehemann, Petja Nossol, und meinen Freunden für ihre Geduld, ihre Ermutigungen und das häufige Babysitting bedanken.