

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Dr. Erhard

Staubemission bei der Pferde Zahnbehandlung mit elektrischen Schleifgeräten

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Anna Gudrun Altersberger
aus Schweinfurt

München 2011

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. Erhard

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Reese

Tag der Promotion: 30. Juli 2011

In Erinnerung an meinen Bruder Sebastian

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Literatur.....	2
2.1 Das Gebiss des Pferdes	2
2.2 Abnorme Gebissabnutzung.....	4
2.2.1 Domestikationsfolge.....	4
2.2.2 Gebissentwicklungsstörungen.....	5
2.3 Die Zahnbehandlung des Pferdes.....	6
2.3.1 Motorisierte Zahnschleifgeräte	7
2.3.2 Befunde und Korrekturmaßnahmen.....	8
2.3.2.1 Backenzähne.....	8
2.3.2.2 Hakenzähne.....	9
2.3.2.3 Schneidezähne.....	9
2.4 Staub.....	11
2.4.1 Staub am Arbeitsplatz während der Zahnbehandlung des Pferdes.....	11
2.4.2 Definition und Einteilung von Staubfraktionen.....	13
2.4.3 Arbeitsplatzgrenzwerte.....	15
2.4.4 Messmethoden.....	17
2.4.5 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung von Staub.....	18

3	Tiere, Material und Methoden.....	19
3.1	Tierarztpraxis der Versuchsdurchführung.....	19
3.2	Tiere, Haltungsform und Fütterung.....	19
3.3	Methode der Staubmessung	21
3.4	Vorversuchsphase.....	23
3.5	Versuchsaufbau der Hauptversuchsphase.....	24
3.5.1	Staubmessungen der Umgebungsluft.....	25
3.5.2	Behandlungsablauf und Integration der Messungen.....	26
3.5.3	Messvorgehen während Zahnbehandlung.....	29
3.5.3.1	Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	29
3.5.3.2	Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse.....	30
3.5.3.3	Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	30
3.5.3.4	Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	30
3.5.3.5	Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	31
3.6	Falldokumentation.....	31
3.7	Methode der Staubsammlung für morphologische Untersuchungen.....	31
3.8	Rasterelektronenmikroskopie.....	32
3.9	Statistische Grundlagen.....	32
4	Ergebnisse.....	33
4.1	Staubkonzentration im Verlauf von Einzelmessungen.....	33
4.2	Konzentrationsvergleich der Staubfraktionen.....	35
4.2.1	Umgebung.....	35

Inhaltsverzeichnis

4.2.2	Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	37
4.2.3	Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse.....	39
4.2.4	Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	41
4.2.5	Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	43
4.2.6	Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	45
4.2.7	Zusammenfassende Darstellung von Staubkonzentrationen und mittleren Höchstwerten.....	47
4.3	Alveolengängige Fraktion	49
4.3.1	Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	50
4.3.2	Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse.....	51
4.3.3	Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	52
4.3.4	Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	53
4.3.5	Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	54
4.3.6	Tabellarischer Überblick zu 4.3.1 - 4.3.5.....	55
4.4	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen.....	56
5	Diskussion.....	62
5.1	Verlaufskurven von Einzelmessungen.....	62
5.2	Konzentrationsvergleich der Staubfraktionen.....	63
5.2.1	Umgebung.....	63
5.2.2	Behandlungsschritte.....	63
5.3	Alveolengängige Fraktion.....	66
5.4	Rasterelektronenmikroskopie.....	67

Inhaltsverzeichnis

5.5	Methodenkritik und weiterer Forschungsbedarf.....	68
5.6	Schlussfolgerungen und Empfehlung für Tierärzte.....	69
6	Zusammenfassung.....	71
7	Summary.....	73
8	Anhang.....	75
9	Literaturverzeichnis.....	77
10	Danksagung.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Alters- und Geschlechtsverteilung der Pferde der Hauptversuchsphase	20
Abbildung 2:	Haltungsform, Einstreu und Fütterung der Pferde der Hauptversuchsphase.....	20
Abbildung 3:	Laserphotometer mit Probenschlauch und Abstandhalter.....	24
Abbildung 4:	Ablauf Zahnbehandlung und Staubmessungen.....	28
Abbildung 5:	Staubemissionsprofil einer Einzelmessung bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	33
Abbildung 6:	Staubemissionsprofil einer Einzelmessung bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	34
Abbildung 7:	Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Umgebungsmessung vor und nach der Zahnbehandlung.....	36
Abbildung 8:	Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	37
Abbildung 9:	Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	38
Abbildung 10:	Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse.....	39
Abbildung 11:	Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse.....	40
Abbildung 12:	Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	41
Abbildung 13:	Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 14: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	43
Abbildung 15: Sichtbare Staubemission bei Schneidezahnbehandlung.....	44
Abbildung 16: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	44
Abbildung 17: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	45
Abbildung 18: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse	46
Abbildung 19: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe.....	50
Abbildung 20: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	51
Abbildung 21: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe	52
Abbildung 22: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe.....	53
Abbildung 23: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse.....	54
Abbildung 24: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Staub auf MCE Filter, 500fache Vergrößerung.....	56
Abbildung 25: Konglomerate, teilweise bestehend aus alveolengängigen Partikeln, 1000fache Vergrößerung.....	57
Abbildung 26: Lamelle mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 1000fache Vergrößerung.....	57
Abbildung 27: (Zahn)lamelle auf MCE Filter, 1000fache Vergrößerung.....	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 28: Einzelpartikel (Zahnsubstanz) auf MCE Filter, 1000fache Vergrößerung	58
Abbildung 29: Einzelpartikel (Zahnsubstanz) auf MCE Filter, 1500fache Vergrößerung	59
Abbildung 30: (Zahn)lamelle mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung.....	59
Abbildung 31: Einzelpartikel (Zahnsubstanz) mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung	60
Abbildung 32: Konglomerate, teilweise bestehend aus alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung.....	60
Abbildung 33: Größerer Partikel mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung	61
Abbildung 34: Einzelpartikel (Zahnsubstanz) mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 5000fache Vergrößerung.....	61
Abbildung 35: Falldokumentationsbogen.....	75
Abbildung 36: Befundbogen.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Staubgrenzwerte in Deutschland.....	16
Tabelle 2: Technische Daten DUST TRAK TM DRX 8533 Aerosol Monitor.....	22
Tabelle 3: Staubmessung der Umgebungsluft vor und nach der Zahnbehandlung. .	25
Tabelle 4: Staubmessung während der Zahnbehandlung.....	29
Tabelle 5: Staubkonzentration in der Umgebungsluft vor und nach der Zahnbehandlung.....	36
Tabelle 6: Staubkonzentration in der Umgebungsluft und während der Behandlungsschritte, Angabe von Medianwerten.....	47
Tabelle 7: Staubkonzentration während der Behandlungsschritte, Auswertung von Einzeltiermedianen.....	47
Tabelle 8: Mittlere Höchstwerte und SEM der Behandlungsschritte und Fraktionen	48
Tabelle 9: Grenzwertübersteigender Anteil der Messwerte (in %) und Höchstwerte der Fraktion PM4.....	55

Abkürzungsverzeichnis

A-Fraktion (-Staub)	alveolengängige(r) Fraktion (Staub)
AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert(e)
BAT	Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte
BG Bau	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BZ	Backenzahn (-zähne)
C	Caninus (Canini)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung
DS	Diamantschleifscheibe
E-Fraktion (-Staub)	einatembare(r) Fraktion (Staub)
EMC	excursion to molar contact
EN	Europäische Norm
FFP	filtering facepiece
h	Stunde(n)
HBT	Höhe Breite Tiefe
HZ	Hakenzahn (-zähne)
I	Incisivus (Incisivi)
i. v.	intravenös
KF	Kugelfräse aus Wolframkarbid
kg	Kilogramm
KW-ANOVA on the ranks	rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis
ℓ	Liter
LBG NRW	Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft Nordrhein-Westfalen
LGL Bayern	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
M	Molar(e)
m ³	Kubikmeter

Abkürzungsverzeichnis

MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MB	Megabyte
MCE	mixed cellulose ester
mg	Milligramm
MHW	mittlerer Höchstwert
min	Minute(n)
mm	Millimeter
n	Anzahl
n. B.	nach Behandlung
NOAEL	no observed adverse effect level
NR	non reusable
OK	Oberkiefer
p	Signifikanzwert
P	Prämolar(e)
PM	particulate matter
R	reusable
s	Sekunde(n)
SEM	standard error of the mean
SZ	Schneidezahn (-zähne)
TEOM	tapered element oscillating microbalance
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
TS	Trennscheibe aus Diamant
TSP	total suspended particles (particulates)
VAC	volt alternating current
v. B.	vor Behandlung
WF	Walzenfräse aus Wolframkarbid
µm	Mikrometer

1 Einleitung

In der Tiermedizin ist ein Trend zur Spezialisierung zu beobachten mit dem Ziel, eine bestmögliche tiermedizinische Versorgung der Patienten gewährleisten und die hohen Erwartungen der Patientenbesitzer erfüllen zu können.

So gewinnt innerhalb der Pferdemedizin seit einigen Jahren die Spezialisierung im Bereich Zahnheilkunde zunehmend an Bedeutung, wobei im Rahmen der Zahnbehandlungen die Gebisskorrektur im Vordergrund steht. Häufig liegen durch mangelnde Abnutzung Fehlstellungen des Pferdegebisses vor. Durch entsprechende Behandlungsmaßnahmen soll wieder eine Normokklusion erreicht werden.

Die Methode der Wahl ist das Abschleifen der Zähne mit elektrischen Geräten, wobei Staub entsteht.

Das Augenmerk ist hierbei auf die Emission von alveolengängigem Staub und in diesem Zusammenhang auf die Frage zu legen, inwieweit der entstehende Staub eine Gesundheitsgefährdung für Mensch und Tier, insbesondere für behandelnde Tierärzte, darstellen kann.

Im Rahmen dieser Studie werden die Korrekturmaßnahmen an Backenzähnen, Hakenzähnen und Schneidezähnen mit unterschiedlichen elektrischen Geräten und Schleifmaterialien berücksichtigt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mittels kontinuierlicher Messungen die Konzentration und Verteilung der verschiedenen Größenfraktionen des emittierten Staubes zu bestimmen sowie durch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen dessen Morphologie zu beurteilen. Im Hinblick auf Arbeitsplatzgrenzwerte soll es möglich sein, dem behandelnden Tierarzt Empfehlungen zu präventiven Schutzmaßnahmen bei den Schleifarbeiten an den Pferde Zähnen geben zu können.

2 Literatur

2.1 Das Gebiss des Pferdes

Das Gebiss des Pferdes entspricht einem heterodonten Gebiss aus verschiedenen Zahnarten mit unterschiedlichem Aufbau: einfach gebaute Schneidezähne (*Dentes incisivi*), Hakenzähne (*Dentes canini*) und komplizierter gebaute Backenzähne, die Prämolaren (*Dentes prämolares*) und Molaren (*Dentes molares*). Letztere treten im Gegensatz zu Schneidezähnen und Prämolaren nur als bleibende Zähne auf. Pferde Zähne nehmen eine Zwischenstellung zwischen brachyodonten (kurzen) und hypselodonten (langen) Zähnen ein; sie sind in der Jugend hypselodont und im Alter brachyodont. Beim Gebrauch der hypselodonten Zähne entsteht durch Abnutzung eine Reibefläche, während brachyodonte Zähne ein Leben lang fast unverändert bleiben (BECKER, 1970).

Die Zahnkronen werden abgenutzt, dies wird bei Jungtieren durch echtes Längenwachstum, das bis zum 6. (BECKER, 1970) bzw. 7. Lebensjahr (EISENMENGER und ZETNER, 1982) anhält, ausgeglichen. Anschließend werden die Zähne aus dem Zahnfach nachgeschoben, um den Längenverlust auszugleichen (BECKER, 1970).

Die Backenzähne werden 2-3 mm (DYCE et al., 1991) oder 3-4 mm (BECKER, 1970; EISENMENGER und ZETNER, 1982) im Jahr abgerieben, bei den Schneidezähnen ist der Abrieb geringer (BECKER, 1970), etwa 2 mm pro Jahr (EISENMENGER und ZETNER, 1982).

Die drei Zahnhartsubstanzen sind Dentin (Zahnbein), Schmelz (Email) und Zement. Die Hakenzähne besitzen einen einfachen Bau. Die Zahnbaubestandteile sind dabei im Bereich der Zahnkrone Schmelz und Dentin, im Bereich der Zahnwurzel Zement und Dentin.

Alle übrigen Zähne, die Schneidezähne, die prämolaren und molaren Backenzähne, sind beim Pferd besonders geformt und aufgebaut. Zum einen sind die Zähne bis zu 100 mm groß mit langer Krone, zum anderen ist der harte Schmelz zur Vergrößerung seines Kauflächenanteils eingefaltet bzw. teilweise zu Schmelzbechern eingesenkt. Die Falten füllt das weichere Zement aus, das auch die Zähne umhüllt. Durch Abrieb

erscheint Dentin an der Zahnoberfläche, im Bereich der Zahnkrone sind somit alle drei Zahnhartsubstanzen vorhanden. Sekundärdentin verschließt die Pulpa. Die Schneidezähne des Pferdes weisen einfache Schmelzeinstülpungen auf. Die Backenzähne sind schmelzfaltig mit Schmelzfalten und Schmelzbechern im Oberkiefer und ausschließlich mit Schmelzfalten im Unterkiefer (ENGELKE und SCHNAPPER, 2003).

Die Zahnformel des Dauergebisses für Oberkiefer sowie Unterkiefer ist

3I 1C 3P (4P) 3M.

Das entspricht 40 (42 oder 44) Zähnen (NICKEL et al., 2004). Die nicht immer einheitliche Anzahl an bleibenden Zähnen liegt darin begründet, dass die schmelzhöckerigen Hakenzähne bei Stuten selten durchbrechen (NICKEL et al., 2004). Zudem bricht gelegentlich vor dem ersten voll ausgebildeten Prämolaren (P2) ein kleiner Zahn durch, der Lücken- oder Wolfszahn (Lupinus oder P1) genannt wird (BECKER, 1970; NICKEL et al., 2004).

Häufig wird neben der anatomischen Nomenklatur auch die dreistellige modifizierte Triadan-Nomenklatur verwendet, die jeden Zahn kennzeichnet. Die erste Ziffer bezeichnet den Quadranten: 1 steht für oben rechts, 2 für oben links, 3 für unten links, 4 für unten rechts. Bei den Milchzähnen bezeichnen entsprechend 5 - 8 die Quadranten (BARTMANN et al., 2010; FLOYD, 1991). Von der Mittellinie beginnend werden die Zähne nach distal durchgezählt (I1 OK links entspricht 201), nach BARTMANN et al. (2010) werden auch nicht sichtbare und nicht vorhandene Zähne mitgezählt.

Backenzähne sind an die Funktion als „highly efficient, serrated, self-sharpening grinding mills“ angepasst (UHLINGER, 1991).

Die Kaufläche der Backenzähne zeichnet sich durch Querkämme und -täler aus, die raue Struktur begünstigt das Zermahlen harten Futters (BECKER, 1970). Die unregelmäßige Backenzahnokklusalfäche schärft sich kontinuierlich selbst während des Kauens durch den unterschiedlichen Abrieb der drei Zahnhartsubstanzen Schmelz, Dentin und Zement (DACRE, 2006).

Der Abstand der Backenzahnreihen zueinander ist im Oberkiefer breiter als im Unterkiefer, was als Anisognathie oder Deckungsungleichheit bezeichnet wird. Die

Oberkieferbackenzähne sind selbst auch breiter als ihre Antagonisten im Unterkiefer. Physiologisch weisen die Kauflächen der Backenzähne in der Querebene eine Winkelung von 10-15° auf (BAKER und EASLEY, 2007). Durch die bestehende Anisognathie decken sich die Backenzahnkauflächen von Ober- und Unterkiefer in Ruhestellung nur teilweise (BECKER, 1970; NICKEL et al., 2004).

2.2 Abnorme Gebissabnutzung

2.2.1 Domestikationsfolge

Nach BAKER und EASLEY (2007) gibt es während des Kauvorgangs eine Öffnungs-, Schließ- und Mahlphase.

Die Lippen des Pferdes sammeln das Futter zwischen den Schneidezähnen, die zum Gras gut geeignet sind. Durch die laterale Beweglichkeit des Temporomandibulargelenks können die Backenzähne als Mahleinheit arbeiten. Beim Schließen der Kiefer wird das Futter zwischen Oberkiefer und Unterkiefer gequetscht, darauf folgt eine seitliche Bewegung des Unterkiefers von bukkal nach lingual, die im englischen Sprachgebrauch als „power stroke“ bezeichnet wird und entweder auf der linken oder rechten Kieferseite ausgeführt wird (TREMAINE, 1997).

Die Domestikation der Pferde führt zur Umstellung ihrer Fütterung, deren Großteil nun hochkonzentriertes Kraffutter ausmacht (BECKER, 1970).

Aus dem natürlichen Futter des Pferdes (Rauhfutter) können Bündel geformt werden, die zwischen den Ober- und Unterkieferzähnen durch Ausnutzung der gesamten Kaufläche zermahlen werden, wodurch sich die Zähne gleichmäßig abreiben. Das ist mit Kraffutter nicht möglich. Es können keine Bündel geformt werden. Die Kauausschläge haben eine geringere Weite, da die Kiefer aufeinander gepresst werden müssen, damit das Futter nicht herausfällt (BECKER, 1970; EISENMENGER und ZETNER, 1982; KELLER, 2009). Wenn Futter wie Quetschhafer, Pellets oder weichstengeliges Heu verabreicht wird, führen Pferde eine unvollständige seitliche Mahlbewegung aus, da ein weiter Kauausschlag nicht nötig ist (MÜLLER, 1986). Es entstehen scharfe Zahnspitzen (hervorstehende Schmelzränder) an der bukkalen Seite der Oberkieferbackenzähne und der lingualen Seite der Unterkieferbackenzähne (BECKER, 1970; DIXON, 2000). Dies ist durch die

Anisognathie der Kiefer bedingt (DIXON, 2000; SIMHOFER und ZETNER, 2006). Eine gewisse Ausprägung von Zahnschmelz aus Schmelz ist physiologisch aufgrund des unterschiedlichen Abriebs der drei Zahnschmelzsubstanzen, von denen Schmelz am härtesten ist (DIXON, 2000).

Mithilfe des Molographen (Kauzeichners) nach Leue waren Aufzeichnungen von Mologrammen (Kaubildern) möglich. Diese stellten dar, dass die seitliche Bewegung des Unterkiefers bei der Gabe von Körnerfutter geringer ist als bei Raufutter (LEUE, 1941). Je trockener das Futter, umso geringer die Seitenbewegungen (BAKER und EASLEY, 2007).

BECKER (1970) fand in eigenen Untersuchungen mit dem Molographen heraus, dass der Unterkiefer nach Abschleifen der Zahnschmelzspitzen eine weitere seitliche Bewegung beim Fressen von Gras oder Heu zeigte als vor Behandlung. Bei importierten Zebras und Przewalskipferden wurden keine und bei afrikanischen Eseln, Mauleseln oder Maultieren, die hauptsächlich mit Raufutter gefüttert wurden, kaum Zahnschmelzspitzen entdeckt.

DACRE (2006) und DIXON (2000) sehen ebenfalls die Futterumstellung im Zuge der Domestikation als Grund für verändertes Kau- und Fressverhalten und daraus folgende Zahnprobleme. Das domestizierte Pferd verbringt weniger Zeit mit Fressen als in der freien Wildbahn (bis zu 18 h/Tag). Beim Fressen von Krautfutter anstelle von ausschließlich Heu oder Gras wird eine mehr vertikale als horizontale Kaubewegung ausgeübt und es entstehen unter anderem scharfe Zahnschmelzspitzen (engl. dental/enamel overgrowths).

Generalisierte „dental overgrowths“ beginnen oft mit stark ausgeprägten Zahnschmelzspitzen, die in einem Kauflächenwinkel von 45° resultieren können (normalerweise 10-15°). Dieser Zustand wird Scherengebiss genannt und kann ein mechanisches Hindernis für die Lateralbeweglichkeit der Kiefer sein und ist somit selbsterhaltend.

2.2.2 Gebissentwicklungsstörungen

Neben den durch die Domestikation entstandenen Problemen führen Entwicklungsstörungen oder erworbene Störungen der Zähne ebenfalls zu einer abnormen Gebissabnutzung.

Nach KELLER (2009) braucht jeder Backenzahn einen Antagonisten im Gegenkiefer. Dort, wo Kauflächen sich nicht decken, ein Antagonist fehlt oder durch Missbildungen nicht die normale Höhe erreicht, durch Erkrankungen (Karies/Parodontose) zerfällt oder extrahiert wurde, wachsen Zähne weiter und es kommt zur Ausbildung von Haken, Kanten oder Spitzen (Exsuperantia dentium).

Auch andere Autoren sehen Kieferfehlstellungen wie Brachygnathia inferior und superior (Über- und Unterbiss) oder falsch positionierte Zähne, Polyodontie oder Oligodontie, Zahnlücken (Diastemata), Frakturen, Verlust oder Extraktion eines Zahnes durch den Tierarzt oder die Meidung einer Kieferseite aufgrund von Schmerzen als Auslöser für Gebissveränderungen (BAKER, 1991; BAKER und EASLEY, 2007; DIXON, 2000).

Jeder Zahn, der nicht in Okklusion ist, wird aufgrund des Längenwachstums weiter nachschieben und letztendlich fokal über die Höhe der anderen Zähne hinausragen, da kein normaler Abrieb stattfindet; hieraus resultieren Gebissprobleme (DIXON et al., 2000).

2.3 Die Zahnbehandlung des Pferdes

Das Erhalten oder Herstellen einer Normokklusion ist Ziel jeder Zahnbehandlung (SIMON et al., 2009).

Nach STUBBS (2004) sind Ziele der Zahnbehandlung die Befreiung des Pferdes von Schmerzen im Maul, die z.B. durch Zahnschmelzverletzungen verursachte Schleimhautverletzungen hervorgerufen werden, und die Korrektur oder Vorbeugung von Gebissanomalien.

Eine Zahnbehandlung wird in Sedation und unter Verwendung eines Maulgatters durchgeführt. Geeignet ist die Sedation mit einer Kombination aus α 2-Agonisten (Detomidin, Xylazin) und Morphinderivaten (Butorphanol), wahlweise zusätzlich mit Acepromazin oder Diazepam (BAKER und EASLEY, 2007; CARMALT und RACH, 2003; HEROLD und SIMON, 2010a; SIMHOFER und ZETNER, 2006; SIMON et al., 2009).

Mehrere Autoren empfehlen eine Sedation bei schwierigen oder ängstlichen Pferden

während der Untersuchung und stets bei aufwendigen Korrekturmaßnahmen und der Verwendung eines Maulgatters, um die Verletzungsgefahr zu minimieren (DIXON, 2000; DIXON, 2003; SCRUTCHFIELD et al., 1996).

2.3.1 Motorisierte Zahnschleifgeräte

In den 30er Jahren wurde das erste elektrisch betriebene Zahninstrumentarium mit integrierter Wasserkühlung entwickelt. Mit Carborundscheifkörpern bestückte unterschiedliche Handstücke wurden durch eine flexible Welle angetrieben. Bis 1945 konnten auf diese Weise über 30 000 Pferde behandelt werden (KELLER, 2009; WENS, 1985).

Heute stehen für die Gebisskorrektur mit motorisierten Geräten strom-, batterie- oder pressluftbetriebene Vibrationsrasppler (Hin- und Herbewegung) oder Rotations-schleifer (kreisende Bewegung) mit Antriebswelle, Schleifwalzen oder -scheiben zur Verfügung.

Sie existieren zum Teil mit Absaugevorrichtung, Spüleinheit oder Lichtquelle. Schleifmaterialien sind Wolframkarbid, Karbidgranulat oder Rohdiamant(staub) (BAKER und EASLEY, 2007). Hartmetalle (Karbide) stumpfen schneller ab als Diamant (SIMON et al., 2009).

Beliebt sind Scheibenschleifgeräte, die über fest angebrachte elektrische oder batteriebetriebene Bohrmaschinen (starre Antriebswelle) oder flexible Antriebswellen betrieben werden (BAKER und EASLEY, 2007). Für Geräte mit flexibler Antriebswelle gibt es Handstücke mit unterschiedlichen Aufsätzen, wie beispielsweise Trennscheiben aus Diamant, Walzenfräsköpfe aus Wolframkarbid oder Diamant und Kugelfräsköpfe aus Wolframkarbid, die nach Bedarf für den jeweiligen Behandlungsschritt ausgetauscht werden können. Einige sind mit Schleimhautschutz versehen (SIMON et al., 2009).

Bei Korrekturmaßnahmen an den Zähnen mit elektrischen Geräten ist grundsätzlich das Abtragen von zu viel Zahnmaterial (overfloating) mit dem Ergebnis einer unphysiologisch glatten Zahnoberfläche (CARMALT und RACH, 2003; DIXON, 2000) und eine mögliche Schädigung der Zähne durch Hitzeentwicklung zu vermeiden (BAKER und EASLEY, 2007; HEROLD und SIMON, 2010b; SCRUTCHFIELD und JOHNSON, 2006a; SIMON et al., 2009). Länger als zehn Sekunden sollte kein Zahn durchgehend beschliffen werden (BAKER und EASLEY, 2007, SIMON et al., 2009).

Da diese Geräte sich immer größerer Beliebtheit erfreuen und, ursprünglich zur Entfernung von fokalen Überständen entwickelt, häufig für die Routinebehandlung verwendet werden, soll ein vorsichtiger Umgang mit motorisiertem Zahninstrumentarium besonders beachtet werden. Es besteht aufgrund der enormen mechanischen Kraft der Geräte und des geringeren Kraftaufwandes der behandelnden Person das Risiko von übermäßigem Abschleifen, die Gefahr der thermischen Pulpenschädigung und der Pulpeneröffnung (DACRE et al., 2002).

2.3.2 Befunde und Korrekturmaßnahmen

2.3.2.1 Backenzähne

Scharfe Zahnspitzen/-kanten zählen nach Zahnuntersuchungen an 30 000 Truppenpferden mit 93,7% zu den häufigsten Zahnleiden (BECKER, 1945). Postmortem wurden diese Veränderungen zu 72% festgestellt (BRIGHAM und DUNCANSON, 2000). Von 400 Pferden einer Langzeitstudie zeigten 11% scharfe Zahnspitzen, Wellen-, Treppen- oder Scherengebisse (DIXON et al., 2000). Durch die Zahnspitzen kann es zu Zungen- und Schleimhautverletzungen und weiterhin zu Kaustörungen kommen (EISENMENGER und ZETNER, 1982; MÜLLER, 1986).

Veränderungen der Backenzähne wie scharfe Zahnkanten an der lingualen Seite der Unterkieferbackenzähne und der bukkalen Seite der Oberkieferbackenzähne, eine unphysiologische Kauflächenwinkelung bis zur Ausprägung eines Scherengebisses, Haken (als Ursache oder Folge von Über-/Unterbiss), Meißelzähne, Treppen-, Wellengebiss oder raues Gebiss (*excessive transverse ridges*) müssen korrigiert werden. Eine raue Kaufläche für das Zermahlen von Futter muss erhalten bleiben (JOHNSON, 2003; SIMON et al., 2009; STUBBS, 2004).

Eine detaillierte Beschreibung des genauen Vorgehens bei der Korrektur der Backenzähne geben mehrere Autoren (BAKER und EASLEY, 2007; DIXON, 2000; SCRUTCHFIELD et al., 1996; SIMON et al., 2009; STUBBS, 2004). Jede behandelnde Person sollte ihr eigenes Routinevorgehen mit geeigneten Instrumenten entwickeln (DIXON, 2000; SCRUTCHFIELD et al., 1996).

Ziel der Schleifmaßnahmen an den Backenzähnen soll das Beibehalten der Symmetrie und Balance der Zahnarkaden sein und die Möglichkeit einer freien elliptischen Kaubewegung (SCRUTCHFIELD et al., 1996).

2.3.2.2 Hakenzähne

In einer Studie über die Häufigkeit von Hakenzahnerkrankungen zeigten sich bei 10,98% der untersuchten Tiere Zahnschmelzspitzen (MEMEDI, 2007).

Lange und scharfkantige Hakenzähne sollen gekürzt werden, um die Verletzungsgefahr für das Pferd durch Hängenbleiben an Gegenständen, für andere Tiere bei Auseinandersetzungen und für den behandelnden Tierarzt zu verringern, außerdem wird das An- und Ablegen eines Gebisses erleichtert (SCRUTCHFIELD, 1991). Zusätzlich kann die Zunge des Tieres nicht zwischen Trense und Hakenzahn eingeklemmt werden (CALDWELL, 2006), was zu Rittigkeitsproblemen führen kann (SIMON et al., 2009).

Ein Hakenzahn kann bis auf 7-10 mm über dem Gingivarand bzw. auf die Hälfte der exponierten Krone des Zahnes abgeschliffen werden (EASLEY, 2004).

Nach SCRUTCHFIELD (1991) müssen lange und scharfe Hakenzähne nahe dem Gingivarand gekürzt werden.

Andere Autoren sehen eine Kürzung auf das Niveau der Schneidezahnkaufäche als günstig an, um das Risiko einer Pulpeneröffnung möglichst auszuschließen (CALDWELL, 2006; SIMON et al., 2009).

CALDWELL (2006) nimmt die Odontoplastie mit Diamanttrennscheibe und walzenförmiger Diamantfräse zur Abrundung vor. SIMON et al. (2009) rät zur Verwendung eines walzenförmigen Fräskopfes oder einer Maschine mit Schleifscheibe und warnt aus Sicherheitsgründen vor der Nutzung einer Trennscheibe. Die Abrundung erfolgt mit kleinen, zu diesem Zweck entworfenen Handraspeln.

2.3.2.3 Schneidezähne

Mögliche Veränderungen an den Schneidezähnen sind einzelne überlange Zähne mit fehlendem Gegenspieler, Überbiss (Brachygnathia inferior) mit der extremen Ausprägung Papageienschnabel, Unterbiss (Brachygnathia superior), eine schiefe Ebene und Dorsal- oder Ventralcurvatur.

Sie können mit elektrischen Schleifgeräten korrigiert werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Pulpa nicht eröffnet wird. Es soll eine korrekte Lateralexkursion und Backenzahnokklusion erreicht werden. Die Schneidezähne dürfen nicht so stark

gekürzt werden, dass zwischen den Kauflächen der zentralen Schneidezähne eine Lücke entsteht. Ansonsten haben die Backenzähne vollen Kontakt bei zentraler, geschlossener Position der Schneidezähne. Dadurch wird zu viel Druck auf die Backenzähne ausgeübt, was zu Schmerzen, Dysphagie, Frakturen oder der Entstehung von Diastemata führen kann (SCRUTCHFIELD und JOHNSON, 2006b). Um zu bestimmen, ob Schneidezähne überlang sind und eine Kürzung nötig ist, gibt es ein Vorgehen mit dem dies anhand der Weite der Lateralexkursion (EMC, excursion to molar contact) und der Winkelung der Backenzahnkauflächen möglich ist. Die Kürzung oder Korrektur der Schneidezähne erfolgt mit einer Trennscheibe (RUCKER, 2004). Anschließend können die Schnittkanten mit einer Kugelfräse entgratet werden (SIMON et al., 2009).

Das Erhalten oder Wiederherstellen einer ausgeglichenen Dreipunktbalance von Schneidezähnen, Backenzähnen und Kiefergelenk ist bei nötigen Korrekturen an den Schneidezähnen zu beachten (SIMON et al., 2009).

Die Kauflächen der Schneidezähne werden in den physiologischen Winkel, der parallel zum Nasenrücken verläuft, gestellt. Nach RUCKER (2004) beträgt dieser Winkel 15°.

Ein häufiges Problem bei Pferden mit einer starken Ausprägung eines Überbisses (Papageienschnabel) ist die Entstehung von Zahnhaken an den 2. Prämolaren im Oberkiefer und den 3. Molaren im Unterkiefer. Bei einem Unterbiss entstehen mögliche Haken an den 2. Prämolaren des Unterkiefers und an den 3. Molaren des Oberkiefers. Sie müssen korrigiert werden, da sie zu Mastikationsproblemen führen können (SCRUTCHFIELD und JOHNSON, 2006b).

Diese Haken, die Gleithindernisse darstellen, können Ursache oder Folge eines Über- oder Unterbisses sein. Weiterentwicklung von Über-/Unterbiss und zunehmende Ausprägung von Haken begünstigen sich gegenseitig (SIMON et al., 2009).

2.4 Staub

2.4.1 Staub am Arbeitsplatz während der Zahnbehandlung des Pferdes

Viele Arbeitsvorgänge in der Industrie, Landwirtschaft und im Bauwesen sind mit der Entstehung und Ausbreitung von Staub in der Atemluft verbunden. So rufen mechanische Zerkleinerungsprozesse fester Bestandteile wie Brechen, Bohren, Mahlen, Schneiden, Sägen, Zerstäuben, Schleifen und Polieren Staubbildungen hervor, welche nicht nur Luftverunreinigungen verursachen, sondern auch die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Personen beeinträchtigen, die diese Arbeiten ausführen (DUWE et al., 1990).

Es können Arbeitsplätze unterschieden werden, an denen die Staubexposition durch den Umgang mit staubenden oder staubförmigen Materialien hervorgerufen wird, Bereiche, in denen Stäube durch mechanische Bearbeitung entstehen und Tätigkeiten, die beide Mechanismen der Staubemission vereinen.

Wie sich aus einer Darstellung der Expositionssituation in Deutschland ergab, treten besonders hohe Arbeitsplatzkonzentrationen auf bei:

- Umgang mit stark staubenden Materialien
- Verfahren hoher Staubfreisetzung wie Schneiden, Trennschleifen, Mahlen u.ä.
- Arbeit in engen Räumen
- manuellen Arbeitsprozessen
- Anlagen ohne oder mit geringem Automatisierungsgrad
- Arbeitsbereichen mit begrenzten Möglichkeiten der Stauberfassung
- Tätigkeiten an nichtstationären Arbeitsplätzen.

Technische Schutzmaßnahmen können an nichtstationären Arbeitsplätzen nur selten angewendet werden. An einigen Arbeitsplätzen liegen nur hohe Kurzzeitexpositionen vor. Hier ist es gängige Praxis, dass Atemschutz zur Anwendung kommt (BARIG und BLOME, 1999).

Als Atemschutz dienen partikelfiltrierende Halbmasken, die in drei Schutzstufen zur Verfügung stehen: FFP (Filtering Facepiece) 1, FFP 2 und FFP 3 mit einem Mindestrückhaltevermögen der Filter von 80%, 94% oder 99% bzw. einer maximal

zulässigen Gesamtleckage von 22%, 8% und 2%, definiert nach DIN EN 149 (DRELLER et al., 2006).

Sie schützen gegen Aerosole aus festen oder flüssigen, nicht leicht flüchtigen Partikeln. Je nach Typ besteht auch ein Schutz gegen luftgetragene biologische Arbeitsstoffe und CMR-Stoffe (cancerogen, mutagen, reprotoxisch) und bis zu einem Vielfachen des Grenzwertes von 4, 10 oder 30.

Hinsichtlich der Gebrauchsdauer sind zusätzlichen Klassifizierungen, gekennzeichnet durch „NR“ („non-reusable“) oder „R“ („reusable“), zu beachten.

„NR“ bedeutet, dass der Mehrfachgebrauch auf die Dauer einer Arbeitsschicht begrenzt ist. „R“ bedeutet, dass die Wiederbenutzung über die Dauer einer Arbeitsschicht hinaus möglich ist.

Die Wiederbenutzung von partikelfiltrierenden Halbmasken durch mehrere Personen ist aus hygienischen Gründen nicht zulässig.

Wird der Atemwiderstand z.B. durch Staubeinspeicherung oder Feuchtigkeit (Atemfeuchte, Schweiß) zu hoch, erhöht sich auch die physiologische Belastung des Gerätträgers und die Atemschutzmaske ist zu wechseln.

Es gibt partikelfiltrierende Halbmasken, die über ein Ausatemventil verfügen. Das Ausatemventil verringert den Ausatemwiderstand; daher sind solche Masken bevorzugt zu benutzen (DGUV, 2009).

Einige Autoren beschreiben den bei den Schleifarbeiten an Pferde­zähnen entstehenden Zahnstaub als potentiell kanzerogen (BAKER und ALLEN, 2002; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000). Dem behandelnden Tierarzt wird empfohlen eine Schutzmaske und -brille zu tragen. Die Schutzmaske soll das Einatmen des Staubes verhindern (BAKER und ALLEN, 2002; BAKER und EASLEY, 2007; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000; SIMON et al., 2009).

Nach BAKER und EASLEY (2007) eignen sich motorbetriebene Schleifmaschinen mit Absaugvorrichtung zur Verringerung der Staubbelastung des behandelnden Tierarztes, Geräte mit Spülvorrichtung zur Reduzierung der Staubbildung.

DIXON (2000) verweist ebenfalls auf Geräte, die den Staub absaugen, der auch die Sicht des Tierarztes behindert.

Durch den Gebrauch von elektrischen Schleifgeräten entstehen Zahnstaub und biologische Aerosole. Da die Größe des Zahnstaubes noch unbekannt ist, wird ein

Tragen von Atemschutzmasken empfohlen, die vor 95% der Partikelaerosole schützen. Auch assistierende Personen sollen sich schützen.

Am besten geeignet ist die Kombination aus Vakuumabsaugen, Spülung und Tragen einer Schutzmaske (BURNETT, 2005).

Vier motorisierte Zahnschleifgeräte unterschiedlicher Hersteller wurden an der Royal (Dick) School of Veterinary Studies, UK unter mehreren Aspekten verglichen. Es wurde auch die Staubentwicklung während der Zahnkorrektur beurteilt. Beim Gebrauch von zwei Geräten mit starrer Antriebswelle und horizontal rotierender Schleifscheibe (Eisenhut und Powerfloat [Wolframkarbidchipscheibe]) war die Staubentwicklung am geringsten (+). Die zwei untersuchten Geräte mit flexibler Antriebswelle und axialem Fräskopf zeigten höhere Staubentwicklung. Das Modell Dremel (Wolframkarbidfräskopf) wurde mit hoher Staubentwicklung (+++) beurteilt, die höchste Staubemission (++++) war bei dem Gerät Le Claire (Diamantfräskopf) zu sehen (DACRE et al., 2002).

Bei Messungen der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft NRW zur Belastung der Atemwege von Klauenpflegern bei der Klauenpflege von Rindern mit Winkelschleifern wurde einatembarer und lungengängiger Staub in Konzentrationen erfasst, die unter den Arbeitsplatzgrenzwerten liegen. Der Staub wurde personenbezogen auf Arbeitshöhe des Klauenpflegers und stationär erfasst (LBG NRW, 2010).

2.4.2 Definition und Einteilung von Staubfraktionen

„Aerosole sind mehrphasige Systeme von Gasen, insbesondere Luft und darin dispers verteilten partikelförmigen Feststoffen oder Flüssigkeiten. Am Arbeitsplatz können Stäube, Rauche oder Nebel als Aerosole vorkommen. Stäube sind disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen, insbesondere Luft, entstanden durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung. Luftgetragene Teilchen können aus kompakten feinen sowie ultrafeinen freien Primärteilchen, aber auch aus deren Aggregaten oder Agglomeraten bestehen“ (DFG, 2009).

Folgende Aufstellung zeigt verschiedene Fraktionen, die laut Norm DIN EN 481 (1993) definiert sind (BERGES, 2002).

-Einatembare Fraktion (inhalable):

Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Nase und Mund eingeatmet wird.

-Extrathorakale Fraktion:

Massenanteil, der nicht über den Kehlkopf hinaus eindringt.

-Thorakale Fraktion (thoracic):

Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der über den Kehlkopf hinaus vordringt.

-Tracheobronchiale Fraktion:

Massenanteil, der über den Kehlkopf hinaus, aber nicht in die nichtcilierten Luftwege vordringt.

-Alveolengängige Fraktion (respirable):

Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der bis in die nichtcilierten Luftwege vordringt.

Ultrafeine Partikel als Bestandteile von Stäuben und Rauchen sind durch einen Mobilitäts-Äquivalentdurchmesser <100 nm gekennzeichnet. Sie können in der Luft einzeln auftreten oder häufiger als Grundeinheiten von Aggregaten und Agglomeraten (DFG, 2009).

Für Stäube am Arbeitsplatz und in der Umwelt werden verschiedene Begriffe verwendet, die auf unterschiedlichen rechtlichen Regelungen basieren.

Im Bereich Arbeitsschutz wurde der früher sogenannte Feinstaub mit der Einführung der Norm DIN EN 481 (1993) als alveolengängige (A)- Fraktion und der sogenannte Gesamtstaub als einatembare (E)- Fraktion neu definiert und umbenannt. 1994 wurden die Konventionen für die Staubfraktionen der DIN EN 481 arbeitsschutzrechtlich in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 900 umgesetzt.

Die zwei hauptsächlich relevanten Staubfraktionen im Umweltschutz sind PM_{2.5} und PM₁₀ (Particulate Matter), die durch eine definierte Abscheidewirksamkeit von 50% der Partikel bei einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 bzw. 10 μm festgelegt sind. PM₁₀ entspricht im Wesentlichen der Konvention der thorakalen Fraktion nach DIN EN 481. PM_{2.5} erfasst feinere Partikel als die A-Fraktion.

Der Begriff PM₄ (Bereich Umweltschutz) wird oft analog zur A-Fraktionsmessungen verwendet. Definiert werden Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq 4 \mu\text{m}$ oder Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $4 \mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist.

Gesamte Schwebstoffe sind in der DIN EN 481 (1993) als alle von der Luft umgebenen Partikel innerhalb eines bestimmten Volumens definiert. Parallelen hierzu treten im Umweltschutzbereich als SPM (suspended particulate matter, alle von Luft umgebenen Partikel in gegebenem, ungestörtem Volumen), TSP (total suspended particles/particulates, $< 50\text{-}100 \mu\text{m}$, kein Normbezug) oder Schwebstaub ($< 30 \mu\text{m}$, keine Obergrenze) auf (MATTENKLOTT und HÖFERT, 2009).

Nach DFG (2009) und LGL Bayern (2007) entspricht PM₄ ungefähr der alveolengängigen Fraktion. Der in der Literatur häufig verwendete Begriff „total dust“ ist kein einheitlicher Begriff und nicht zwingend äquivalent mit dem früher üblichen „Gesamtstaub“ und der heute definierten einatembaren Fraktion (DFG, 2009).

2.4.3 Arbeitsplatzgrenzwerte

Die alveolengängige (A-) und die einatembare (E-) Fraktion sind die gesundheitlich relevanten Aerosolfraktionen, die derzeit mit Grenzwerten belegt sind (DFG, 2009).

Der „Arbeitsplatzgrenzwert“ (AGW) ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind (§ 3 Abs. 6 GefStoffV, 2004).

Die aktuell geltenden Allgemeinen Staubgrenzwerte für die A- und E-Fraktion, die vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) festgelegt und durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) bekannt gegeben werden, sind in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 900 (2006) aufgelistet (Tab. 1). Sie sind auch in der Gefahrstoffliste des BGIA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) gelistet und erläutert (PFLAUMBAUM et al., 2009). Die Grenzwerte wurden zuletzt 2006 aktualisiert (PFLAUMBAUM, 2008). In der jährlich

erscheinenden MAK- und BAT-Werte-Liste sind die Allgemeinen Staubgrenzwerte der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft aufgezeigt (Tab. 1, DFG, 2009). Die letzten Änderungen der MAK-Werte der DFG erfolgten 1997 (PFLAUMBAUM, 2008).

Es kommt zu konkurrierenden Grenzwerten und Einstufungen zwischen AGS und MAK-Kommission. Die Angaben zu Grenzwerten in den TRGS sind rechtsverbindlich, die MAK-Liste der DFG ist ausschließlich eine wissenschaftliche Veröffentlichung (BG BAU, 2001).

Tabelle 1: Allgemeine Staubgrenzwerte in Deutschland

Allgemeiner Staubgrenzwert	Alveolengängige Fraktion (mg/m ³)	Einatembare Fraktion (mg/m ³)
DFG (1997)	1,5	4
AGS (2006)	3	10

Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich achtstündiger Exposition bzw. bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden, im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt.

Die Beeinträchtigung der Atmungsorgane durch solche Stäube beruht auf Langzeiteffekten, die maßgeblich von der über einen längeren Zeitraum einwirkenden Aerosolkonzentration bestimmt sind. Die jeweiligen MAK-Werte entsprechen den gemittelten Langzeitexpositionswerten (NOAEL), beziehen sich aber auf eine Schicht. Da sich die gemittelten Langzeitexpositionswerte aus unterschiedlich hohen Schichtmittelwerten zusammensetzen, kann es toleriert werden, dass einzelne Schichtwerte den MAK-Wert überschreiten; jedoch möglichst nicht mehr als das Zweifache des Allgemeinen Staubgrenzwertes (DFG, 2009).

Die Allgemeinen Staubgrenzwerte von DFG und AGS sind anzuwenden für schwerlösliche oder unlösliche Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind oder für

Mischstäube. Der Geltungsbereich erstreckt sich nicht auf lösliche Partikel und auch nicht auf ultrafeine oder grobdisperse Partikel (DFG, 2009; TRGS 900, 2006).

Nach DFG (2009) ist bei Einhaltung des Allgemeinen Staubgrenzwertes mit einer Gesundheitsgefährdung nur dann nicht zu rechnen, wenn sichergestellt ist, dass keine zusätzlichen stoffspezifischen, genotoxischen, krebserzeugenden, fibrogenen, allergisierenden oder sonstigen toxischen Wirkungen des Staubes zu erwarten sind.

Nach TRGS 900 (2006) darf der Grenzwert nicht angewendet werden auf Stäube, bei denen erbgutverändernde, krebserzeugende, fibrogene, allergisierende oder sonstige toxische Wirkungen zu erwarten sind. Hier gilt der allgemeine Staubgrenzwert als allgemeine Obergrenze. Zusätzlich sind aber die stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwerte einzuhalten.

Die Werte des Allgemeinen Staubgrenzwertes des AGS sind als Schichtmittelwerte festgelegt und zählen zur Kurzzeitwert-Kategorie der resorptiv wirksamen Stoffe. Zur Begrenzung von kurzzeitigen Konzentrationsspitzen gilt ein Überschreitungsfaktor von 2. Das heißt, in einem 15-Minuten-Zeitraum darf die zweifache Grenzwertkonzentration als Mittelwert nicht überschritten werden. Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Grenzwertes (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig (PFLAUMBAUM, 2008; PFLAUMBAUM et al., 2009, TRGS 900, 2006).

2.4.4 Messmethoden

Für die stationäre oder personenbezogene Messung der alveolengängigen und einatembaren Fraktion nach DIN EN 481 wird eine Auswahl an Probenahmesystemen empfohlen, die im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung entwickelt wurden und wahlweise bei Austausch der Probenahmeköpfe zur Probenahme von A- oder E-Staub verwendet werden können. Eines dieser Geräte ist das Gravikon VC 25, das zur stationären, diskontinuierlichen, gravimetrischen Bestimmung von A- oder E-Staub geeignet ist (BERGES, 2002; BESCHORNER, 2009).

Gravimeter saugen über einen festgelegten Zeitraum ein definiertes Probenvolumen an. Der Grobstaub wird dabei im Zyklon abgeschieden (1. Abscheidestufe). Der Feinstaub muss während der Probenahme durch einen Feinstaubabscheider

abgetrennt (2. Abscheidestufe) und schließlich im Feinstaubfilter gesammelt werden (GÖHLER, 2004).

Es existieren einige unterschiedliche Systeme zur Probenahme und Messung von Partikeln: kontinuierliche und diskontinuierliche Schwebstaubprobenahme mit volumengesteuerter Pumpe und Abscheidung auf Filter nach dem Impaktionsprinzip, das Messprinzip des TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance), Staubmessung mittels Betastrahlenabsorption, die Bestimmung der Partikelmasse mittels Aethalometer, die Gesamtpartikelzahlbestimmung mit Kondensationskernzähler, das Black-Smoke-Verfahren, optische Partikelzähler (Aerosolspektrometer) oder die kontinuierliche photometrische Messung von Aerosolen durch Lichtstreuung an kleinen Partikeln (LGL BAYERN, 2007).

Es gibt neuentwickelte Laserphotometer mit Streulichtsensor, die die gleichzeitige Messung der Massenkonzentrationen von bis zu 5 Größenfraktionen in der Größenordnung 0,1-15 μm in Echtzeit ermöglichen. Die Messgeräte kombinieren die Massenkonzentrationsmessung mit der Einzelpartikelerkennung, um die Massenfraktionsmessungen durchzuführen (TSI Incorporated, 2009b). Zur Erfassung von PM₄ wird von der Firma TSI Inc., die oben genannte Laserphotometer herstellt, ein 10 Millimeter Nylon Dorr-Oliver Cyclone verwendet, der die A-Fraktion zufriedenstellend erfassen kann (GÖRNER et al., 2001; MÖHLMANN, 2010; TSI Incorporated, 2010).

2.4.5 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung von Staub

In einer Studie zur Gefährdung von Zahntechnikern durch lungengängige Stäube bei der Bearbeitung von Verblendkomposit wurden rasterelektronenmikroskopische Bilder der entstehenden Stäube beurteilt. Die Abnutzung der Werkzeuge deutete während der Untersuchung bereits darauf hin, dass es sich bei den Probenahmen um Staubgemische handeln musste. Es konnten alveolengängige Partikel nachgewiesen werden, denen Grobstaubpartikel als Vehikel dienten. In dieser Konstellation sind die Teilchen für den Zahntechniker ungefährlich. Zudem erschienen in vielen Aufnahmen die Staubpartikel verbacken oder verschmolzen. Es wurde angenommen, dass von diesen Partikeln < 5 μm keine Gefahr ausgehe (GÖHLER, 2004).

3 Tiere, Material und Methoden

3.1 Tierarztpraxis der Versuchsdurchführung

Der praktische Versuchsteil der vorliegenden Arbeit wurde in einer tierärztlichen Gemeinschaftspraxis für Pferde durchgeführt, die schwerpunktmäßig auf dem Gebiet der Pferde Zahnheilkunde arbeitet. Die Praxis ist als Fahrpraxis ausgerichtet. Das bedeutet, dass die Pferde in ihren eigenen Ställen untersucht und behandelt werden. Pro Arbeitstag finden an 5 – 10 Patienten Zahnbehandlungen statt, die im Rahmen der vorliegenden Studie immer vom Praxisinhaber durchgeführt wurden.

Im Zeitraum von April bis Juli 2009 wurde in Vorversuchen der Versuchsaufbau für die Hauptversuchsphase festgelegt. Im Rahmen der Hauptversuchsphase (August 2009 bis Januar 2010) wurden Staubmessungen durchgeführt und Proben für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Staubpartikel gesammelt.

3.2 Tiere, Haltungsform und Fütterung

Während der Hauptversuchsphase im Zeitraum von August 2009 bis Januar 2010 wurden bei den Zahnbehandlungen von 131 Pferden und Ponys unterschiedlicher Rassen Staubmessungen durchgeführt.

Im Folgenden wird ungeachtet der Größe oder Rasse der Begriff "Pferde" verwendet.

Laut Besitzerangaben und anschließender Zahnaltersbestimmung durch den Tierarzt waren 61 Pferde unter 10 Jahre, 59 Pferde zwischen 10 und 20 Jahren und 11 Pferde über 20 Jahre alt (vgl. Abb. 1). Das jüngste der 131 Pferde war zum Zeitpunkt der Zahnbehandlung 2-jährig und das älteste 33-jährig. Unter den 131 Pferden waren 10 Hengste, 39 Stuten und 82 Wallache (vgl. Abb. 1).

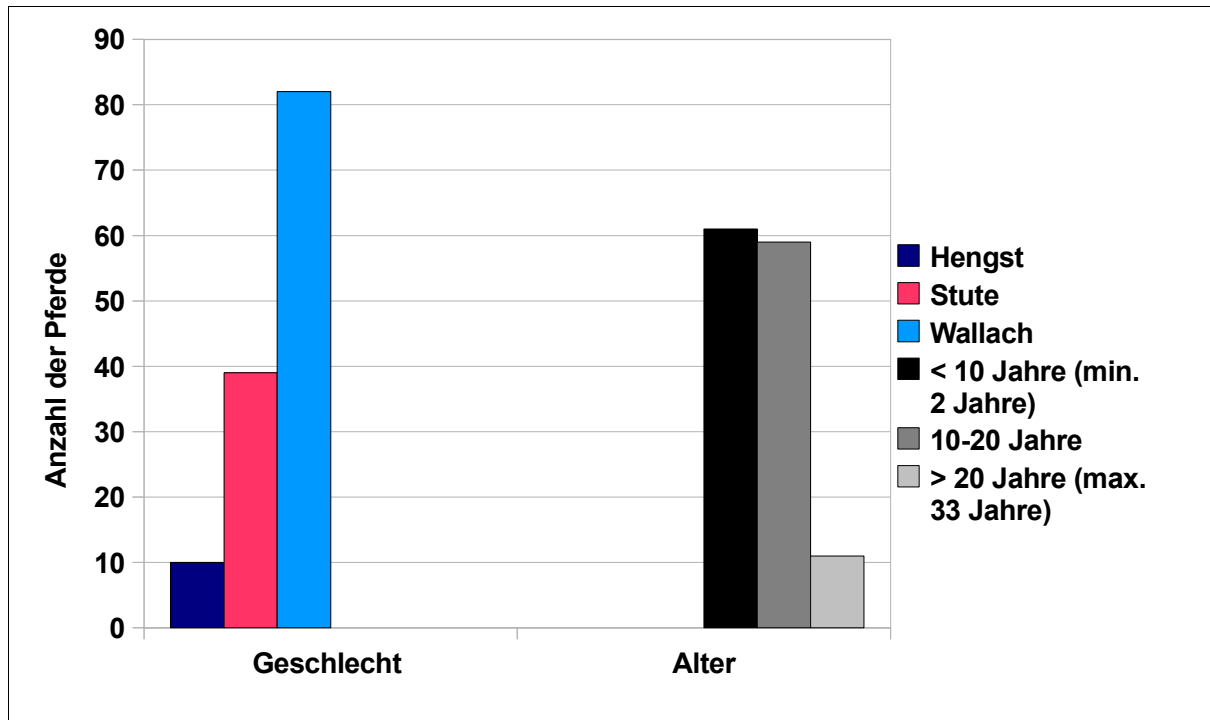


Abbildung 1: Alters- und Geschlechtsverteilung der Pferde der Hauptversuchsphase (n=131)

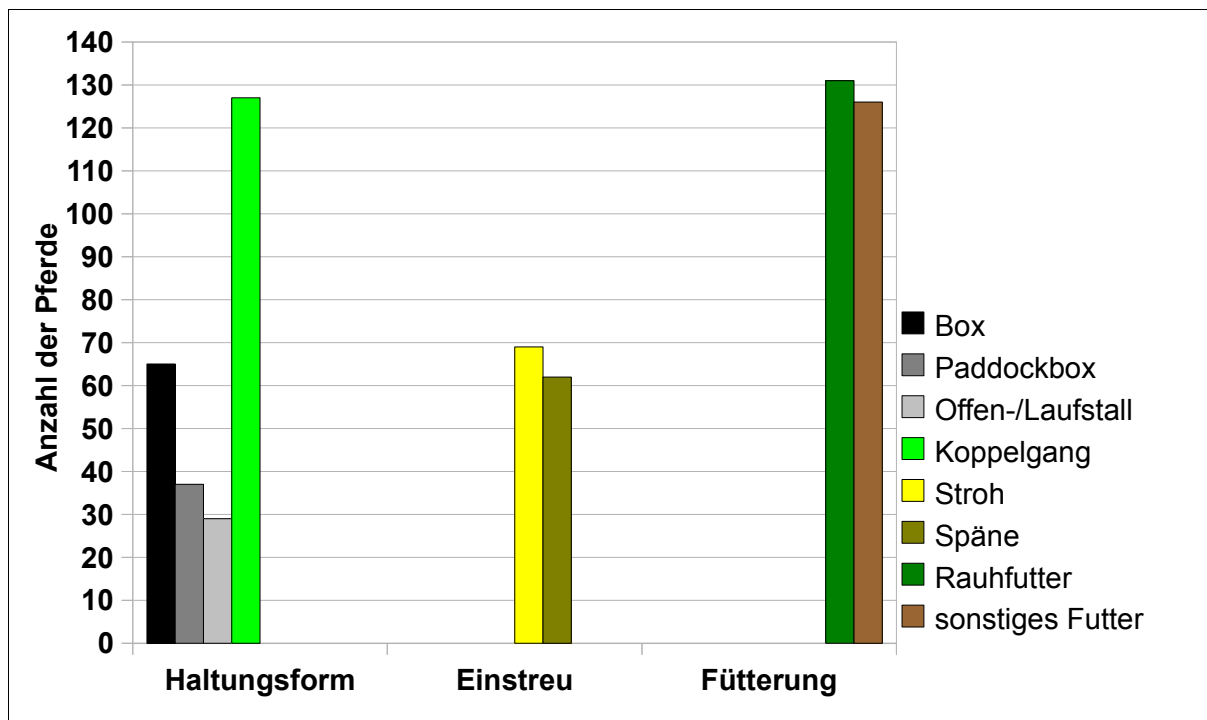


Abbildung 2: Haltungsform, Einstreu und Fütterung der Pferde der Hauptversuchsphase (n=131)

65 der 131 Pferde wurden zum Zeitpunkt der Untersuchung in Boxen gehalten, 37 in Paddockboxen und 29 in Offen- bzw. Laufstallhaltung, 127 Pferde hatten regelmäßigen Koppelgang (Abb. 2). Die Einstreu bestand bei 69 der Ställe aus Stroh oder gehäckseltem Stroh und bei 62 aus Sägespänen. Alle 131 Pferde bekamen Heu als Rauhfutter gefüttert und 126 Pferde zusätzlich sonstiges Futter wie Krafftutter, Pellets, Hafer, Mash, Rübenschnitzel oder Grascobs (vgl. Abb. 2).

3.3 Methode der Staubmessung

Für die Staubmessung während der Zahnbehandlungen diente der DUST TRAK™ DRX Aerosolmonitor (Modell 8533) der Firma TSI Incorporated, Minnesota/USA. Der DUST TRAK™ DRX ist ein batteriebetriebenes, kontinuierlich arbeitendes Echtzeitlaserphotometer mit 90° Streulicht, das Aerosole wie Staub, Rauch, Dampf und Ölnebel misst (TSI Incorporated, 2009b).

Das Gerät erfasst gleichzeitig die Massenkonzentrationen der Größenfraktionen entsprechend dem aerodynamischen Durchmesser PM1, PM2.5, PM4, PM10 sowie die Gesamtmassenkonzentration. Kombiniert wird die Massenkonzentrationsmessung mit der Einzelpartikelerkennung, um die Massenfraktionsmessung durchzuführen. Es wird ein Schleierluftsystem benutzt zur Isolierung der Aerosole im Gerät, um die Optik reinzuhalten. Das Gerät verfügt über einen integrierten Datenspeicher und einen USB-Ausgang, wodurch ein Fernzugriff auf die Daten und eine Auswertung am PC ermöglicht wird.

Vor Beginn jeder Messserie wurde eine Null-Kalibrierung mithilfe eines Nullfilters durchgeführt.

Für die Versuchsphasen wurde als Ausführungsmodus der Protokolliermodus (Log Mode) des Gerätes gewählt. Hier kann unter anderem die Protokolldatei benannt, das Log Intervall (der Zeitraum zwischen den erfassten Datenpunkten), die Sammeldauer (>1 min) eingestellt und der voreingestellte Test zum Zeitpunkt des Versuchs gestartet werden (TSI Incorporated, 2009a).

Die personenbezogene Staubmessung erfolgte auf Arbeitshöhe des Tierarztes. Der bei der Zahnbehandlung entstehende Staub wurde dem Aerosolmonitor über einen Probenschlauch vom 0,9 m Länge zugeführt (Abb. 3).

Tabelle 2 zeigt die technischen Daten des Gerätes nach TSI Incorporated, 2009a.

Tabelle 2: Technische Daten DUST TRAK™ DRX 8533 Aerosol Monitor

Sensortyp	90° Lichtstreuung
Bereich	0,001 bis 150 mg/m ³
Anzeige	Nach Größe getrennte Massenanteile für PM1, PM2.5, PM4, PM10 und Gesamt. Alle angezeigt
Auflösung	± 0,1% des Ablesewertes oder 0,001 mg/m ³ , es gilt der jeweils größere Wert
Nullstabilität	± 0,002 mg/m ³ pro 24 Stunden bei 10 Sekunden Zeitkonstante
Partikelgrößenbereich	Ca. 0,1 bis 15 µm
Durchflussgeschwindigkeit	3,0 l/min
Durchflussgenauigkeit	±5% des werksseitigen Sollwerts, Durchfluss geregelt
Temperaturkoeffizient	+0,001 mg/m ³ pro °C
Betriebstemperatur	0 bis 50°C
Betriebsluftfeuchtigkeit	0 bis 95% relative Luftfeuchtigkeit, nicht kondensierend
Zeitkonstante	Einstellbar zwischen 1 und 60 Sekunden
Datenprotokollierung	5 MB auf integriertem Speicher (> 60.000 Datenpunkte) <45 Tage mit Probennahmen von jeweils 1 Minute
Protokollierungsintervall	1 Sekunde bis 1 Stunde
Physikalische Größe (HBT)	13,46 × 21,54 × 22,35 cm
Gewicht	ca. 1,6 kg, ca. 2 kg mit 1 Batterie, ca. 2,5 kg mit 2 Batterien
Anschlüsse	USB (Host und Gerät) und Ethernet. Zugriff auf die gespeicherten Daten mit Memorystick
Wechselstromversorgung	Wechselstromkabel im Lieferumfang 115 bis 240 VAC
Batterie	Bis zu 2 austauschbare Li-Ion Externe und interne Aufladung Betriebsdauer, 1 Batterie: normalerweise 9 Stunden Betriebsdauer, 2 Batterien: normalerweise 18 Stunden
Bildschirm	5,7" Farb-Touchscreen
Gravimetrische Probennahme	Austauschbare 37-mm-Kassette

3.4 Vorversuchsphase

Von April 2009 bis Ende Juli 2009 wurden Voruntersuchungen durchgeführt. Ziel der Vorversuchsphase war es einen Versuchsaufbau zu entwerfen, der eine standardisierte Durchführung der Hauptversuchsphase gewährleistet.

Der Versuchsaufbau basiert auf Beobachtung, Probemessungen und Dokumentation von etwa 60 Zahnbehandlungen während der Vorversuchsphase.

Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Integration der Messungen in den Zahnbehandlungsablauf, der Festlegung des Abstandes von Messgerät zum Pferd und der Bestimmung von Log Intervall und Sammeldauer der Einzelmessungen bei den unterschiedlichen Behandlungsschritten.

Durch einen einheitlichen Versuchsaufbau sollten standardisierte Bedingungen hinsichtlich der Datenerhebung geschaffen werden, da die Zahnbehandlungen an unterschiedlichen Orten durchgeführt wurden.

Bei der Bestimmung des Messabstandes zum Entstehungsort des Staubes, dem Pferdemaul, musste berücksichtigt werden, dass einige Behandlungsschritte mit einer elektrischen Schleifmaschine (Erbrich Hippodent[®]) durchgeführt wurden, die eine Kühlluftführung besitzt, deren Abluftstrom gegebenenfalls durch Verwirbelung von Staub die Messungen verfälschen könnte.

Aus diesem Grund kam eine Befestigung des Probenschlauches des Aerosolmonitors direkt an der Zahnschleifmaschine nicht in Frage.

Es wurde der durchschnittliche Abstand des Tierarztes zum Pferdemaul bestimmt und für die personenbezogenen Messungen auf 0,25 m festgelegt. Ein Holzstab von 0,35 m Länge und 4 mm Durchmesser wurde mit Klebeband so am Probenschlauch des Gerätes befestigt, dass er als Abstandhalter zur Einhaltung einer Distanz von 0,25 m zum Pferdemaul diente (vgl. Abb.3). Um die Sammeldauer und das Log Intervall für die Behandlungen an Backen-, Haken-, und Schneidezähnen zu bestimmen, wurde während der Vorversuche die Dauer der einzelnen Schleifvorgänge gemessen und daraus die Dauer der Staubmessung festgelegt, die dem Zeitbedarf für Routinebehandlungsschritte entsprachen. Zur Dokumentation der Zahnbehandlungen der Hauptversuchsphase wurde im Laufe der Vorversuche ein Dokumentationsbogen entworfen (siehe Anhang, Abb. 35).



Abbildung 3: Laserphotometer mit Probenschlauch und Abstandhalter

3.5 Versuchsaufbau der Hauptversuchsphase

Der Versuchsaufbau für die Staubmessungen (n=131 Pferde Zahnbehandlungen) der Hauptversuchsphase wird in den folgenden Gliederungspunkten erläutert.

Alle Messungen wurden personenbezogen im Abstand von 0,25 m zum Pferdemaul durchgeführt.

Das Messgerät mit Abstandhalter wurde während der Zahnbehandlungen von der Doktorandin gehalten. Der behandelnde Tierarzt und die Doktorandin trugen während der Versuche partikelfiltrierende Halbmasken der Schutzstufe FFP2.

Das Laserphotometer erfasste und speicherte bei jedem durchgeführten Test die Datenpunkte der Massenkonzentrationen der fünf aerodynamischen Fraktionen PM1, PM2.5, PM4 (alveolengängige Fraktion), PM10 und Gesamtstaub in mg/m^3 .

3.5.1 Staubmessungen der Umgebungsluft

Um die Grundstaubbelastung der Umgebungsluft in jedem einzelnen Stall vor Beginn der Zahnbehandlung zu erfassen und mit der Staubbelastung nach der Zahnbehandlung vergleichen zu können, wurden vor und nach jeder Zahnbehandlung Umgebungsmessungen durchgeführt (vgl. Tab. 3).

Die Staubmessung der Umgebungsluft vor der Zahnbehandlung, die wie alle anderen Messungen im Abstand von 0,25 m zum Pferdemaul durchgeführt wurde, erfolgte nach der intravenösen Injektion der Sedativa während des Wartens auf den Wirkungseintritt. Nach einer Sammelperiode von 3 min mit einem Log Intervall von 10 s war die Messung abgeschlossen und gleichzeitig beim Pferd in der Regel eine tiefe Sedation erreicht (vgl. Tab. 3).

Nach Abschluss jeder Zahnbehandlung wurde eine weitere Staubmessung der Umgebungsluft durchgeführt, ebenfalls im Abstand von 0,25 m zum Pferdemaul. Die Messung startete, als das Pferd nach der Zahnbehandlung bis zum Abklingen der Sedationswirkung angebunden wurde.

Die gewählte Sammeldauer und das Log Intervall blieben zum direkten Vorher-Nachher-Vergleich identisch (Tab. 3). Pro Messung vor und nach der Zahnbehandlung wurden 18 Datenpunkte je Größenfraktion gespeichert. Bei fünf Fraktionen entspricht das 90 Datenpunkten je Umgebungsmesszyklus.

Tabelle 3: Staubmessung der Umgebungsluft vor und nach der Zahnbehandlung

Messung von fünf Größenfraktionen mit Echtzeitlaserphotometer	Sammel-dauer (in s)	Intervall (in s)	Datenpunkte je Fraktion	Datenpunkte gesamt
Umgebung vor Behandlung	180	10	18	90
Umgebung nach Behandlung	180	10	18	90

3.5.2 Behandlungsablauf und Integration der Messungen

Die Zahnbehandlungen der 131 Pferde wurden so durchgeführt, wie von SIMON et al., 2009, HEROLD und SIMON, 2010a und HEROLD und SIMON, 2010b beschrieben.

Eine Routinezahnbehandlung und die Integration der Staubmessungen in deren Verlauf ist in Abbildung 4 dargestellt und wird im Folgenden kurz erläutert. Es sei darauf hingewiesen, dass ausschließlich Schleifmaßnahmen erwähnt werden, da diese Gegenstand der vorliegenden Studie waren. Auf andere Behandlungsschritte im Rahmen einer Zahnbehandlung wird nicht näher eingegangen.

Vor Beginn der Zahnbehandlung wird das Signalement und die Anamnese des Pferdes erhoben und eine Allgemeinuntersuchung zur Beurteilung der Sedationsfähigkeit durchgeführt. Vor der Sedation werden Kopf und Gebiss des Pferdes adspektorisch und palpatorisch untersucht, um erste Rückschlüsse auf den Umfang und die Notwendigkeit der bevorstehenden Behandlung ziehen zu können. Nach Besitzeraufklärung und Aufbau von Staubmessgerät und Behandlungsinstrumentarium am Behandlungsort (Pferdebox) folgt die intravenöse Injektion der Sedativa. Dazu wird eine Kombination aus dem α 2-Agonisten Detomidin und dem Morphinderivat Butorphanol verabreicht. Bis zum Wirkungseintritt der Sedation wird eine Staubmessung der Umgebungsluft vor der Zahnbehandlung durchgeführt.

Befindet sich das Pferd in tiefer Sedation, wird ein Maulgatter eingesetzt. Der Kopf des Pferdes wird mit einem langen Strick, der am Maulgatter oder Dentalhalter befestigt ist und über einen Deckenbalken gelegt wird, von einer Hilfsperson gehalten. Die Maulhöhle des Pferdes wird mit einer 0,1%igen Chlorhexidinlösung mithilfe einer Spülspritze ausgespült und von Futterresten befreit. Es folgt die Untersuchung der Maulhöhle und der Backenzähne mit eingesetztem Maulgatter unter Sichtkontrolle durch eine Stirnlampe. Als Hilfsmittel eignen sich Zahnspiegel und -sonde. Die Befunde an den Backenzähnen werden erhoben. Die Zahnbehandlung erfolgt stets von kaudal nach rostral.

Ist eine Gebisskorrektur der Backenzähne notwendig, erfolgt diese im nächsten Schritt mit einer elektrischen Zahnschleifmaschine (Erbrich Hippodent[®]), die mit einer Diamantschleifscheibe besetzt ist. Währenddessen wird eine Staubmessung durchgeführt.

Unter Umständen folgen Schleifarbeiten an den Backenzähnen mit einer Wolframkarbidwalzenfräse mit Schleimhautschutz, die von einer flexiblen Welle angetrieben wird (Dremel). Dies ist meist beim Vorkommen von Zahnhaken am P2 im Oberkiefer der Fall. Zeitgleich erfolgt eine Staubmessung.

Als Abschluss der Schleifarbeiten an den Backenzähnen wird mit Handraspeln feingeschliffen. Zwischen den einzelnen Behandlungsschritten wird gespült und der Behandlungserfolg adspektorisch und palpatorisch überprüft. Das Maulgatter wird entfernt, ein Dentalhalfter angelegt und die Hakenzähne werden untersucht.

Falls eine Kürzung oder Abrundung der Hakenzähne nötig ist, erfolgt diese mit einer elektrischen Zahnschleifmaschine (Erbrich Hippodent[®]) mit Diamantschleifscheibe, während zeitgleich die Staubemission gemessen wird. Auch die Hakenzähne werden mit Handraspeln abgerundet.

Anschließend werden Backenzahnkontakt, Länge der Schneidezähne mittels Lateralexkursion bei gesenktem Pferdekopf und Ebene der Schneidezähne überprüft und festgestellt, ob eine Schneidezahnbehandlung nötig ist.

Ist dies der Fall, werden die Schneidezähne mit einer Diamanttrennscheibe auf einem Handstück, das durch eine flexible Welle angetrieben ist (Dremel), gekürzt und korrigiert. Anschließend erfolgt, wenn nötig, eine Abrundung der scharfen Schnittkanten mit einer Wolframkarbidkugelfräse, die ebenfalls auf einem Handstück sitzt, das von einer flexiblen Welle angetrieben wird. Während beider Behandlungsschritte werden Messungen der Staubemission durchgeführt.

Nach einer letzten Überprüfung des Behandlungserfolges und Maulspülung kann das Dentalhalfter durch das Stallhalfter des Pferdes ersetzt werden und das Pferd bis zum Abklingen der Sedation in seiner Box oder an einem gewohnten Ort angebunden werden. Vom Zeitpunkt des Anbindens an wird die Staubmessung der Umgebungsluft nach der Zahnbehandlung durchgeführt.

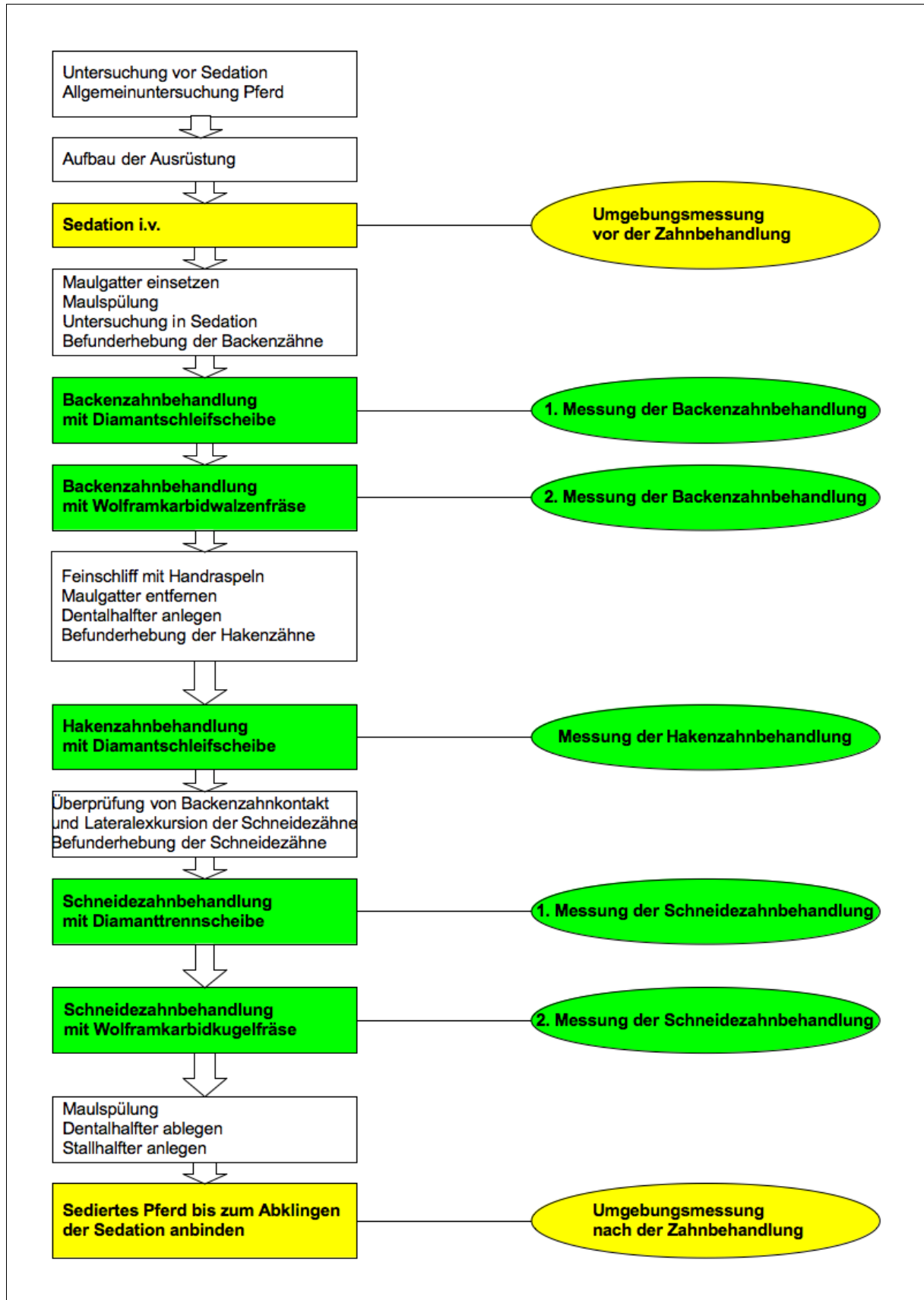


Abbildung 4: Ablauf Zahnbehandlung und Staubmessungen

3.5.3 Messvorgehen während Zahnbehandlung

Die folgenden fünf Gliederungspunkte geben einen Überblick darüber, welche Zahnbehandlungsschritte im Fokus dieser Arbeit standen und wie die Messungen während der Zahnbehandlung durchgeführt wurden.

Die Begriffe Backen-, Haken- oder Schneidezahnbehandlung beziehen sich im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich auf die Schleifarbeiten an den Zähnen, da diese Gegenstand der Untersuchungen waren.

Es sei darauf hingewiesen, dass nicht bei jeder Zahnbehandlung der 131 Pferde alle in Tabelle 4 aufgeführten Messungen durchgeführt wurden. Es wurde nur gemessen, wenn Schleifarbeiten an den Backen-, Haken- oder Schneidezähnen nötig waren und ausgeführt wurden. Eine Zusammenfassung der Sammelparameter für die verschiedenen Behandlungsschritte stellt Tabelle 4 dar.

Tabelle 4: Staubmessung während der Zahnbehandlung

Messung von fünf Größenfraktionen mit Echtzeitlaserphotometer	Sammel-dauer (in s)	Intervall (in s)	Datenpunkte je Fraktion	Datenpunkte gesamt
Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe	240	2	120	600
Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse	60	1	60	300
Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe	60	1	60	300
Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe	60	1	60	300
Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse	60	1	60	300

3.5.3.1 Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

Während der Hauptversuchsphase wurden die Backenzähne der Pferde mit einer elektrischen Zahnschleifmaschine (Erbrich Hippodent[®]) korrigiert. Die Maschine war mit einer Diamantschleifscheibe bestückt.

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde für die Staubmessung mit dem Echtzeitlaserphotometer eine Sammeldauer von 240 s (4 min) festgelegt. Das Log

Intervall wurde auf 2 s gestellt, wodurch pro Pferd 120 Datenpunkte je Staubfraktionen erfasst und gespeichert wurden. Das entspricht 600 Datenpunkten je Pferd und Messung während der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (vgl. Tab. 4).

Bei 116 der 131 in die Auswertung eingegangenen Pferde Zahnbehandlungen wurde die Backenzahnbehandlung mit der Diamantschleifscheibe durchgeführt und die damit verbundene Staubentstehung gemessen.

3.5.3.2 Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse

Bei 24 Pferden wurde eine Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse durchgeführt. Das Instrument kam meist zur Behandlung von Zahnhaken am P2 im Oberkiefer zum Einsatz.

Die Sammeldauer für die Staubmessung während der Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse betrug 60 s und das Log Intervall zwischen den erfassten Datenpunkten 1 s. Es wurden 60 Datenpunkte je Größenfraktion ermittelt. Je Pferd und Einzelmessung wurden somit 300 Datenpunkte gespeichert (vgl. Tab. 4).

3.5.3.3 Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

In 35 Fällen war bei männlichen Pferden eine Kürzung oder Abrundung der Hakenzähne notwendig.

Diese wurde in den Versuchen mit der Schleifmaschine mit Diamantschleifscheibe durchgeführt, die auch zur Behandlung der Backenzähne diente.

Die Sammeldauer wurde auf 60 s und das Log Intervall auf 1 s festgelegt. Es wurden bei der Hakenzahnbehandlung wie bei der Backenzahnbehandlung mit der Walzenfräse 60 Datenpunkte pro Fraktion und 300 Datenpunkte gesamt erfasst (vgl. Tab. 4).

3.5.3.4 Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe

Eine Kürzung und Korrektur der Schneidezähne wurde bei 56 Pferden mit einer auf einem Handstück sitzenden Diamanttrennscheibe, angetrieben von einer flexiblen Welle, durchgeführt.

Bei diesem Behandlungsschritt wurde die Sammeldauer wie bei Backenzahnbehandlung mit Walzenfräse und Hakenzahnbehandlung auf 60 s festgelegt. Das Log Intervall betrug 1 s, es wurden 60 Datenpunkte pro Fraktion, somit 300 Messpunkte insgesamt erfasst (vgl. Tab. 4).

3.5.3.5 Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse

Auf die Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe folgte bei 35 Fällen eine Abrundung der Kanten mit der Wolframkarbidkugelfräse.

Wie bei der Backenzahnbehandlung mit Walzenfräse, der Hakenzahnbehandlung und der Schneidezahnbehandlung mit Trennscheibe, wurde hier eine Sammeldauer von 60 s mit einem Intervall von 1 s festgelegt.

Es wurden 60 Datenpunkte pro Fraktion und gesamt 300 Datenpunkte erfasst (vgl. Tab. 4).

3.6 Falldokumentation

Zur Dokumentation der 131 Zahnbehandlungen standen ein Befundbogen des Tierarztes und ein für die Untersuchungen entworfener Dokumentationsbogen zur Verfügung. Die Bögen wurden für jedes Pferd ausgefüllt und archiviert.

Der Befundbogen beinhaltete Signalement, Anamnese, Dosierung der Sedativa, Befunde und Therapie des Pferdes (siehe Anhang, Abb. 36).

Auf dem Dokumentationsbogen (siehe Anhang, Abb. 35) für die Untersuchungen wurden Pferd, Fallnummer, Angaben zu Haltungsform und Fütterung, Details zu den Messungen und Nummer der erfolgten Messungen aufgeführt. Dies ermöglichte bei der Auswertung eine Zuordnung der Messungen zu den einzelnen Behandlungsschritten.

3.7 Methode der Staubsammlung für morphologische Untersuchungen

Im Januar 2010 wurde der während den Zahnbehandlungen entstandene Staub gesammelt, um die Morphologie der Staubpartikel mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops zu untersuchen.

Zum einen wurde der Staub von den Lippen der Pferde oder mit Staub benetzten Gegenständen gewischt und in einem Plastikröhrchen aufgefangen, zum anderen diente zur Staubsammlung ebenfalls der DUST TRAK™ DRX Aerosolmonitor. Das Gerät besitzt eine Option zur gravimetrischen Probennahme über eine 37 mm Filterkassette, die den bereits optisch gemessenen aerosolbelasteten Luftstrom sammelt.

Die 37 mm Filterkassette wurde mit Filtern aus gemischtem Zelluloseester (MCE-

Filter, SKC Omega Speciality Division, Texas/USA) bestückt, die eine Porengröße von 0,8 µm und einen Durchmesser von 37 mm aufweisen. Der Staub beaufschlagte diese Filter, die anschließend im Rasterelektronenmikroskop (Carl Zeiss AG) untersucht wurden (s.u.). Der Staub wurde stichprobenartig bei den einzelnen Behandlungsschritten an Backen-, Haken- und Schneidezähnen unter Verwendung der unterschiedlichen Schleifgeräte und Materialien gesammelt.

3.8 Rasterelektronenmikroskopie

Die Staubproben im Plastikröhrchen und auf den MCE-Filtern wurden am Lehrstuhl für systematische und topographisch-klinische Anatomie der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München mit einem Rasterelektronenmikroskop (Digital Scanning Microscope 950, Carl Zeiss AG) untersucht (PD Dr. S. Reese). Die Morphologie der Staubpartikel konnte in unterschiedlichen Vergrößerungen (500-, 1000-, 1500-, 3000- und 5000fach) dargestellt werden. Die entstandenen digitalisierten Bilder wurden als tif- Dateien abgespeichert.

3.9 Statistische Grundlagen

Zur Beurteilung der Ergebnisse der Staubmessung vor, während und nach der Zahnbehandlung wurde zuerst eine deskriptive statistische Auswertung der gewonnenen Daten vorgenommen. Weiter wurde überprüft, ob die erhobenen Daten normal verteilt waren.

Fiel der Test auf Normalverteilung negativ aus, wurde zum Vergleich von zwei Gruppen, z.B. bei den Messungen vor und nach der Zahnbehandlung, ein Mann-Whitney-Rangsummentest (Mann-Whitney Rank Sum Test) durchgeführt. Zum Vergleich von mehr als zwei Gruppen diente die rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis (KW-ANOVA on the Ranks) mit anschließenden Tukey Test.

Unterschiede von $p < 0,05$ wurden als signifikant angesehen.

Zur statistischen Auswertung, Verwaltung und Ergebnisdarstellung der erfassten Daten wurden das Tabellenkalkulationsprogramm NeoOffice Calc (Planamesa Inc.) und das Programm Sigma Plot 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Staubkonzentration im Verlauf von Einzelmessungen

Profile der Staubemission im Verlauf von Einzelmessungen am Beispiel von Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe und Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe zeigen die Abbildungen 5 und 6. Dargestellt sind die Massenkonzentrationen (mg/m^3) von Gesamtstaub und PM1. Die Größenfraktionen PM2.5, PM4 und PM10 liegen zwischen den Werten der beiden Kurven und wurden nicht abgebildet. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Einzelmessungen ausgewählt wurden, um exemplarisch zeitliche Messverläufe darzustellen. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die übrigen Messungen im zeitlichen Verlauf identische Konzentrationsschwankungen aufwiesen.

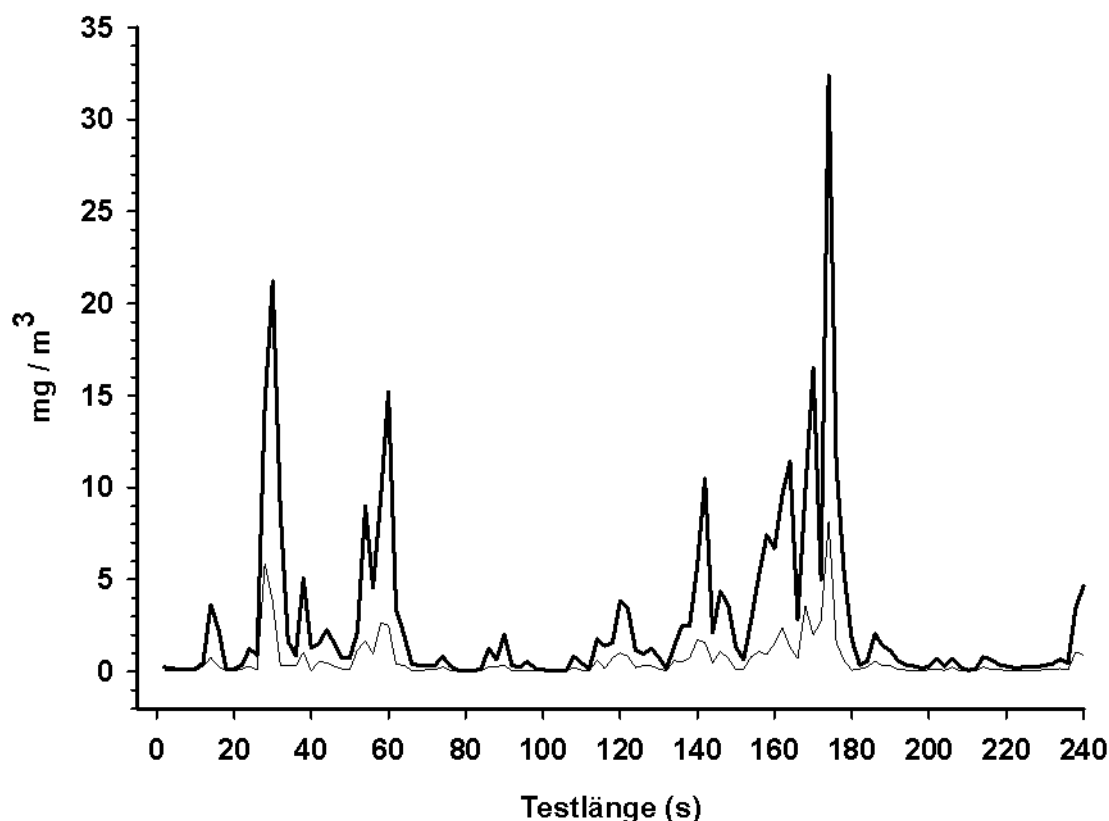


Abbildung 5: Staubemissionsprofil einer Einzelmessung bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe; $n=120$ /Fraktion, Testlänge 240 s, dicke Linie Gesamtstaub, dünne Linie PM1.

Während der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe wurden bei 22 (39,3%) von 56 Pferden Gesamtstaubkonzentrationen von 150 mg/m^3 erreicht, die dem maximalen Messbereich des verwendeten Staubsammlers entsprachen. Über diesen Wert hinaus konnten im Rahmen dieser Studie keine Aussagen getroffen werden.

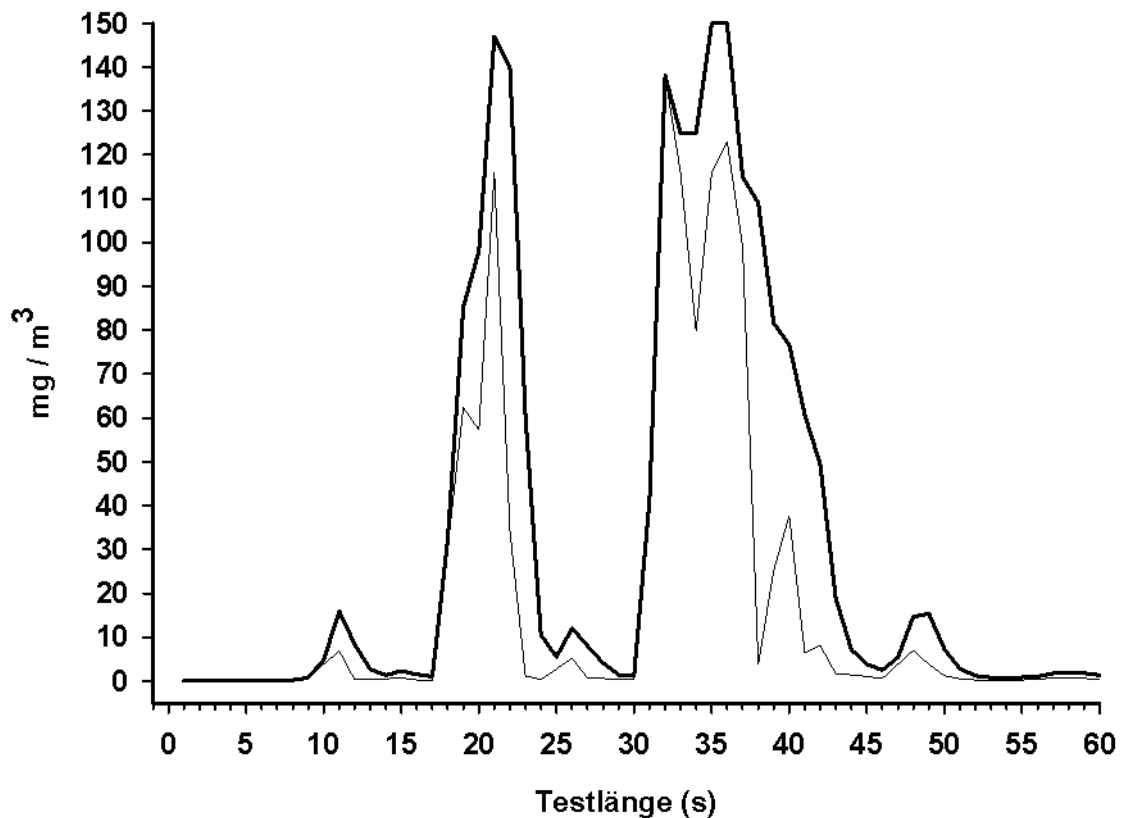


Abbildung 6: Staubemissionsprofil einer Einzelmessung bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe; n=60/Fraktion, Testlänge 60 s, dicke Linie Gesamtstaub, dünne Linie PM1.

4.2 Konzentrationsvergleich der Staubfraktionen

Im Folgenden werden die fünf Größenfraktionen des gemessenen Staubes im direkten Vergleich dargestellt. Es wird auf die Ergebnisse der Messungen vor, während und nach den Zahnbehandlungen eingegangen.

4.2.1 Umgebung

Vor und nach jeder Zahnbehandlung (n=131 Pferde) der Hauptversuchsphase wurden Messungen der Staubbelastung der Umgebungsluft vorgenommen und die Konzentrationen der Größenfraktionen jeweils miteinander verglichen. Je Größenfraktion standen für die statistischen Berechnungen 2358 Werte zur Verfügung. Für alle fünf Fraktionen ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) der Medianwerte der Massenkonzentrationen vor und nach der Zahnbehandlung (Abb. 7, Tab. 5). Der Medianwert von PM1 v. B. (vor Behandlung) stieg von $0,038 \text{ mg/m}^3$ auf $0,052 \text{ mg/m}^3$ n. B. (nach Behandlung), der PM2.5 Medianwert v. B. von $0,039 \text{ mg/m}^3$ auf $0,053 \text{ mg/m}^3$ n. B.. Der alveolengängige Staub (PM4) lag im Median bei $0,043 \text{ mg/m}^3$ vor der Zahnbehandlung und bei $0,058 \text{ mg/m}^3$ nach der Behandlung. Bei PM10 wurde v. B. $0,063 \text{ mg/m}^3$ gemessen, n. B. ein Medianwert von $0,087 \text{ mg/m}^3$. Die Gesamtmassenkonzentration war ebenfalls durch einen signifikanten Anstieg von $0,081 \text{ mg/m}^3$ auf $0,110 \text{ mg/m}^3$ gekennzeichnet. Tabelle 5 stellt neben der Auflistung der Medianwerte die prozentuale Zunahme der Staubbelastung für die Fraktionen dar. Diese betrug durchschnittlich für alle Fraktionen 36,03%.

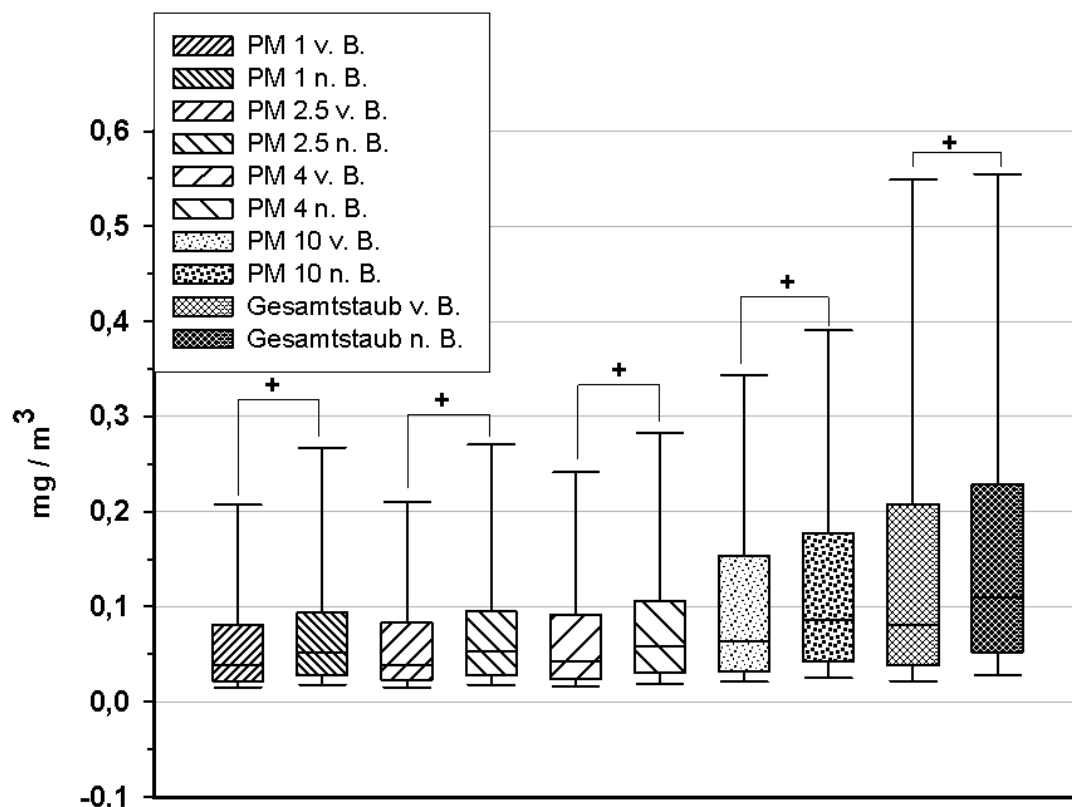


Abbildung 7: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Umgebungsmessung vor und nach der Zahnbehandlung (n=2358/Fraktion, + beschreibt signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, Mann-Whitney Rangsummentest; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90- Perzentilen; v.B. vor Behandlung, n.B. nach Behandlung)

Tabelle 5: Staubkonzentration in der Umgebungsluft vor und nach der Zahnbehandlung mit jeweils signifikanten Unterschieden der Medianwerte von $p < 0,05$. Angabe der Zunahme in %

Fraktion	vor Behandlung Median mg/m^3	nach Behandlung Median mg/m^3	Zunahme in %
PM1	0,038	0,052	36,84
PM2.5	0,039	0,053	35,90
PM4	0,043	0,058	34,88
PM10	0,063	0,087	38,10
Gesamtstaub	0,081	0,110	35,80

4.2.2 Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

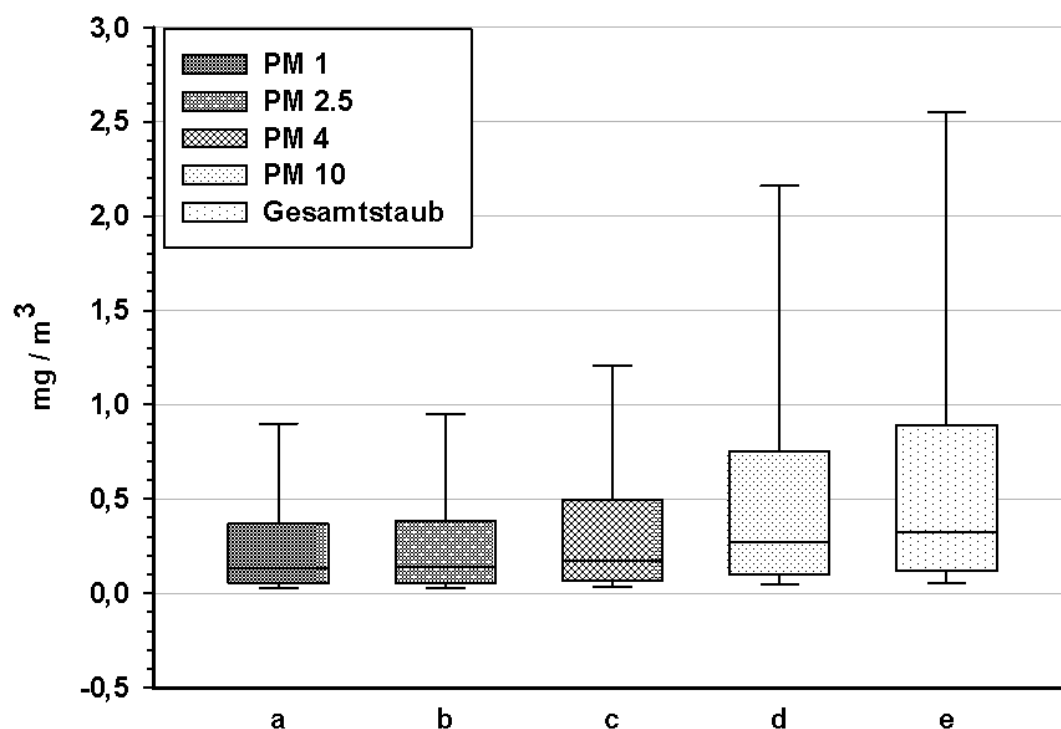


Abbildung 8: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=13920/Fraktion, a-e: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Bei 116 Pferden konnten Staubemissionsmessungen während der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe durchgeführt werden. Der Auswertung lagen pro Größenfraktion 13920 Datenpunkte zu Grunde. Die Fraktionen PM1 (Median $0,133 \text{ mg/m}^3$), PM2.5 (Median $0,140 \text{ mg/m}^3$), PM4 (Median $0,171 \text{ mg/m}^3$), PM10 (Median $0,271 \text{ mg/m}^3$) und Gesamtstaub (Median $0,326 \text{ mg/m}^3$) unterschieden sich alle jeweils signifikant ($p < 0,05$) voneinander (Abb. 8, Tab. 6).

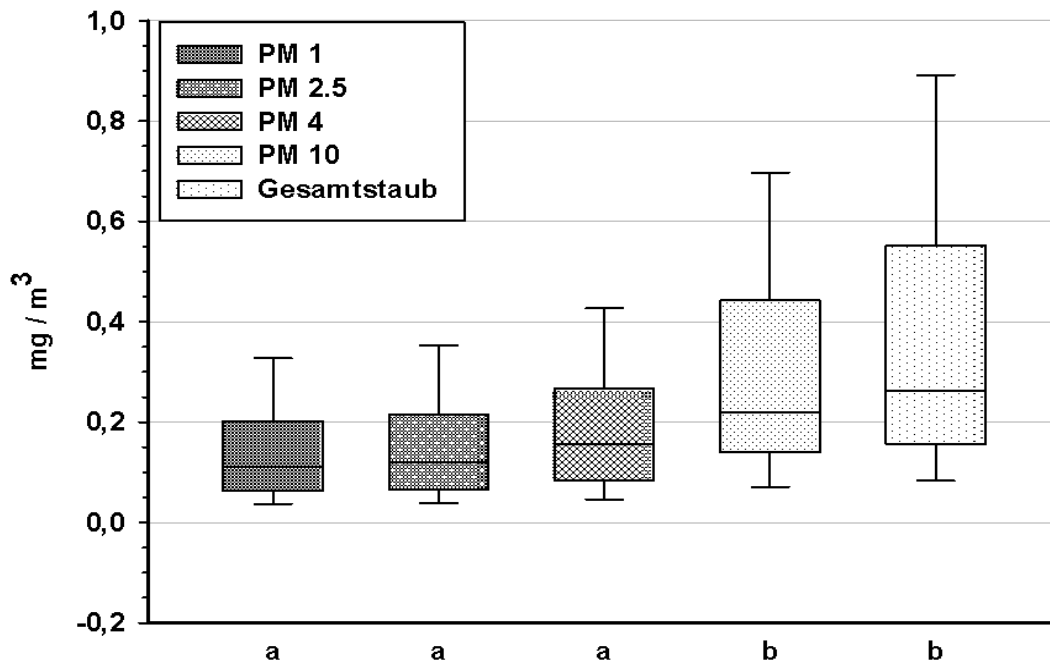


Abbildung 9: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=116/Fraktion, a-b: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die Auswertung der 116 Einzeltiermediane je Größenfraktion bei der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe ergab mediane Werte von $0,110 \text{ mg/m}^3$ (PM1), $0,121 \text{ mg/m}^3$ (PM2.5), $0,157 \text{ mg/m}^3$ (PM4), $0,220 \text{ mg/m}^3$ (PM10) und $0,264 \text{ mg/m}^3$ (Gesamtstaub), die sich nicht alle statistisch signifikant ($p < 0,05$) voneinander unterscheiden (Abb. 9, Tab. 7).

4.2.3 Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse

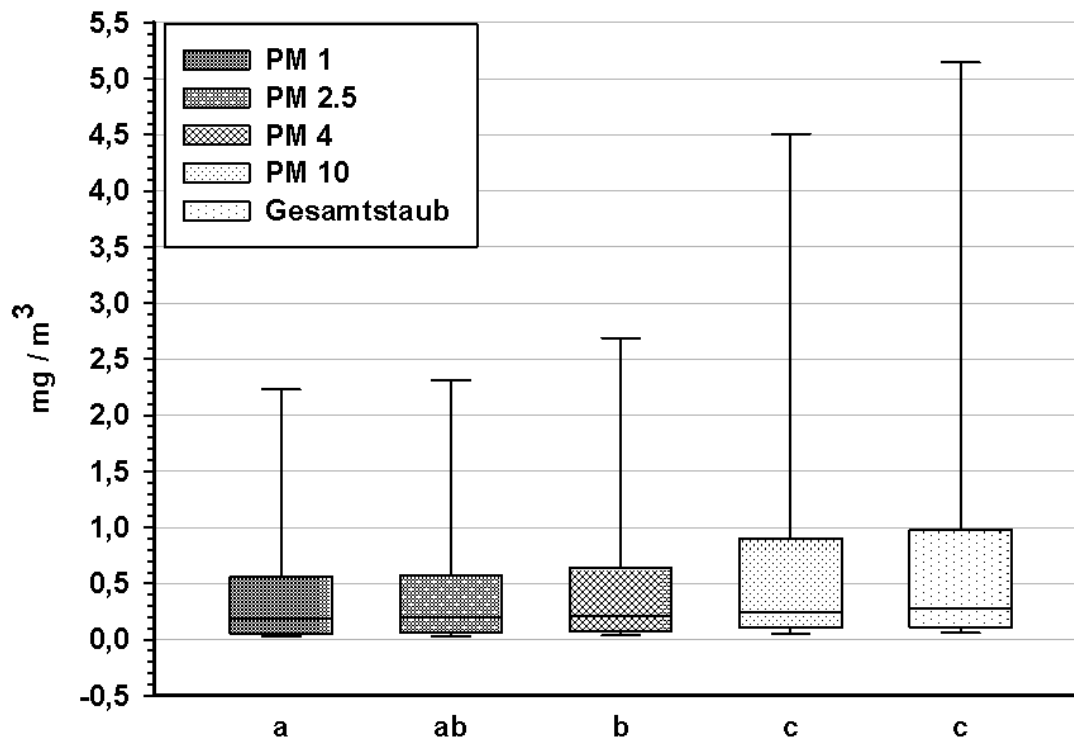


Abbildung 10: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse (n=1440/Fraktion, a-c: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die Staubemission bei der Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse wurde bei 24 Pferden gemessen. Aus den 1440 Datenpunkten pro Größenfraktion errechneten sich Medianwerte von $0,192 \text{ mg/m}^3$ für PM1, $0,196 \text{ mg/m}^3$ für PM2.5, $0,211 \text{ mg/m}^3$ für PM4, $0,245 \text{ mg/m}^3$ für PM10 und $0,273 \text{ mg/m}^3$ für die Gesamtmassenkonzentration (Tab. 6). Bei diesem Behandlungsschritt unterschieden sich nur die Konzentrationen einzelner, jedoch nicht aller Größenfraktionen signifikant voneinander ($p < 0,05$; Abb. 10).

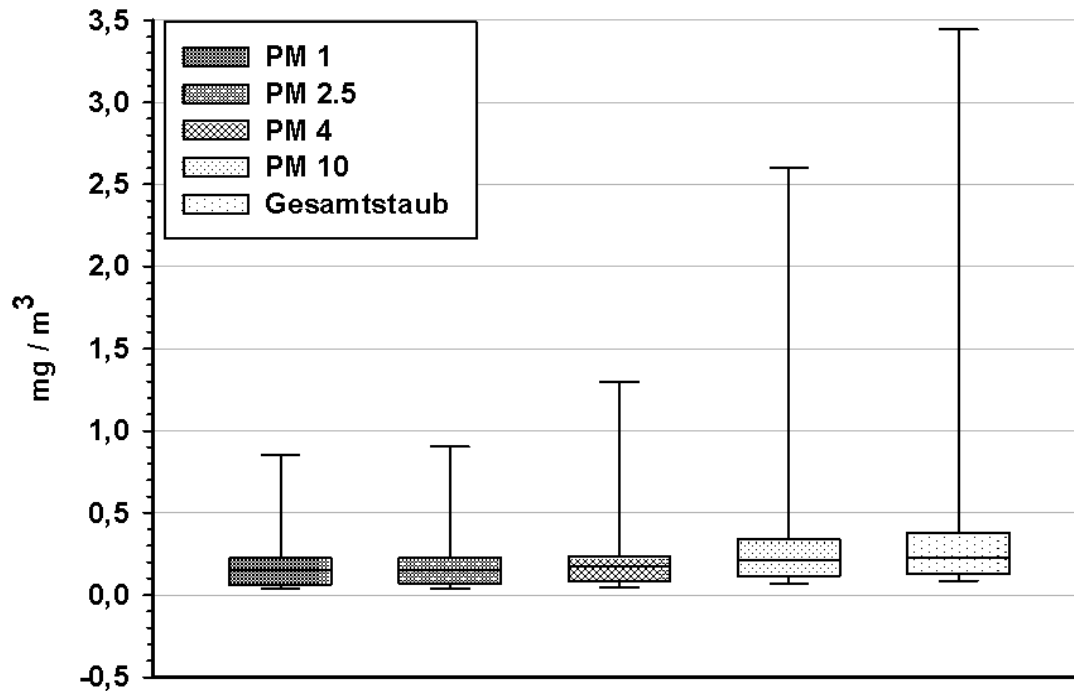


Abbildung 11: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse (n=24/Fraktion, keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Fraktionen, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die Auswertung der 24 Einzeltiermediane bei der Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse zeigte keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Fraktionen. Die medianen Werte der Größenfraktionen betragen $0,150 \text{ mg/m}^3$ (PM1), $0,153 \text{ mg/m}^3$ (PM2.5), $0,178 \text{ mg/m}^3$ (PM4), $0,211 \text{ mg/m}^3$ (PM10) und $0,229 \text{ mg/m}^3$ (Gesamtstaub) (Abb. 11, Tab. 7).

4.2.4 Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

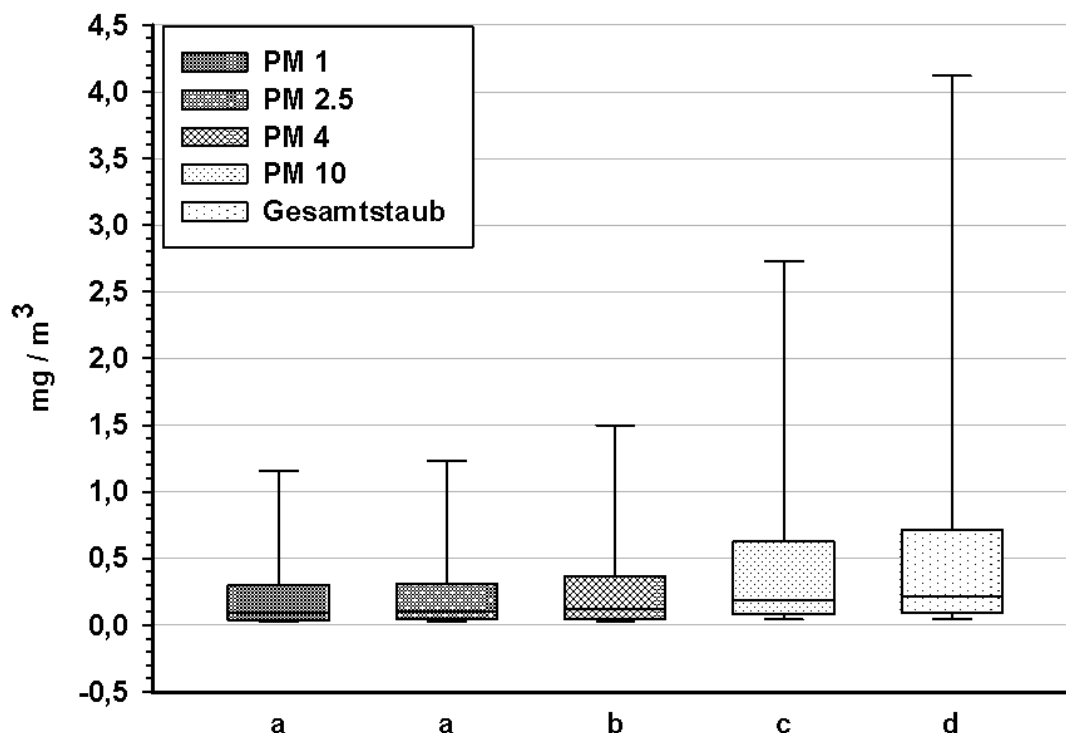


Abbildung 12: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=1920/Fraktion, a-d: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Bei 32 Fällen wurde die Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe durchgeführt und die Staubemission gemessen. Der Auswertung lagen 1920 Werte je Fraktion zu Grunde. PM1 und PM2.5 unterschieden sich mit Medianwerten von 0,098 und 0,100 mg/m^3 nicht signifikant voneinander (Abb. 12, Tab. 6). Die Größenfraktionen PM4 (Median 0,122 mg/m^3), PM10 (Median 0,188 mg/m^3) und Gesamtstaub (Median 0,220 mg/m^3) wiesen untereinander und im Vergleich zu PM1 und PM2.5 signifikante Konzentrationsunterschiede auf ($p < 0,05$, Abb. 12).

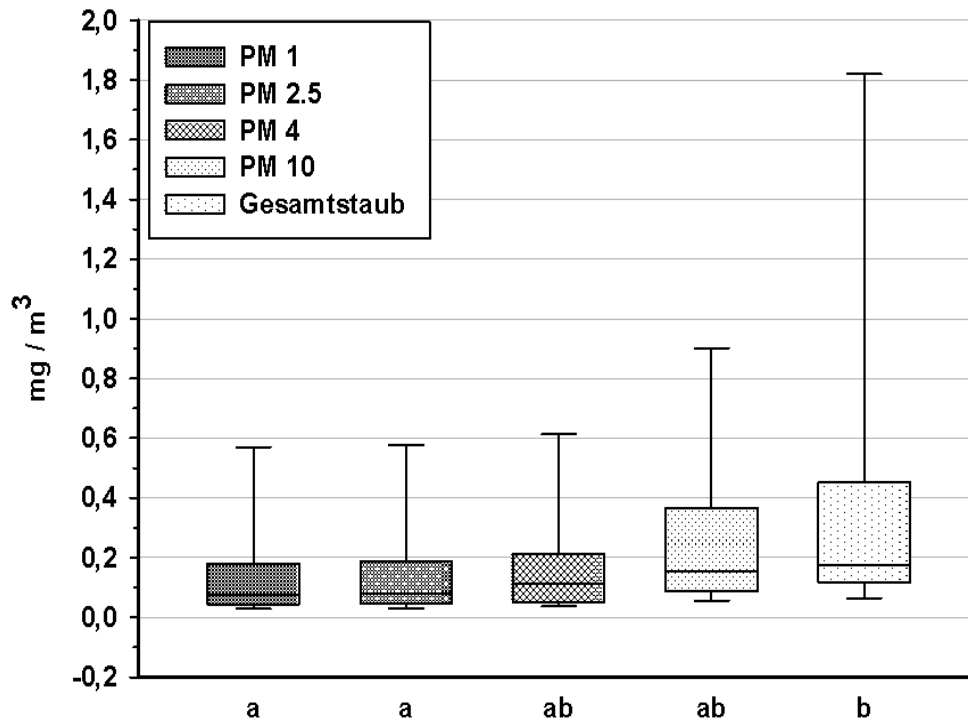


Abbildung 13: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=32/Fraktion, a-b: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die Auswertung der 32 Einzeltiermediane je Größenfraktion bei der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe ergab mediane Werte von $0,076 \text{ mg/m}^3$ (PM1), $0,079 \text{ mg/m}^3$ (PM2.5), $0,115 \text{ mg/m}^3$ (PM4), $0,153 \text{ mg/m}^3$ (PM10) und $0,173 \text{ mg/m}^3$ (Gesamtstaub), die sich zum Teil statistisch signifikant ($p < 0,05$) voneinander unterschieden (Abb. 13, Tab. 7).

4.2.5 Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe

Während der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (n=56 Pferde) wurden 3360 Datenpunkte pro Größenfraktion protokolliert. Statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) wiesen alle Fraktionen untereinander auf mit Ausnahme von PM1 (Median $0,585 \text{ mg/m}^3$) und PM2.5 (Median $0,617 \text{ mg/m}^3$). Die Massenkonzentrationen von PM4, PM10 und Gesamtstaub lagen bei $0,827 \text{ mg/m}^3$, $1,560 \text{ mg/m}^3$ und $1,890 \text{ mg/m}^3$ (Abb. 14, Tab. 6). Die im Vergleich zu den anderen Behandlungen höhere Staubemission bei diesem Behandlungsschritt wurde während der Versuche subjektiv aufgrund der Entstehung einer sichtbar dichten Staubwolke wahrgenommen (vgl. Abb. 15).

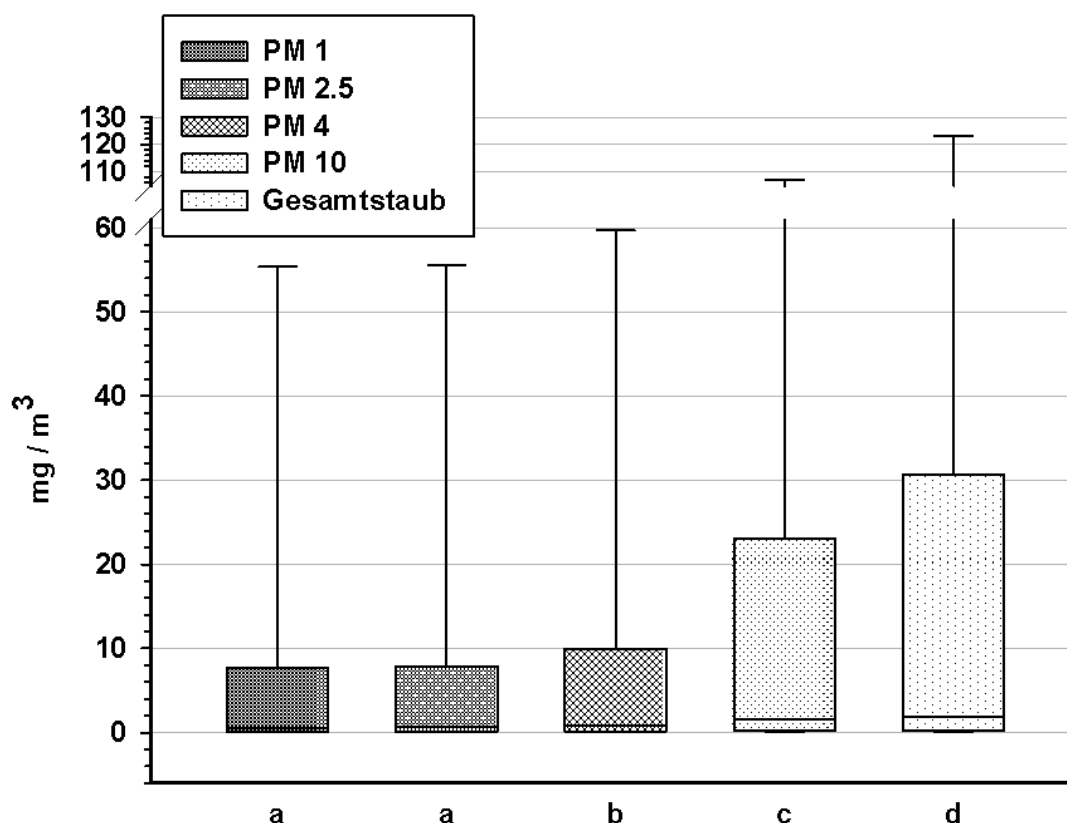


Abbildung 14: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (n=3360/Fraktion, a-d: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)



Abbildung 15: Sichtbare Staubemission bei Schneidezahnbehandlung

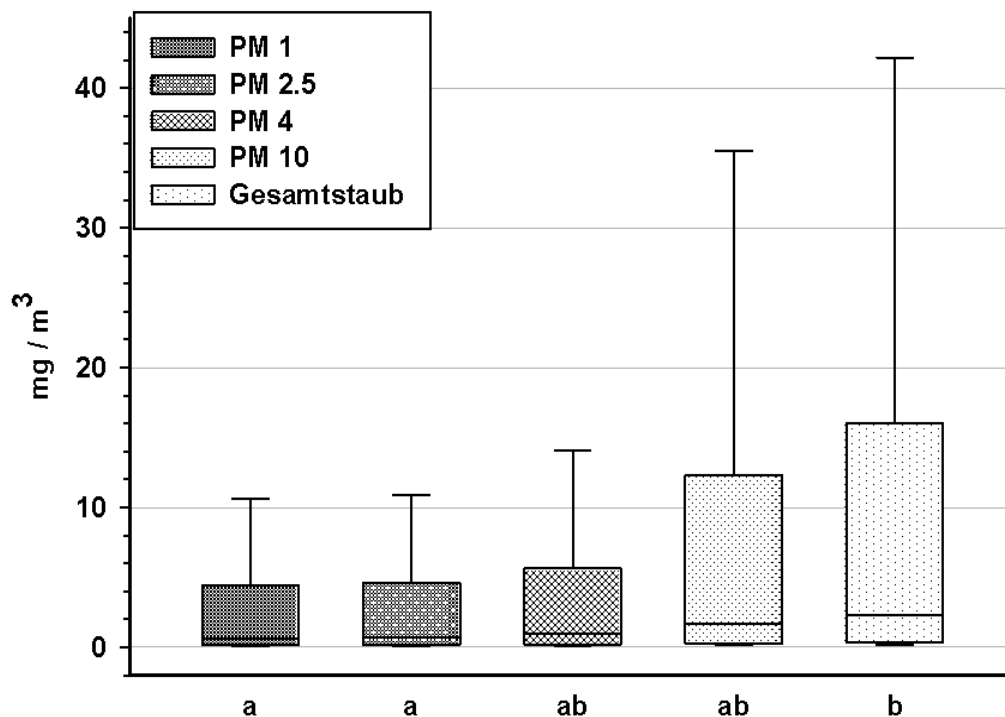


Abbildung 16: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedianen der Staubfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (n=56/Fraktion, a-b: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die 56 Einzeltiermediane je Größenfraktion bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe wurden ausgewertet. Es zeigten sich zum Teil statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) mit medianen Massenkonzentrationen von $0,611 \text{ mg/m}^3$ für PM1, $0,660 \text{ mg/m}^3$ für PM2.5, $0,936 \text{ mg/m}^3$ für PM4, $1,668 \text{ mg/m}^3$ für PM10 und $2,245 \text{ mg/m}^3$ für Gesamtstaub (Abb. 16, Tab. 7).

4.2.6 Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse

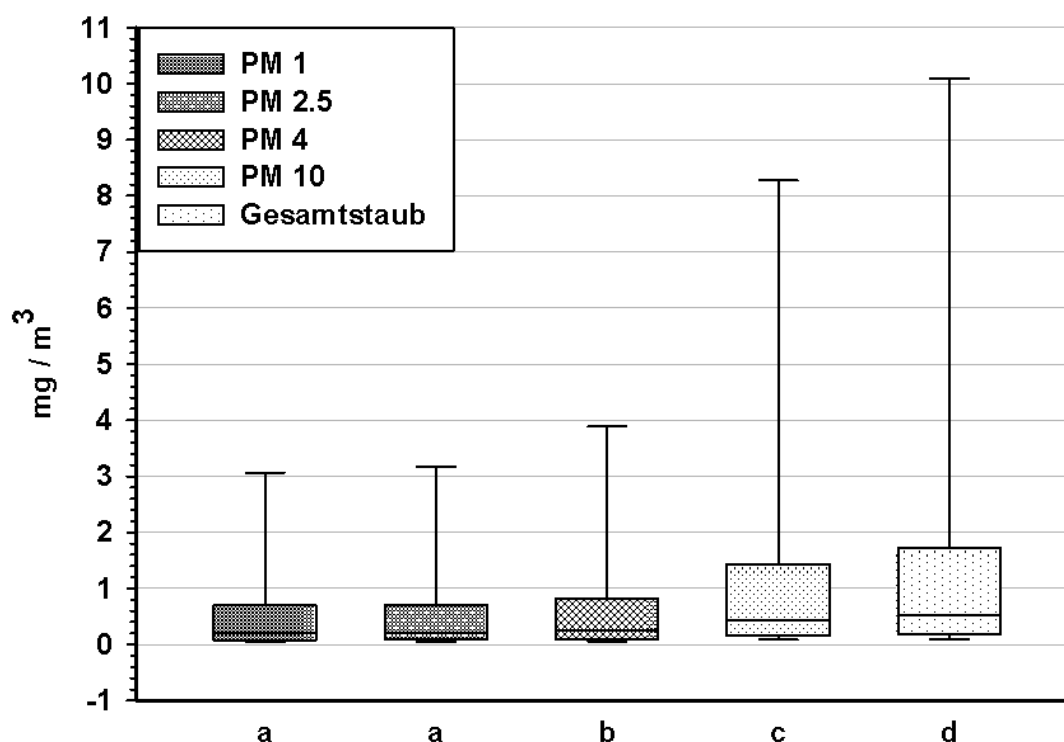


Abbildung 17: Konzentrationsvergleich der unterschiedlichen Staubgrößenfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse (n=2100/Fraktion, a-d: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Datenbasis für die Messung der Staubemission im Rahmen von 35 Schneidezahnbehandlungen mit Wolframkarbidkugelfräse waren 2100 Werte pro Fraktion. Die statistische Auswertung ergab signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) aller Fraktionen mit Ausnahme von PM1 und PM2.5 mit Medianen von $0,204 \text{ mg/m}^3$ und $0,213 \text{ mg/m}^3$, vergleichbar der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe und der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe. Die Konzentrationen der Mediane von PM4, PM10 und Gesamtstaub waren $0,249 \text{ mg/m}^3$, $0,428 \text{ mg/m}^3$ und $0,534 \text{ mg/m}^3$ (Abb. 17, Tab. 6).

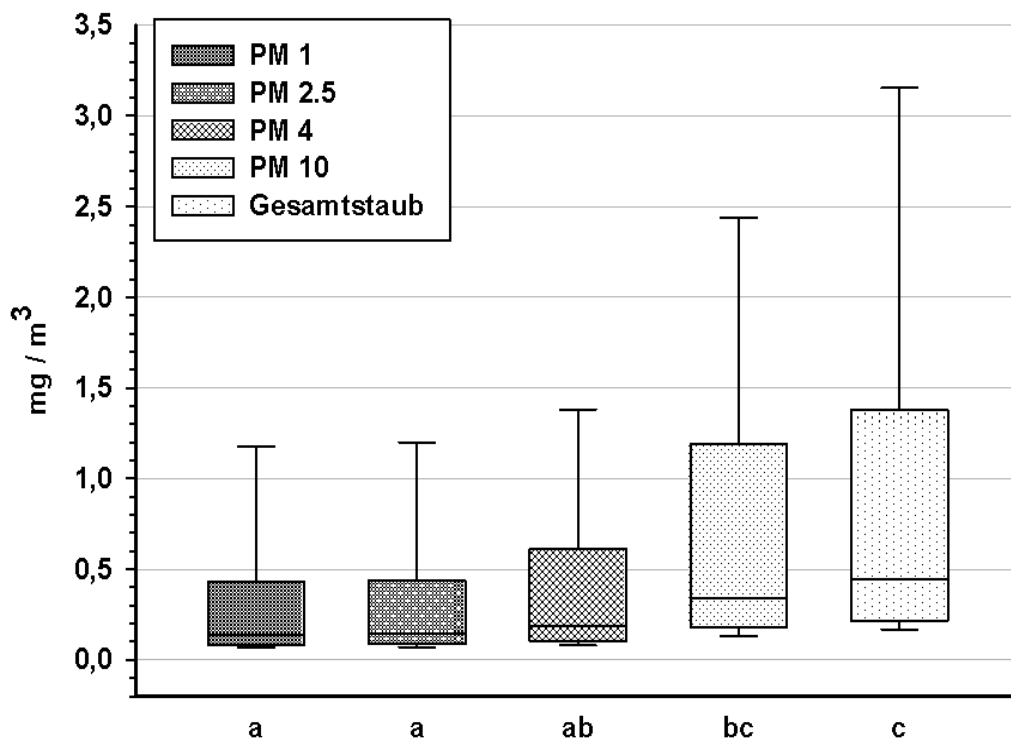


Abbildung 18: Konzentrationsvergleich von Einzeltiermedienen der Staubfraktionen bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse (n=35/Fraktion, a-c: unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede von $p < 0,05$, rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis, Tukey Test; Median mit 10-, 25-, 75-, und 90-Perzentilen)

Die Größenfraktionen PM1 (Median $0,136 \text{ mg/m}^3$), PM2.5 (Median $0,145 \text{ mg/m}^3$), PM4 (Median $0,189 \text{ mg/m}^3$), PM10 (Median $0,338 \text{ mg/m}^3$) und Gesamtstaub (Median $0,446 \text{ mg/m}^3$) zeigten bei der Auswertung der 35 Einzeltiermediane der Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse zum Teil signifikante Unterschiede (Abb. 18, Tab. 7).

4.2.7 Zusammenfassende Darstellung von Staubkonzentrationen und mittleren Höchstwerten

Tabelle 6 beinhaltet die Auflistung der Medianwerte der einzelnen Größenfraktionen in der Behandlungsumgebung vor und nach der Zahnbehandlung sowie während der Behandlungsschritte, die in 4.2.1 - 4.2.6 bereits in Form von Abbildungen dargestellt wurden. Tabelle 7 zeigt die Medianwerte aus der Auswertung der Einzeltiermediane.

Tabelle 6: Staubkonzentration in der Umgebungsluft und während der Behandlungsschritte, Angabe von Medianwerten. BZ Backenzähne, DS Diamantschleifscheibe, HZ Hakenzähne, KF Kugelfräse, n.B. nach Behandlung, SZ Schneidezähne, TS Trennscheibe, WF Walzenfräse, v.B. vor Behandlung, grau kennzeichnet Behandlungsschritte mit niedrigster/höchster gemessener Konzentration.

	PM1 mg/m ³	PM2.5 mg/m ³	PM4 mg/m ³	PM10 mg/m ³	Gesamt- staub mg/m ³
v. B.	0,038	0,039	0,043	0,063	0,081
BZ mit DS	0,133	0,140	0,171	0,271	0,326
BZ mit WF	0,192	0,196	0,211	0,245	0,273
HZ mit DS	0,098	0,100	0,122	0,188	0,220
SZ mit TS	0,585	0,617	0,827	1,560	1,890
SZ mit KF	0,204	0,213	0,249	0,428	0,534
n. B.	0,052	0,053	0,058	0,087	0,110

Tabelle 7: Staubkonzentration während der Behandlungsschritte, Auswertung von Einzeltiermedianen. BZ Backenzähne, DS Diamantschleifscheibe, HZ Hakenzähne, KF Kugelfräse, SZ Schneidezähne, TS Trennscheibe, WF Walzenfräse, grau kennzeichnet Behandlungsschritte mit niedrigster/höchster gemessener Konzentration.

	PM1 mg/m ³	PM2.5 mg/m ³	PM4 mg/m ³	PM10 mg/m ³	Gesamt- staub mg/m ³
BZ mit DS	0,110	0,121	0,157	0,220	0,264
BZ mit WF	0,150	0,153	0,178	0,211	0,229
HZ mit DS	0,076	0,079	0,115	0,153	0,173
SZ mit TS	0,611	0,660	0,936	1,668	2,245
SZ mit KF	0,136	0,145	0,189	0,338	0,446

Ergebnisse

Zusätzlich wurden die erreichten Höchstwerte der Einzelmessungen der verschiedenen Behandlungsschritte und Fraktionen genauer betrachtet. Die Berechnung der mittleren Höchstwerte und des Standardfehlers (SEM) ergab die in Tabelle 8 dargestellten Werte (keine Normalverteilung der Werte). Die Spanne der errechneten mittleren Höchstwerte reichte von 4,754 mg/m³ (PM1; SEM 0,351) bis 12,111 mg/m³ (Gesamtstaub; SEM 0,897) für die Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe. Bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe lagen die mittleren Höchstwerte zwischen 95,731 mg/m³ (PM1; SEM 7,517) und 109,382 mg/m³ (Gesamtstaub; SEM 7,134).

Tabelle 8: Mittlere Höchstwerte und SEM der Behandlungsschritte und Fraktionen.

BZ Backenzähne, DS Diamantschleifscheibe, HZ Hakenzähne, KF Kugelfräse, MHW Mittlerer Höchstwert, SEM Standard Error of Mean, SZ Schneidezähne, TS Trennscheibe, WF Walzenfräse.

	BZ DS		BZ WF		HZ DS		SZ TS		SZ KF	
Fraktion	MHW	SEM	MHW	SEM	MHW	SEM	MHW	SEM	MHW	SEM
PM1	4,754	0,351	20,536	6,658	7,680	2,123	95,731	7,517	24,039	5,899
PM2.5	5,398	0,593	20,641	6,659	7,767	2,134	95,799	7,510	24,118	5,899
PM4	5,792	0,394	21,444	6,752	8,385	2,252	96,434	7,465	24,808	5,969
PM10	10,110	0,700	28,119	8,339	12,878	3,646	104,590	7,201	32,702	7,064
Gesamtstaub	12,111	0,897	29,760	8,437	16,432	4,786	109,382	7,134	36,472	7,587

4.3 Alveolengängige Fraktion

Die folgenden sechs Gliederungspunkte geben einen Überblick darüber, wie hoch die Staubbelastung während der einzelnen Zahnbehandlungsschritte im Vergleich zu den in Deutschland geltenden Arbeitsplatzgrenzwerten war.

Hierzu wurden sowohl die MAK-Grenzwerte (Deutsche Forschungsgemeinschaft) als auch die Allgemeinen Staubgrenzwerte (Ausschuss für Gefahrstoffe) für die alveolengängige (A-) und einatembare (E-) Fraktion nach DIN EN 481, 1993 herangezogen. Die Fraktion PM₄, die von dem in dieser Studie verwendeten Gerät gemessen wird, entspricht der alveolengängigen Fraktion. Demgegenüber ist die erfasste Massenkonzentration des Gesamtstaubes nicht mit der einatembaren Fraktion gleichzusetzen und wurde aus diesem Grund nicht mit den für E-Staub geltenden Grenzwerten verglichen.

Zur Beurteilung der Staubbelastung während der einzelnen Behandlungsschritte diente der prozentuale Messwertanteil, der über den festgesetzten Grenzwerten der A-Fraktion lag. Als Grenzwerte für die A-Fraktion gelten 1,5 mg/m³ (MAK-Wert) und 3 mg/m³ (Allgemeiner Staubgrenzwert).

4.3.1 Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

Bei der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe wurden 120 Datenpunkte pro Pferd erfasst (n=116 Pferde) (Abb. 19). 7,92% der PM4-Werte lagen über dem MAK Grenzwert (A-Fraktion) $1,5 \text{ mg/m}^3$, 2,72% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert (A-Fraktion) 3 mg/m^3 . Die höchste Konzentration von PM4 lag bei $27,3 \text{ mg/m}^3$ (Tab. 9).

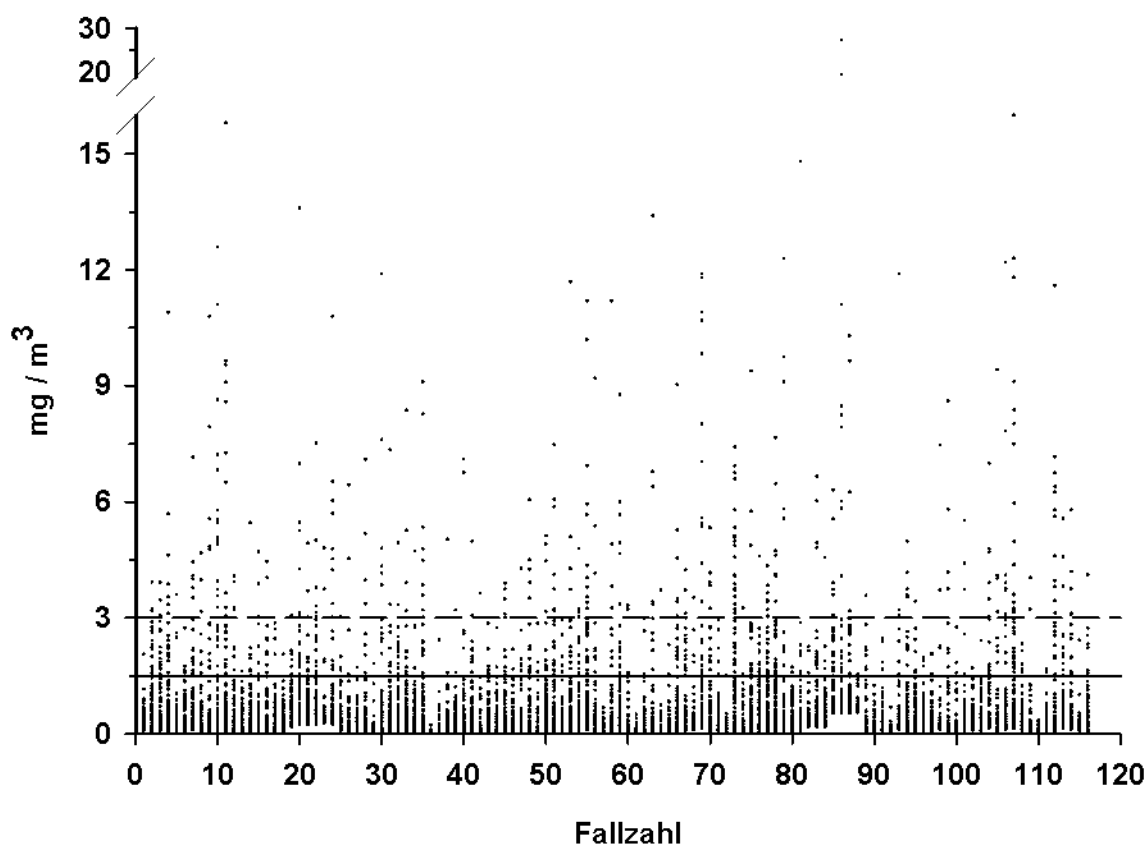


Abbildung 19: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=120/Pferd, 116 Pferde; durchgezogene Linie MAK Grenzwert (A) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, gestrichelte Linie Allg. Staubgrenzwert (A) von 3 mg/m^3)

4.3.2 Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse

Bei der Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse wurden 60 Messwerte pro Pferd erfasst (n=24 Pferde); für die alveolengängige Fraktion (PM4) mit Höchstwerten von 137 mg/m³. 14,79% der PM4-Werte lagen über dem MAK Grenzwert (A-Fraktion) von 1,5 mg/m³, 9,51% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert (A-Fraktion) von 3 mg/m³ (Abb. 20, Tab. 9).

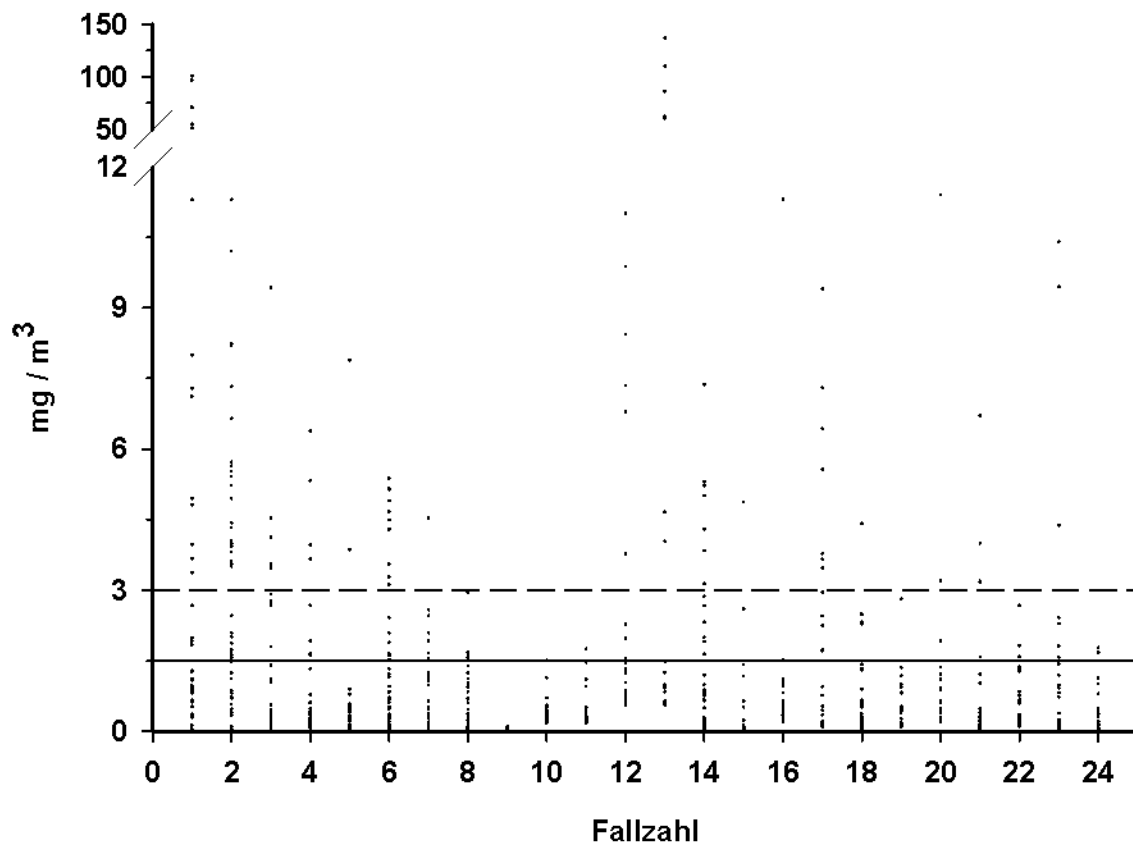


Abbildung 20: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse (n=60/Pferd, 24 Pferde; durchgezogene Linie MAK Grenzwert (A) von 1,5 mg/m³, gestrichelte Linie Allg. Staubgrenzwert (A) von 3 mg/m³)

4.3.3 Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe

Bei der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe wurden 60 Datenpunkte pro Pferd erfasst (n=32 Pferde, Abb. 21). 10,00% der PM4-Werte überstiegen den MAK Grenzwert (A-Fraktion) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, 6,20% den Allgemeinen Staubgrenzwert (A-Fraktion) von 3 mg/m^3 . Die höchste gemessene Konzentration von PM4 lag bei $43,9 \text{ mg/m}^3$ (Tab. 9).

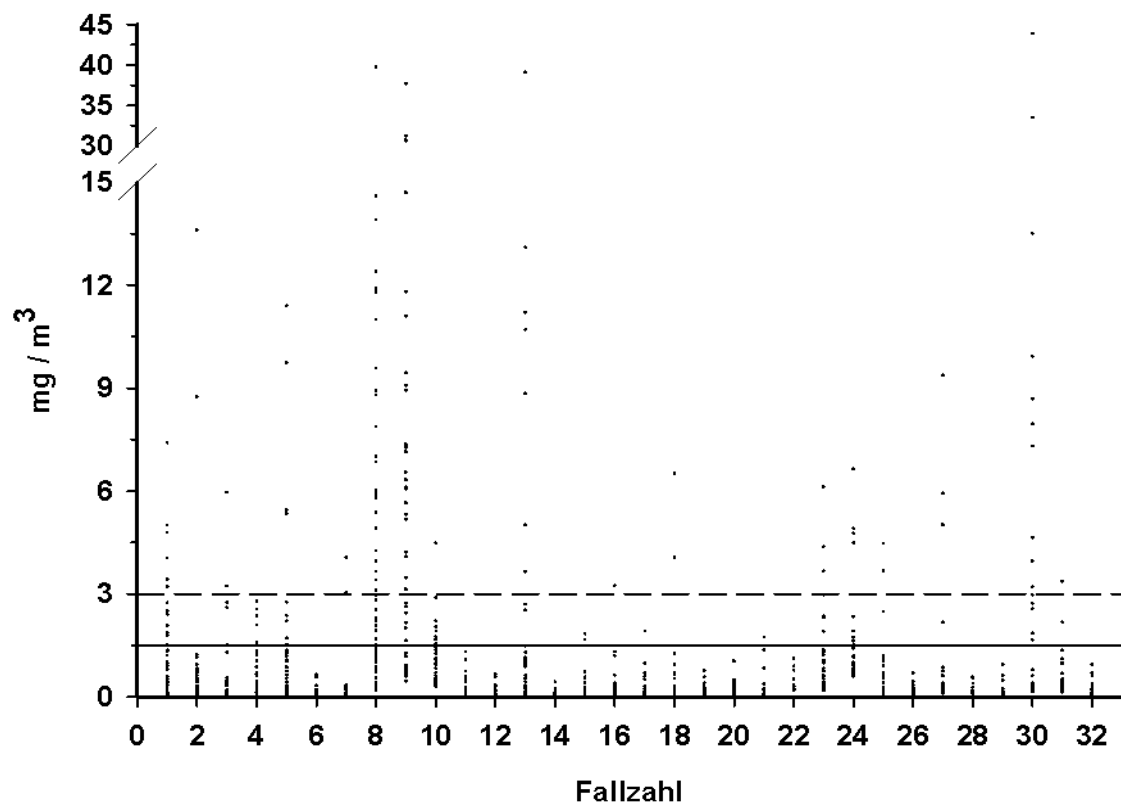


Abbildung 21: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe (n=60/Pferd, 32 Pferde; durchgezogene Linie MAK Grenzwert (A) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, gestrichelte Linie Allg. Staubgrenzwert (A) von 3 mg/m^3)

4.3.4 Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe

Bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe wurden 60 Messwerte pro Pferd erfasst (n=56 Pferde); für PM4 mit Höchstwerten von 150 mg/m^3 , was der maximalen Messkapazität des Gerätes entspricht. 43,10% der PM4-Werte lagen über dem MAK Grenzwert (A-Fraktion) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, 35,54% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert (A-Fraktion) von 3 mg/m^3 (Abb. 22, Tab. 9). Für diesen Behandlungsschritt wurde im Vergleich zu den anderen Backen-, Haken- und Schneidezahnbehandlungen die höchste Staubemission gemessen (vgl. 4.3.1-4.3.5).

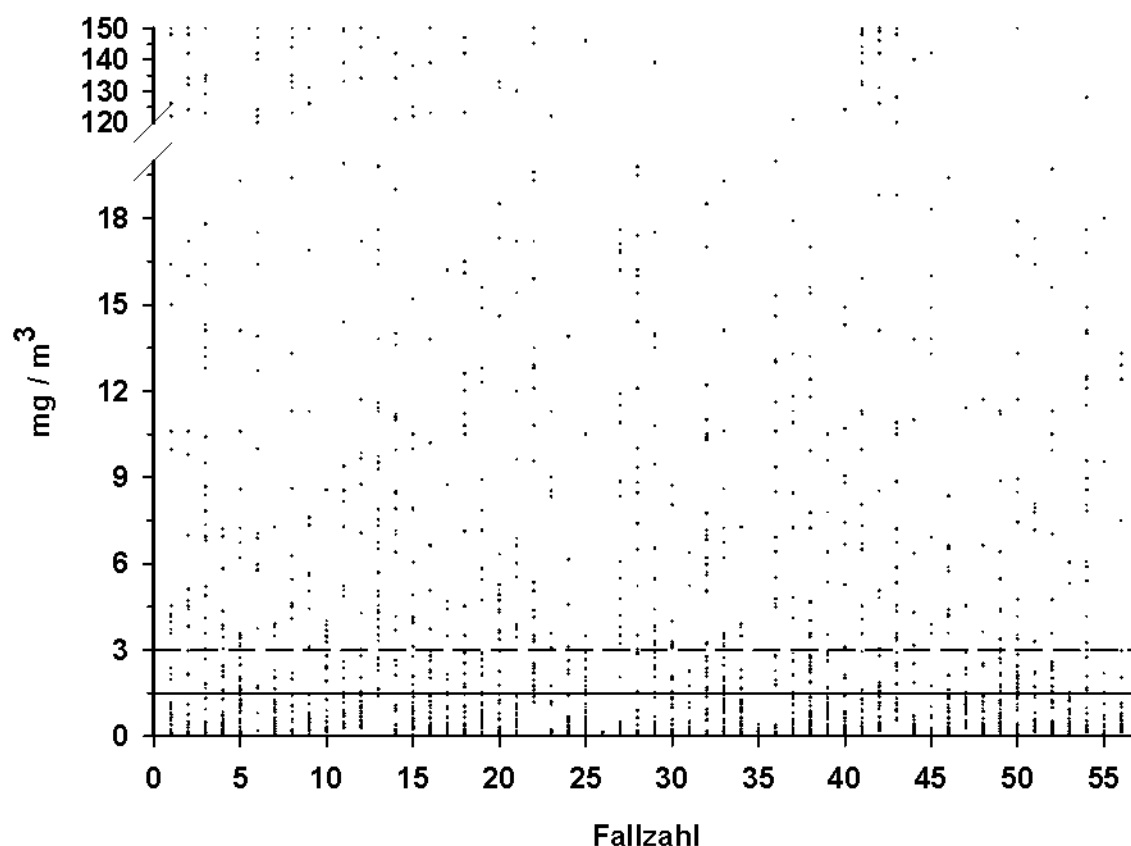


Abbildung 22: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (n=60/Pferd, 56 Pferde; durchgezogene Linie MAK Grenzwert (A) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, gestrichelte Linie Allg. Staubgrenzwert (A) von 3 mg/m^3)

4.3.5 Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse

Für die Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse wurden 60 Messwerte pro Pferd erfasst (n=35 Pferde). Der Höchstwert der alveolengängigen Fraktion betrug 145 mg/m^3 . 18,14% der PM4-Werte lagen über dem MAK Grenzwert (A-Fraktion) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, 11,57% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert (A-Fraktion) von 3 mg/m^3 (Abb. 23, Tab. 9).

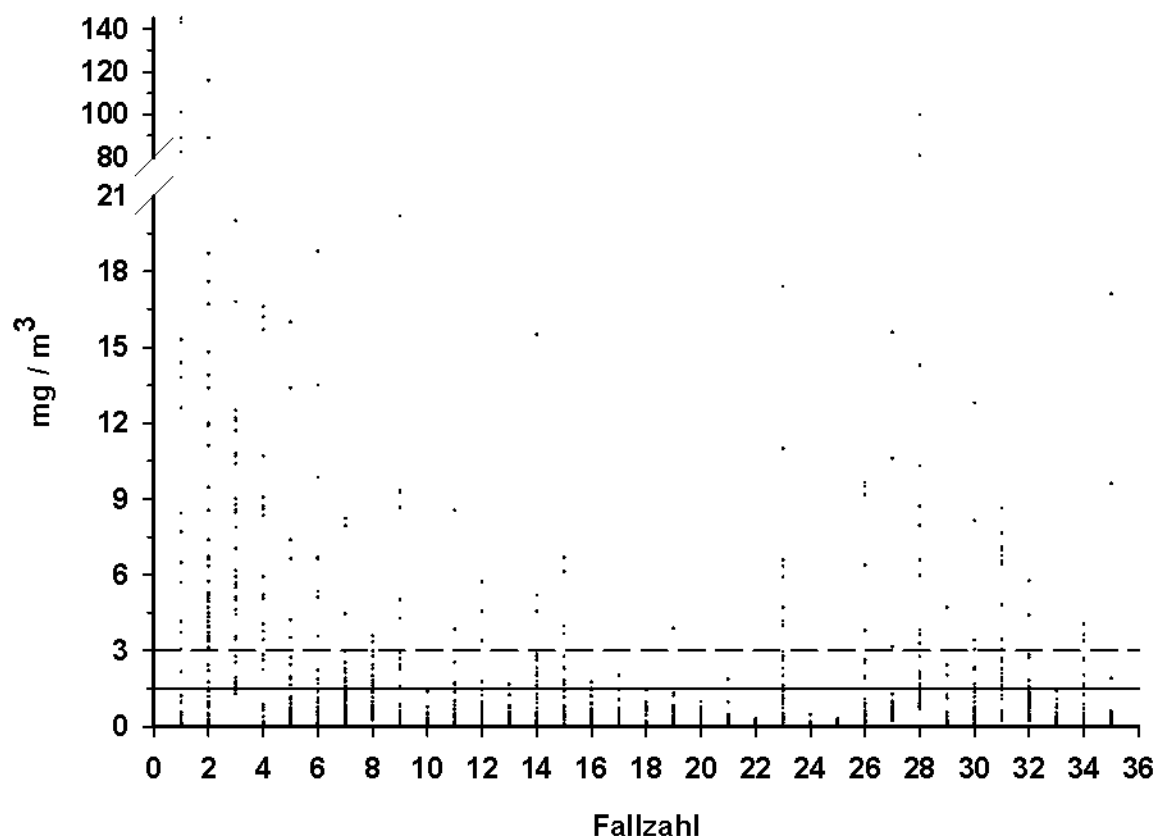


Abbildung 23: Gemessene Konzentration der alveolengängigen Fraktion (PM4) bei Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse (n=60/Pferd, 35 Pferde; durchgezogene Linie MAK Grenzwert (A) von $1,5 \text{ mg/m}^3$, gestrichelte Linie Allg. Staubgrenzwert (A) von 3 mg/m^3)

4.3.6 Tabellarischer Überblick zu 4.3.1 - 4.3.5

Tabelle 9 zeigt zusammenfassend für alle Behandlungsschritte den prozentualen Anteil der Messwerte, die über den Grenzwerten lagen und die jeweils gemessenen Höchstwerte der A-Fraktion (PM4), wie bereits in den Punkten 4.3.1–4.3.5 beschrieben.

Tabelle 9: Grenzwertübersteigender Anteil der Messwerte (in %) und Höchstwerte der Fraktion PM4; BZ Backenzähne, DS Diamantschleifscheibe, HZ Hakenzähne, KF Kugelfräse, SZ Schneidezähne, TS Trennscheibe, WF Walzenfräse.

Behandlungen	Messwertanteil (in %), der Grenzwerte übersteigt		Höchstwerte PM4 in mg/m ³
	MAK Grenzwert A-Fraktion 1,5 mg/m ³	Allgemeiner Staubgrenzwert A-Fraktion 3 mg/m ³	
BZ mit DS	7,92	2,72	27,3
BZ mit WF	14,79	9,51	137
HZ mit DS	10,00	6,20	43,9
SZ mit TS	43,10	35,54	150
SZ mit KF	18,14	11,57	145

4.4 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung des gesammelten Staubes wurde vorgenommen, um die Partikelmorphologie zu beurteilen. Darauf basierend sollten Aussagen bezüglich des möglichen mechanischen Schädigungspotentiales der Partikel gemacht werden. Die Abbildungen 24-34 zeigen exemplarisch eine Auswahl rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen untersuchter Staubpartikel in 500-, 1000-, 1500-, 3000- und 5000facher Vergrößerung.

Die gesammelten Partikel waren polymorph. Anhand der vorliegenden Proben waren keine bedenklichen Formen mit sich aufspaltenden Faserbündeln (Beispiel Faserstaub Asbest) festzustellen. Auf einigen Bildern (vgl. Abb. 25, 26, 30-34) waren alveolengängige Partikel ($<4 \mu\text{m}$) zu sehen, die größeren Partikeln anhafteten oder sich in Form von Konglomeraten darstellten. Sie könnten zum Teil aus Fremdsubstanz bestanden haben (beispielsweise Bakterien). Bei den größeren Partikeln liegt die Vermutung nahe, dass es sich um abgeschliffene Zahnschmelze handelte (Abb. 26-31, 33, 34).

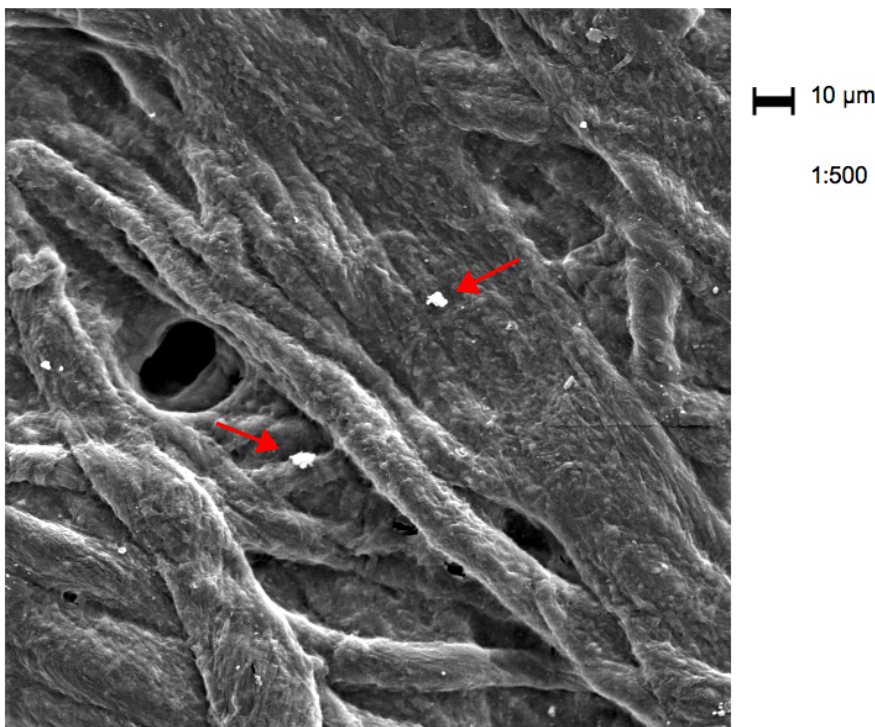


Abbildung 24: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Staub auf MCE Filter, 500fache Vergrößerung, rote Pfeile markieren Staubpartikel.

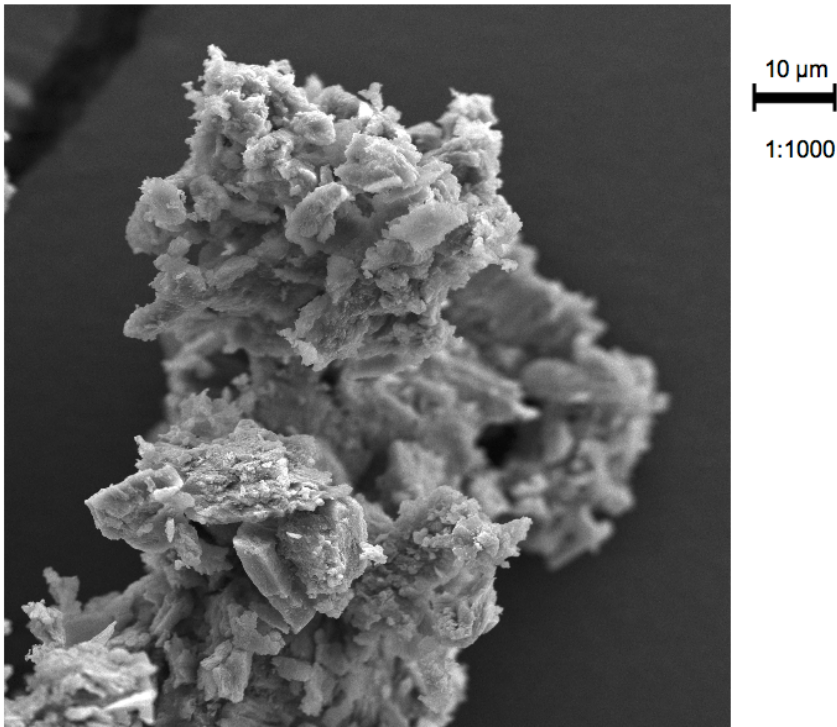


Abbildung 25: Konglomerate, teilweise bestehend aus alveolengängigen Partikeln, 1000fache Vergrößerung

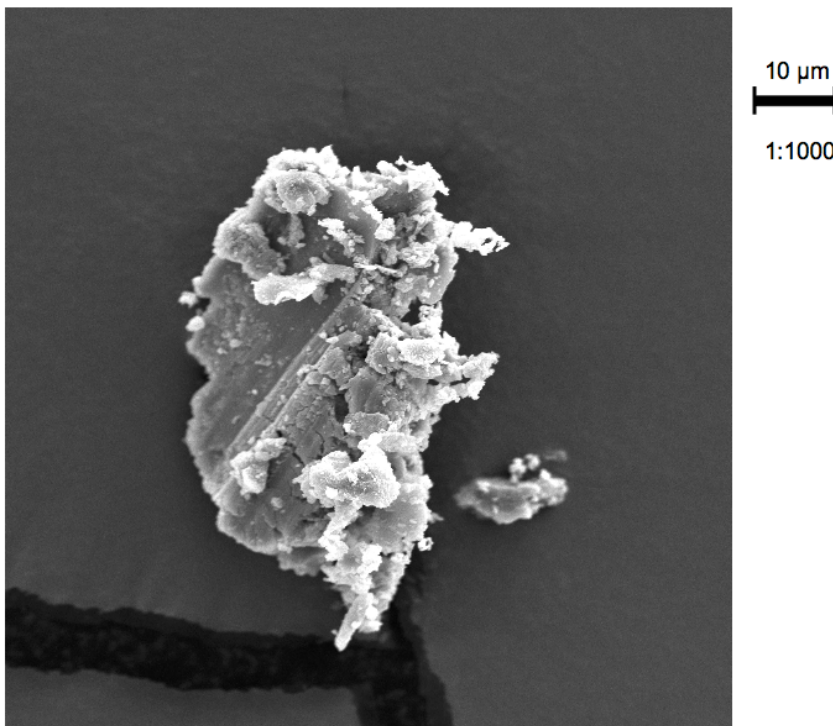


Abbildung 26: Lamelle mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 1000fache Vergrößerung

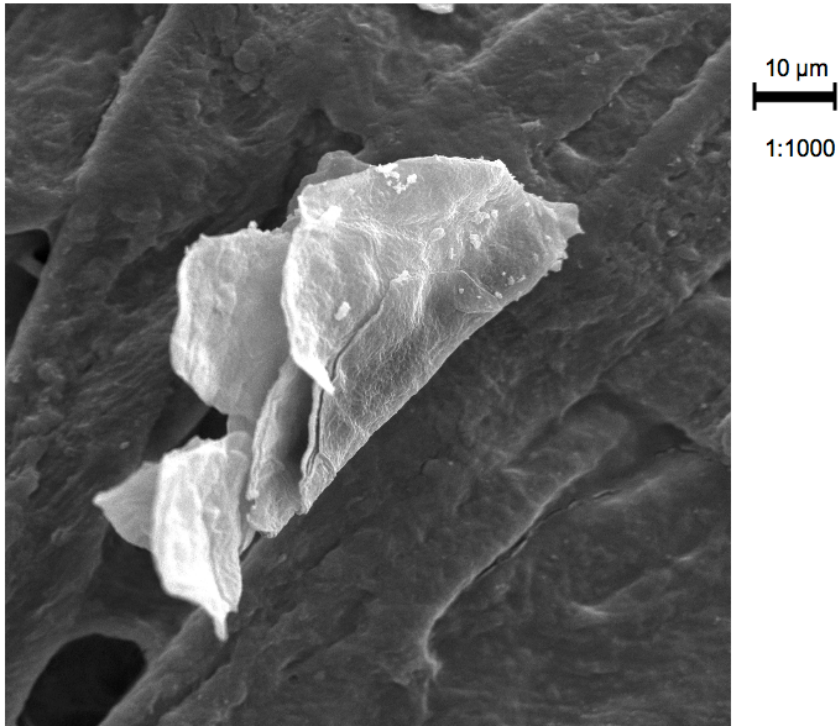


Abbildung 27: (Zahn)lamelle auf MCE Filter, 1000fache Vergrößerung

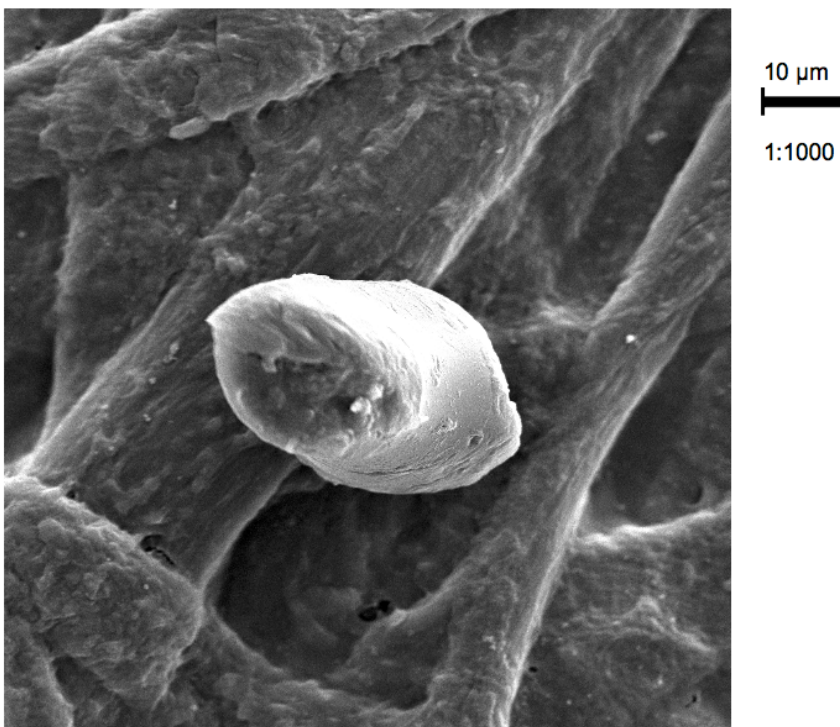


Abbildung 28: Einzelpartikel (Zahnschmelze) auf MCE Filter, 1000fache Vergrößerung

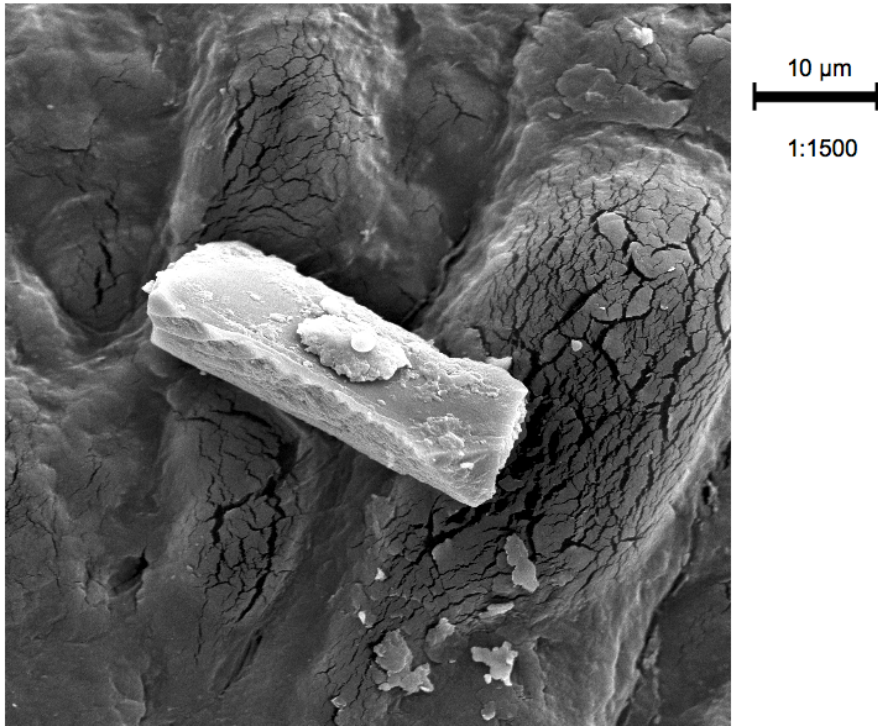


Abbildung 29: Einzelpartikel (Zahnschmelze) auf MCE Filter, 1500fache Vergrößerung

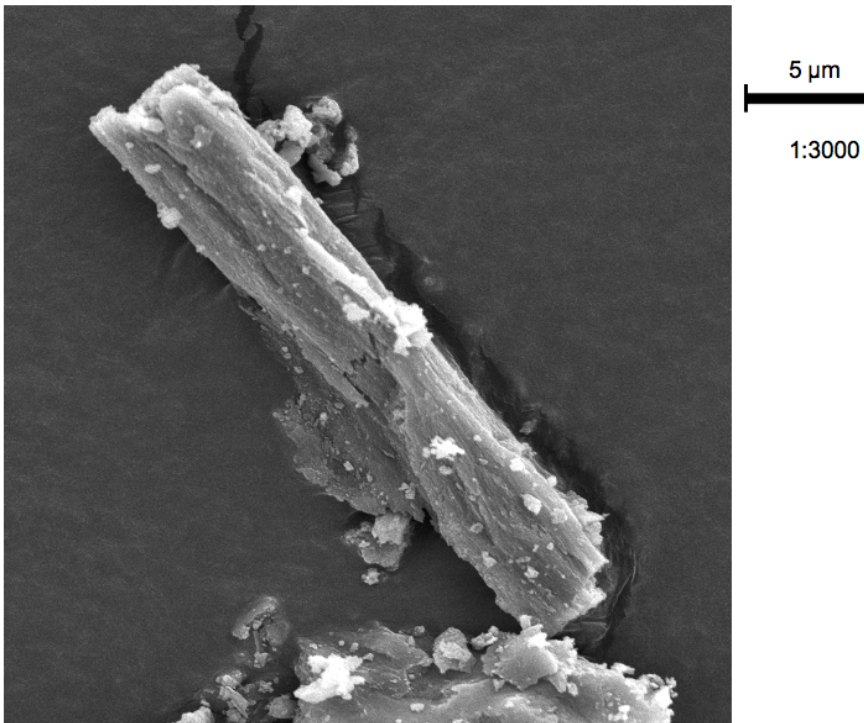


Abbildung 30: (Zahn)lamelle mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung

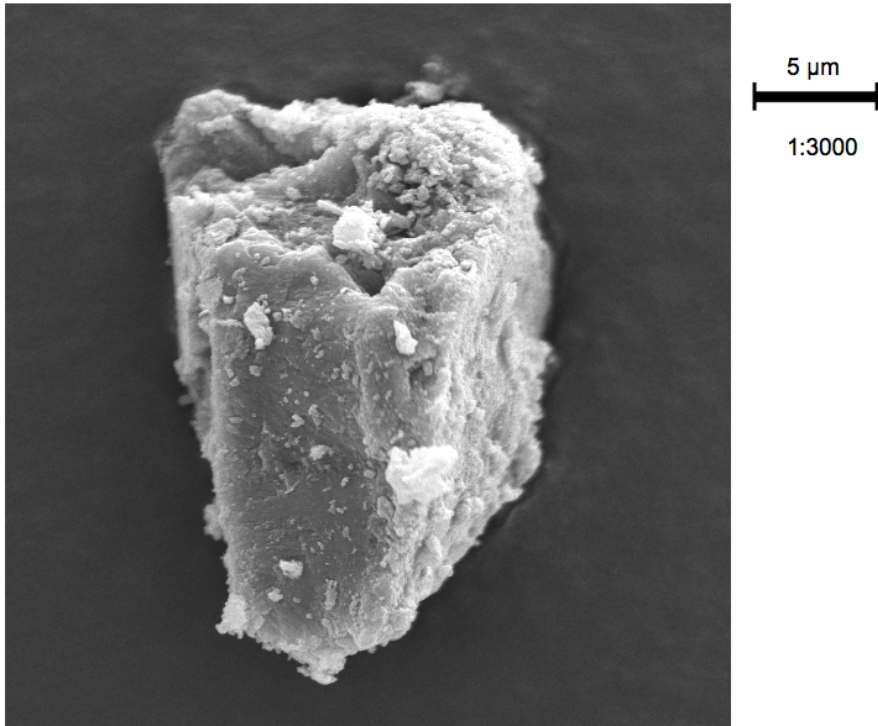


Abbildung 31: Einzelpartikel (Zahnschmelze) mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung

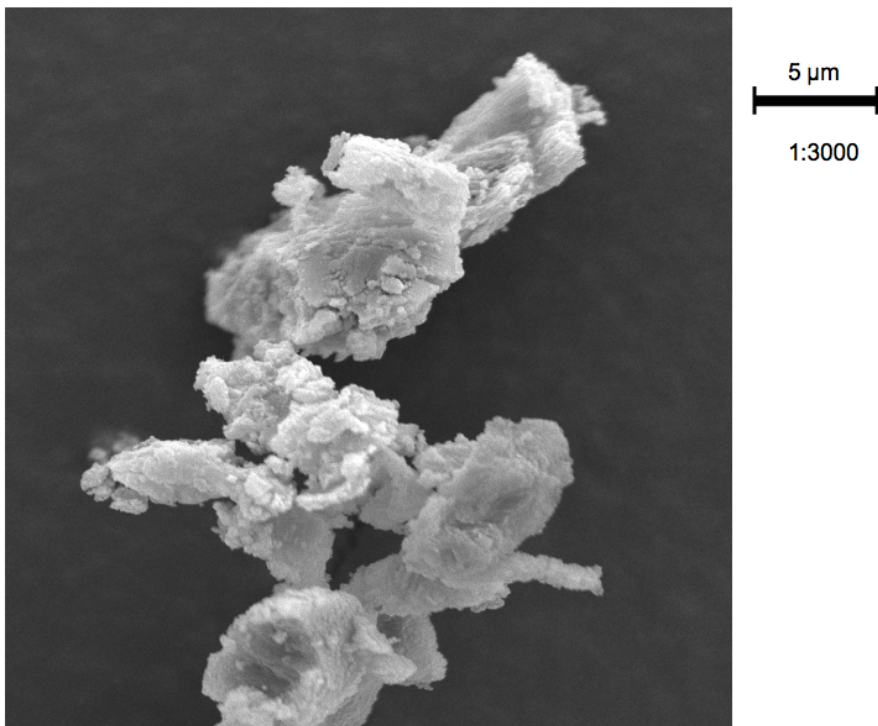


Abbildung 32: Konglomerate, teilweise bestehend aus alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung

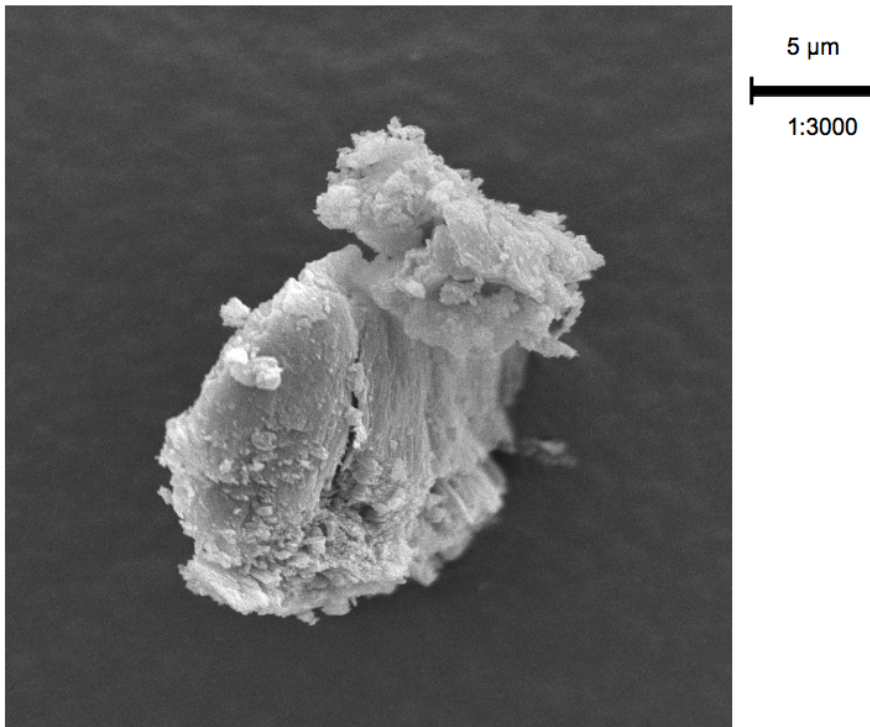


Abbildung 33: Größerer Partikel mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 3000fache Vergrößerung

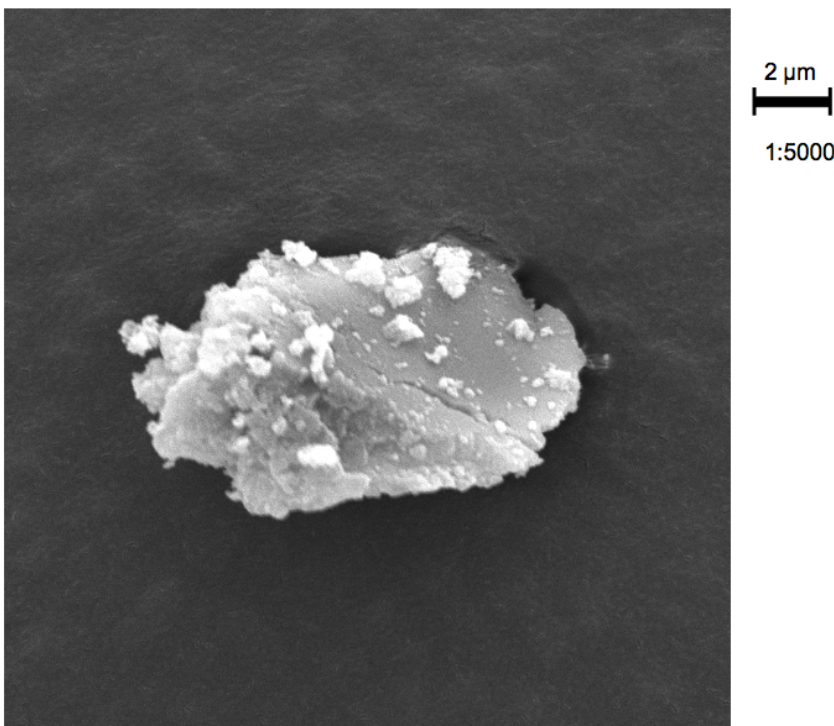


Abbildung 34: Einzelpartikel (Zahnschmelze) mit anhaftenden alveolengängigen Partikeln, 5000fache Vergrößerung

5 Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Emission des Staubes untersucht, der durch das Abschleifen der Zahnhartsubstanzen von Backen-, Haken- und Schneidezähnen des Pferdes mit elektrischen Schleifgeräten entsteht.

Zu diesem Zweck wurden personenbezogene Staubmessungen vor, während und nach den Zahnbehandlungen von 131 Pferden durchgeführt. Bestimmt wurden vergleichend für unterschiedliche Schleifmaterialien und Geräte die Massenkonzentrationen der fünf Größenfraktionen PM1, PM2.5, PM4, PM10 und Gesamtstaub. Emissionsprofile von Einzelmessungen und die alveolengängige Fraktion (PM4) wurden näher betrachtet. Die Morphologie von emittierten Staubpartikeln konnte mittels Rasterelektronenmikroskopie beurteilt werden.

5.1 Verlaufskurven von Einzelmessungen

Am Beispiel von Einzelmessungen bei Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe und Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe konnten Staubemissionsprofile gezeigt werden. Sie waren im Verlaufe der Behandlungen von Unregelmäßigkeit, Schwankungen und extremen Expositionsspitzen gekennzeichnet. So wurde der obere Messbereich (150 mg/m^3) des verwendeten Aerosolmonitors bei 39,3% der Schneidezahnbehandlungen mit Diamanttrennscheibe vorübergehend erreicht.

Die Unregelmäßigkeit der Staubemissionsprofile scheint dadurch bedingt zu sein, dass eine Zahnbehandlung kein automatisiertes Vorgehen darstellt. Es wird empfohlen, dass jeder behandelnde Tierarzt sein eigenes Routinevorgehen entwickeln und anwenden soll, die Auswahl geeigneter Geräte eingeschlossen (DIXON, 2000; SCRUTCHFIELD et al., 1996). Der behandelnde Tierarzt wendete routiniert eine ausführlich beschriebene und systematische Vorgehensweise an (SIMON et al., 2009). Bei jeder Behandlung muss dennoch individuell auf das Einzeltier abgestimmt über Notwendigkeit und Umfang der Korrekturmaßnahmen entschieden werden.

Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte ambulant, weshalb die vor Ort gegebenen äußeren Umstände den Verlauf einer Zahnbehandlung und die damit verbundene Staubentstehung zusätzlich beeinflussen konnten.

5.2 Konzentrationsvergleich der Staubfraktionen

5.2.1 Umgebung

Um einen möglichen Einfluss des Behandlungsumfeldes auf die Ergebnisse abzuschätzen, wurde vor und nach den Zahnbehandlungen die Staubkonzentration der Umgebungsluft erfasst. Der Vergleich zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) bei allen fünf Größenfraktionen mit jeweils höheren Konzentrationen nach der Zahnbehandlung. Eine durchschnittliche Zunahme der Werte von 36,03% wurde ermittelt (vgl. 4.2.1 Abb. 7, Tab. 5). Es liegt nahe, dass für diesen Anstieg die Staubemission während des Abschleifens der Zähne ursächlich ist.

Die Staubentstehung im Rahmen der Zahnbehandlung wird in der Literatur thematisiert, mehrere Autoren empfehlen Schutzmaßnahmen zu ergreifen (BAKER und ALLEN, 2002; BAKER und EASLEY, 2007; BURNETT, 2005; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000; SIMON et al., 2009)

Bei der Beurteilung der Ergebnisse muss beachtet werden, dass aufgrund der variierenden Gegebenheiten des Behandlungsumfeldes neben Zahnstaub auch Fremdstäube die gemessenen Konzentrationswerte beeinflussen konnten.

Als zusätzliche Staubquellen an Mess- und Behandlungsorten müssen Einstreu, Kehren von Hof und Stallgasse sowie die Aufwirbelung von Staub durch Tier- und Personenverkehr in Betracht gezogen werden.

Messtechnisch bedingt konnte nicht zwischen Fremd- und Zahnstaub unterschieden werden.

5.2.2 Behandlungsschritte

Teil der Zielsetzung dieser Arbeit war es, herauszufinden in welchen Größenordnungen Staub bei der Zahnkorrektur mit Schleifgeräten entsteht, da es bisher keine Untersuchungen zu dieser Fragestellung gab (BURNETT, 2005).

Das verwendete Messgerät zeigt Aerosole in fünf Größenfraktionen zwischen $0,1 \mu\text{m}$ und $15 \mu\text{m}$ in mg/m^3 an (TSI Incorporated, 2009a). Die fünf Fraktionen (PM1, PM2.5, PM4, PM10, Gesamtmassenkonzentration) wurden bei den Messungen erfasst. Sie unterschieden sich bei der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe alle

signifikant ($p < 0,05$) voneinander, wohingegen bei der Backenzahnbehandlung mit Wolframkarbidwalzenfräse keine gesicherten Unterschiede zwischen den einzelnen Fraktionen festgestellt werden konnten.

Während der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe sowie der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe und Wolframkarbidkugelfräse zeigten die Fraktionen signifikante Unterschiede mit Ausnahme von PM1 und PM2.5. Insgesamt stellte sich die Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe als Behandlungsschritt mit der geringsten Staubemission heraus (Medianwerte: PM1 mit $0,098 \text{ mg/m}^3$, PM2.5 mit $0,100 \text{ mg/m}^3$, PM4 mit $0,122 \text{ mg/m}^3$, PM10 mit $0,188 \text{ mg/m}^3$ und Gesamtstaub mit $0,220 \text{ mg/m}^3$).

Mit vergleichsweise höheren Staubemissionen verbunden waren die Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe und mit Wolframkarbidwalzenfräse sowie die Schneidezahnbehandlung mit Wolframkarbidkugelfräse. Die höchste Staubbelastung ergab sich bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (Medianwerte: PM1 mit $0,585 \text{ mg/m}^3$, PM2.5 mit $0,617 \text{ mg/m}^3$, PM4 mit $0,827 \text{ mg/m}^3$, PM10 mit $1,56 \text{ mg/m}^3$ und Gesamtstaub mit $1,89 \text{ mg/m}^3$; MHW zwischen $95,731 \text{ mg/m}^3$ (PM1; SEM 7,517) und $109,382 \text{ mg/m}^3$ (Gesamtstaub; SEM 7,134)).

Dies wurde bereits während der Versuchsdurchführung aufgrund der entstehenden dichten Staubwolken vermutet (Abb. 15). Auch die Auswertung der Staubbelastung in Bezug auf einzelne Behandlungen mittels Einzeltiermedianen stimmt mit dieser Einschätzung überein (Tab. 7). Es wurden bei der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe die niedrigsten Werte, bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe die höchsten Werte ermittelt.

Bei der Beurteilung des Behandlungsschrittes mit der geringsten bzw. höchsten Staubemission muss beachtet werden, dass eine unterschiedliche Anzahl an Datenpunkten je Behandlungsart zur Auswertung zur Verfügung stand. Die unterschiedliche Anzahl an Messwerten ergab sich durch Sammeldauer und Log Intervall, die während der Vorversuchsphase festgelegt wurden; die differierende Anzahl der durchgeführten Messungen aufgrund der Notwendigkeit der Behandlungen der jeweiligen Zahnart.

Es wurden für die Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe 120 Werte pro Behandlung ($n = 116$ Behandlungen) und die übrigen Behandlungsschritte jeweils 60 Werte pro Behandlung protokolliert (BZ WF: $n = 24$; HZ DS: $n = 32$; SZ TS: $n = 56$; SZ

KF: n=35).

Die Ergebnisse entsprechen zum Teil den subjektiven Einschätzungen zur Staubentstehung bei den vier beurteilten motorisierten Schleifgeräten an der Royal Dick School of Veterinary Studies, UK (DACRE et al., 2002). Dort wurden keine Staubmessungen durchgeführt und ausschließlich Aussagen über die Geräte getroffen, nicht über die behandelte Zahnart.

Eisenhut und Powerfloat mit starrer Antriebswelle zeigten dort die geringste Staubentstehung (+) bei Verwendung einer Karbidchipschleifscheibe (DACRE et al., 2002). Die Geräte sind vom Typ ähnlich der Schleifmaschine Erbrich Hippodent[®], die bei den Untersuchungen zur Staubbelastung während der Backen- und Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe verwendet wurde. Die mit hoher Staubentwicklung (+++) beurteilte Maschine von Dremel mit flexibler Antriebswelle war mit einem Wolframkarbidfräskopf bestückt (DACRE et al., 2002). In der vorliegenden Arbeit wurden die Wolframkarbidwalzenfräse und -kugelfräse vom Gerät des gleichen Herstellers angetrieben und es wurden höhere Messwerte erfasst als für die Behandlungen mit der Schleifmaschine Erbrich Hippodent[®]. Le Claire (Diamantfräskopf), die vom Typ der Maschine von Dremel entspricht, zeigte die höchste Staubentstehung (++++) an der Royal Dick School (DACRE et al., 2002).

Bei der Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe (angetrieben durch das Gerät Dremel) stellte sich ebenfalls die höchste Belastung heraus.

Die Messergebnisse während der Backenzahnbehandlung waren vergleichsweise gering mit mittleren Höchstwerten von 4,754 mg/m³ (PM1; SEM 0,351), 5,398 mg/m³ (PM2.5; SEM 0,593), 5,792 mg/m³ (PM4; SEM 0,394), 10,110 mg/m³ (PM10; SEM 0,700) und 12,111 mg/m³ (Gesamtstaub; SEM 0,897). Hier scheint die Auswahl von Schleifgerät und -material unter anderem eine ursächliche Rolle zu spielen.

Durch die Schleifarbeiten an Backenzähnen, die im Vergleich zu den anderen Behandlungsschritten im hinteren Bereich des Mauls stattfinden, kann es möglich sein, dass Anteile des Staubes bereits durch Speichel gebunden werden und an der Maulschleimhaut haften bleiben. Dadurch wurde gegebenenfalls eine geringere Menge luftgetragener Partikel vom Messgerät erfasst als bei anderen Behandlungsschritten.

5.3 Alveolengängige Fraktion

Zur Beurteilung der Staubbelastung im Arbeitsbereich von Tierärzten, die Pferde Zahnbehandlungen durchführen, sollten die ermittelten Messwerte mit Arbeitsplatzgrenzwerten verglichen werden.

Grenzwerte sind für die alveolengängige und einatembare Fraktion festgelegt (DFG, 2009; PFLAUMBAUM et al., 2009; TRGS 900, 2006). Die Konventionen für die alveolengängige und einatembare Fraktion sind seit 1993 in einer EU Norm genau definiert (DIN EN 481, 1993). Um die Situation am Arbeitsplatz beurteilen zu können, werden auserwählte Messgeräte empfohlen (BERGES, 2002; BESCHORNER, 2009), von denen in der vorliegenden Studie jedoch keines zur Anwendung kam. Hier sollte in Echtzeit über die jeweilige Dauer (1-4 min) der Behandlung ein Überblick über die Verteilung der unterschiedlichen Größenfraktionen geschaffen werden. Diese Kriterien erfüllte der verwendete Aerosolmonitor und erschien daher am besten geeignet (TSI Incorporated, 2009a; TSI Incorporated, 2009b).

Das Gerät ist mit einem 10 Millimeter Nylon Dorr-Oliver Cyclone bestückt, der zur Erfassung von A-Staub (respirable) geeignet ist (GÖRNER et al., 2001; MÖHLMANN, 2010; TSI Incorporated, 2010). Die von dem Messgerät ebenfalls erfasste Größenfraktion "total mass concentration" (total dust) ist keine einheitliche Größe und entspricht nicht der E-Fraktion (DFG, 2009; MÖHLMANN, 2010). Daher wurde auf den Vergleich dieser Größenfraktion mit Grenzwerten verzichtet.

Arbeitsplatzgrenzwerte sollen nicht angewendet werden auf Stäube, von denen unter anderem krebserzeugende Wirkungen zu erwarten sind. Eine Einhaltung der Grenzwerte schließt eine Gesundheitsgefährdung nur dann aus, wenn keine krebserzeugende Wirkungen zu erwarten sind (DFG, 2009; TRGS 900, 2006). Einige Autoren beschreiben den Zahnstaub bei der Zahnbehandlung des Pferdes als potentiell kanzerogen, jedoch ohne Hinweise auf Quellen oder Studien, die dies belegen (BAKER und ALLEN, 2002; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000).

Die Überschreitung der Grenzwerte für die A-Fraktion wurde als Anteil (in %) der Messwertanzahl ermittelt, um einen Anhaltspunkt für die Arbeitsplatzsituation während der Zahnbehandlung zu haben. Dabei überschritten bei der Behandlung mit der geringsten Emissionsrate (Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe)

7,92% der Werte den MAK-Wert und 2,72% den Allgemeinen Staubgrenzwert (Höchstwert von 27,3 mg/m³). Bei der Behandlung mit der höchsten Staubemission (Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe) lagen 43,10% über dem MAK-Wert und 35,54% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert (Höchstwert 150 mg/m³). Es muss einschränkend erwähnt werden, dass hier keine Schichtmittelwerte für einen 8-Stunden-Arbeitstag bestimmt werden konnten, wie sie grundsätzlich zur Beurteilung der Staubkonzentrationen am Arbeitsplatz herangezogen werden (PFLAUMBAUM et al., 2009; TRGS 900, 2006).

Die Sammeldauer verlief über über die Zeitspanne der jeweiligen Behandlung und betrug damit 1 - 4 min. Expositionsspitzen mit Höchstwerten von 150 mg/m³ (das 50- bzw. 100fache der vorgegebenen Grenzwerte) traten dabei nur für Sekunden auf. Dies ist aus den hohen Schwankungsbereichen im Emissionsprofil der Einzelmessungen zu erkennen.

Auch die Auswertung der Staubentwicklung der LBG NRW zur Rinderklauenpflege basierte auf behandlungsüblichen Zeiträumen und nicht auf Schichtmittelwerten. Dies machte ebenfalls nur einen eingeschränkten Vergleich mit Grenzwerten möglich (LBG NRW, 2010).

5.4 Rasterelektronenmikroskopie

Die Partikel aus den Staubproben stellten sich rasterelektronenmikroskopisch in unterschiedlicher Gestalt dar. Es waren lungengängige (<4 µm) sowie größere, nicht lungengängige Partikel zu sehen. Sie kamen einzeln oder als Konglomerate vor. GÖHLER (2004) stellte im Rahmen einer Untersuchung der Gefährdung von Zahntechnikern durch lungengängige Stäube rasterelektronenmikroskopisch verschiedene Staubarten sowie den Abrieb von Schleif- und Poliermaterialien dar. Es wurden unter anderem lungengängige Partikel gefunden; diesen dienten größere Partikel häufig als Vehikel oder die Staubpartikel erschienen verbacken und verschmolzen. In dieser Konstellation wurden die lungengängigen Partikel als potentiell ungefährlich eingestuft. Dies könnte für die Konglomerate, die im Rahmen dieser Arbeit abgebildet wurden, ebenfalls zutreffen. Es kann auch vergleichbar der Studie zur Gefährdung der Zahntechniker davon ausgegangen werden, dass es sich bei den untersuchten Proben um eine Mischung aus Zahnstaub, Fremdstaub, Mikroorganismen und Geräteverschleiß handelt. Faserstäube, die kanzerogenes

Potential besitzen, wurden in den zu Untersuchung vorliegenden Proben nicht entdeckt.

Dies könnte die Behauptung einiger Autoren (BAKER und ALLEN, 2002; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000), dass Zahnstaub potentiell kanzerogen sei, in Frage stellen. Eine genaue Differenzierung der Substanzen durch Zuordnung zu Behandlungsart und Gerätetyp durch verbesserte Methodik der Staubsammlung könnte in Zukunft ein weiteres Gebiet von Interesse sein.

5.5 Methodenkritik und weiterer Forschungsbedarf

Um das erlangte Wissen über die Staubsituation am Arbeitsplatz während der Pferde Zahnbehandlung zu vertiefen, könnten weitere Untersuchungen vorgenommen werden, bei denen die im Folgenden genannten Punkte in Bezug auf die Methodik bedacht werden sollten.

Für einen Vergleich der A- und E- Fraktion des entstehenden Zahnstaubes mit Grenzwerten, sollten Messgeräte verwendet werden, die die Fraktionen erfassen wie sie nach DIN EN 481 definiert sind. Hierzu gibt es einige Vorgaben (BERGES, 2002; BESCHORNER, 2009).

Empfehlenswert wären Messungen an einem Ort und über eine längere Dauer (8-Stunden-Tag), die die Ermittlung von Schichtmittelwerten ermöglichen. So wäre es ebenfalls möglich festzustellen, ob kurzzeitige Konzentrationsspitzen mit dem Überschreitungsfaktor 2, die als 15-Min-Mittelwert erlaubt sind, eingehalten werden können (PFLAUMBAUM et al., 2009; TRGS 900, 2006).

Bei der Durchführung von Untersuchungen in einem geschlossenen Raum wären einwirkende äußere Faktoren wie Klima, Zugluft oder Fremdstaub besser einzuschätzen und regulierbar. Allerdings muss beachtet werden, dass die Arbeitsplatzsituation eines auf Zahnheilkunde spezialisierten Tierarztes mit Behandlungen an unterschiedlichen Orten zu verschiedenen Bedingungen dem Alltag entspricht. Die hier aufgeführten Untersuchungen sollten die Arbeitsplatzsituation praxisnah widerspiegeln.

In dieser Arbeit lag der Fokus auf der Erfassung von Staub während unterschiedlicher Behandlungsschritte mit differierenden Schleifmaterialien und -geräten. Ein weiterer Untersuchungsansatz wäre die Ermittlung der Staubemission über den gesamten Zeitraum einer Zahnbehandlung ungeachtet der Verwendung verschiedener Materialien; gefolgt von Betrachtung der Verlaufskurven in Bezug auf anhaltend erhöhte Staubkonzentration oder Konzentrationsschwankungen in der Behandlungsumgebung.

Untersuchungen der Staubemission während Zahnbehandlungen unter Zuhilfenahme von Absauge- und Spülvorrichtungen würden die Wirksamkeit dieser Schutzvorrichtungen prüfen und gegebenenfalls bestätigen.

5.6 Schlussfolgerungen und Empfehlung für Tierärzte

Bei allen Behandlungsschritten zeigten sich kurzzeitig über die Dauer von wenigen Sekunden sehr hohe Expositionsspitzen. Diese wären gemittelt über den Zeitraum einer Arbeitsschicht von acht Stunden eventuell unbedeutend.

Als Problembereich mit der Entwicklung von teils hohen Staubkonzentration werden unter anderem Arbeitsplätze genannt, die nicht stationär sind. An solchen Arbeitsplätzen wird Atemschutz empfohlen (BARIG und BLOME, 1999). Es empfiehlt sich aufgrund der schwierigen Überwachung des Arbeitsplatzes und der variierenden Arbeitsbedingungen während Pferde Zahnbehandlungen in jedem Fall Atemschutzmasken zu tragen. Die Empfehlung sollte auch für assistierende Personen gelten, die sich im direkten Arbeitsumfeld aufhalten.

Mehrere Autoren legen Tierärzten grundsätzlich das Tragen von Schutzmasken beim Abschleifen der Zähne nahe (BAKER und ALLEN, 2002; BAKER und EASLEY, 2007; DACRE et al., 2002; DIXON, 2000; SIMON et al., 2009).

Atemmasken mit Schutz gegen 95% Partikelaerosole empfiehlt BURNETT (2005) für die Zahnbehandlung beim Pferd. Dies entspricht partikelfiltrierenden Halbmasken der Schutzstufen FFP 2 (94% Abscheidewirkung) oder FFP 3 (99% Abscheidewirkung). Diese sollten möglichst über ein Ausatemventil verfügen und nach jeder Arbeitsschicht gewechselt werden. Zusätzlich dienen sie dem Schutz vor luftgetragenen biologischen Arbeitsstoffen (DGUV, 2009; DRELLER et al., 2006). Auch aus diesem Grund sind sie für den Praktiker empfehlenswert, da die Frage der

Belastung durch staubgebundene Mikroorganismen der Pferdemauf flora bisher nicht ausreichend geklärt ist. FFP 3 schützt auch vor kanzerogenen Partikeln (DGUV, 2009) und ist somit wohl die empfehlenswerteste Schutzstufe.

Eine Weiterentwicklung und vermehrte Anwendung von Zahnschleifgeräten mit Vakuumabsaugung oder Spüleinheit, die unter anderem von BAKER und EASLEY (2007) erwähnt werden, ist wünschenswert.

Die gesundheitliche Belastung durch Staub während der Zahnbehandlung für das behandelte Pferd wird insofern als verhältnismäßig gering eingeschätzt, da eine Routinezahnbehandlung nur einmal jährlich durchgeführt wird. Man kann davon ausgehen, dass andere Staubquellen im Umfeld eines Pferdes mehr Einfluss auf den Atemtrakt des Pferdes haben, wobei dieses Kriterium bisher nicht näher untersucht wurde.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Staubemission bei der Pferdezahnbearbeitung mit elektrischen Schleifgeräten untersucht. Konzentration und Verteilung verschiedener Staubgrößenfraktionen wurden ermittelt. Anhand rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen konnte die Staubmorphologie beurteilt werden.

Zur Messung von 131 Zahnbehandlungen diente ein Echtzeitlaserphotometer, das die 5 Größenfraktionen PM1 (Particulate Matter), PM2.5, PM4, PM10 und Gesamtmassenkonzentration erfasste. Die Datenerhebung fand an wechselnden Orten statt. Die Probenahme erfolgte personenbezogen im Arbeitsbereich des behandelnden Tierarztes mit einem Abstand von 0,25 m zum Pferdemaul vor und nach den Zahnbehandlungen sowie während der Behandlungsschritte an Backenzähnen, Hakenzähnen und Schneidezähnen. Verwendete Instrumente für die Zahnbehandlungsschritte waren Diamantschleifscheibe, Wolframkarbidwalzenfräse, Diamanttrennscheibe und Wolframkarbidkugelfräse.

Bei der Betrachtung der Emissionsprofile von Einzelmessungen zeichneten sich keine regelmäßigen Verlaufskurven ab. Auffallend waren hohe Expositionsspitzen bis zu 150 mg/m^3 , die bei 39,3% der Schneidezahnbehandlungen mit Diamanttrennscheibe erreicht wurden.

Die an den Behandlungsorten vor und nach den Zahnbehandlungen ermittelten Staubkonzentrationen der Umgebungsluft wurden miteinander verglichen. Mit medianen Messwerten nach der Behandlung von $0,052 \text{ mg/m}^3$ (PM1), $0,053 \text{ mg/m}^3$ (PM2.5), $0,058 \text{ mg/m}^3$ (PM4), $0,087 \text{ mg/m}^3$ (PM10) und $0,110 \text{ mg/m}^3$ (Gesamtstaub) zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg ($p < 0,05$) aller Größenfraktionen von durchschnittlich 36,03%.

Die Auswertung der Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe und Wolframkarbidwalzenfräse, Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe sowie Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe und Wolframkarbidkugelfräse ergab zum Teil signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Größenfraktionen, die bei den einzelnen Behandlungsschritten variierten. Die Staubkonzentrationen der Fraktionen

wurden in Bezug auf die Gesamtzahl der Behandlungen und Einzeltierbehandlungen ausgewertet. Die geringste Staubemission stellte sich bei der Hakenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe heraus. Median-/Einzeltiermedianwerte in mg/m^3 : 0,098/0,076 (PM1), 0,100/0,079 (PM2.5), 0,122/0,115 (PM4), 0,188/0,153 (PM10), 0,220/0,173 (Gesamtstaub).

Die Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe wurde bereits während der Untersuchungen als Behandlungsschritt mit der höchsten Staubemission eingeschätzt, was die Messergebnisse bestätigten. Median/Einzeltiermedianwerte in mg/m^3 : 0,585/0,611 (PM1), 0,617/0,660 (PM2.5), 0,827/0,936 (PM4), 1,560/1,668 (PM10), 1,890/2,245 (Gesamtstaub). Dieser Behandlungsschritt war von mittleren Höchstwerten gekennzeichnet, die zwischen $95,731 \text{ mg}/\text{m}^3$ (PM1) und $109,382 \text{ mg}/\text{m}^3$ (Gesamtstaub) lagen.

Die alveolengängige Fraktion (PM4) wurde mit Arbeitsplatzgrenzwerten verglichen. Zu diesem Zweck wurde der Anteil (in %) der Messpunkte herangezogen, der die Grenzwerte überstieg. Hier stellte die Backenzahnbehandlung mit Diamantschleifscheibe die Behandlung mit dem geringsten Anteil von grenzwertübersteigenden Messpunkten dar. Es lagen 7,92% der Werte über dem MAK-Wert ($1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$) und 2,72% über dem Allgemeinen Staubgrenzwert ($3 \text{ mg}/\text{m}^3$). Bei der Behandlung mit der höchsten Staubemission (Schneidezahnbehandlung mit Diamanttrennscheibe) überstiegen 43,10% den MAK-Wert und 35,54% den Allgemeinen Staubgrenzwert. Höchstwerte lagen zwischen 27,3 und $150 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der gesammelten Staubproben zeigten eine Polymorphie der Partikel, die einzeln oder als Konglomerate auftraten. Bei den Staubproben handelte es sich um Mischstäube. Es waren alveolengängige Partikel zu sehen, deren Form unbedenklich erschien.

Die Ergebnisse bestätigen, dass für Tierärzte, die Zahnbehandlungen mit elektrischen Schleifgeräten durchführen, die Anwendung von Atemschutz in jedem Fall empfehlenswert ist. Tierärzte und assistierende Personen sollten partikelfiltrierende Halbmasken mit Ausatemventil mindestens der Schutzstufe FFP 2, im besten Fall der Schutzstufe FFP 3 tragen.

7 Summary

Dust emission during dental treatment of horses using power grinding instruments

In this work the dust emission during equine dental treatment with power grinding instruments has been investigated. Concentration and distribution of different dust size fractions have been determined. The dust morphology has been evaluated on the basis of scanning electron microscopic examination.

A real-time laser photometer, which is simultaneously measuring mass concentrations of 5 size fractions PM1 (particulate matter), PM2.5, PM10 and Total PM, has been used for the measurement of 131 dental treatments. Data collection took place at changing locations. Dust has been sampled in the working area of the treating veterinarian at a distance of 0.25 m to the equine mouth before and after dental treatment as well as during treatment steps on cheek teeth, canine teeth and incisor teeth. Instruments for the corrective teeth procedures were diamond grinding disk, tungsten carbide cylindrical burr, diamond cut-off wheel and tungsten carbide ballpoint burr.

Emission profiles of single measurements showed no regularity over the course of time. High exposition peaks up to 150 mg/m³ have been remarkable. 39.3% of the incisor teeth treatments with diamond cut-off wheel reached this value.

Dust concentrations of the ambient air, which were determined at treatment locations before and after dental treatment, have been compared with one another.

Median values after treatment of 0.052 mg/m³ (PM1), 0.053 mg/m³ (PM2.5), 0.058 mg/m³ (PM4), 0.087 mg/m³ (PM10) and 0.110 mg/m³ (Total PM) have been characterised by a statistically significant increase ($p < 0.05$) of all size fractions, which meant an average increase of 36.03%.

The evaluation of cheek teeth treatment with diamond grinding disk and tungsten carbide cylindrical burr, canine teeth treatment with diamond grinding disk, incisor teeth treatment with diamond cut-off wheel and tungsten carbide ballpoint burr

resulted in significant differences ($p < 0.05$) of some size fractions, which varied between different treatment steps. Concerning the total number of treatments as well as individual treatments the mass concentrations of dust size fractions have been analysed. Canine teeth treatment with diamond grinding disk turned out to be the treatment step with the lowest dust emission. Median values/individual horse median values in mg/m^3 : 0.098/ 0.076 (PM1), 0.100/0.079 (PM2.5), 0.122/0.115 (PM4), 0.188/0.153 (PM10), 0.220/0.173 (Total PM).

During the experimental period incisor teeth treatment with diamond cut-off wheel already has been estimated as treatment step with the highest dust emission. Measurement results confirmed this estimation. Median values/individual horse median values in mg/m^3 : 0.585/0.611 (PM1), 0.617/0.660 (PM2.5), 0.827/0.936 (PM4), 1.560/1.668 (PM10), 1.890/2.245 (Total PM). This treatment step was marked by mean maximum values, which laid between 95.731 mg/m^3 (PM1) and 109.382 mg/m^3 (Total PM).

PM4 values (respirable dust) have been compared with MAK- and AGS-limit values. For this purpose the percentage of measured data, that exceeded the limit values, has been evaluated. Cheek teeth treatment with diamond grinding disk was the treatment step with the smallest amount of measured data over limit values. 7.92% of measured data exceeded the MAK-limit value, 2.72% the AGS-limit value. During the treatment step with the highest dust emission (incisor teeth treatment with diamond cut-off wheel) 43.10% of measured data exceeded the MAK-limit value, 35.54% the AGS-limit value. Maximum values ranged from 27.3 to 150 mg/m^3 .

Electron microscope images of sampled dust showed polymorphic particles, which occurred solitary and conglomerate. Dust samples have been mixture dusts. Respirable particles have been found, their shape was harmless.

Research results confirm the recommendation for respiratory protection during equine dental treatment with power grinding instruments.

Filtering half masks with exhalation valve of class FFP 2 or in the best case of class FFP 3 should be worn by veterinarians and their assistants.

8 Anhang

Pferd	Besitzer/Ort	Fallnummer		
Datum/Uhrzeit				
Messung	Dauer (min)	Intervall (s)	Testbezeichnung u. Nummer	Bemerkungen
Umg. v. B.	3	10		
BZ mit DS	4	2		
BZ mit WF	1	1		
HZ mit DS	1	1		
SZ mit TS	1	1		
SZ mit KF	1	1		
Umg. n. B.	3	10		

Abstand bei allen Messungen 0,25 m

Haltung	Box <input type="checkbox"/>	Paddockbox <input type="checkbox"/>	Offenstall/Laufstall <input type="checkbox"/>	Koppel <input type="checkbox"/>
Einstreu	Stroh <input type="checkbox"/>	Sägespäne <input type="checkbox"/>	Hackschnitzel <input type="checkbox"/>	
Fütterung	Heu <input type="checkbox"/>	Stroh <input type="checkbox"/>	Heu-/Grascobs <input type="checkbox"/>	Kraffutter/Hafer <input type="checkbox"/>
	Mash <input type="checkbox"/>			

Abkürzungen

BZ	Backenzähne	DS	Diamantschleifscheibe
HZ	Hakenzähne	KF	Kugelfräse (Wolframkarbid)
n. B.	Behandlung	SZ	Schneidezähne
TS	Trennscheibe (Diamant)	Umg	Umgebung
v. B.	vor Behandlung	WF	Walzenfräse (Wolframkarbid)

Abbildung 35: Falldokumentationsbogen

BEFUNDBOGEN

Besitzer _____ Datum _____ Anamnese / Befunde / Anweisungen / Nachbehandlung _____
 _____ Patientenname _____
 _____ Signalement _____
 _____ Sedation _____

The dental chart consists of two main sections for the upper (maxillary) and lower (mandibular) arches. Each section includes a horizontal line representing the dental arch, with vertical lines indicating the position of each tooth. Above and below the arch lines are the corresponding tooth numbers and their anatomical abbreviations. The upper arch section includes diagrams of the teeth from a lingual and buccal perspective. The lower arch section includes diagrams from a lingual and buccal perspective. The tooth numbers and abbreviations are as follows:

Upper Arch	Lower Arch
M3, M2, M1, P4, P3, P2, P1, C, I3, I2, I1, I1, I2, I3, C, P1, P2, P3, P4, M1, M2, M3	M3, M2, M1, P4, P3, P2, P1, C, I3, I2, I1, I1, I2, I3, C, P1, P2, P3, P4, M1, M2, M3
506, 505, 504, 104, 103, 102, 101, 201, 202, 203, 204, 604, 605, 606, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211	806, 805, 804, 404, 403, 402, 401, 301, 302, 303, 304, 704, 705, 706, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311

Below the dental chart are four cross-section diagrams for clinical assessment:

- Okklusion** (Occlusion): re | li
- Endodontie** (Endodontics): re | li
- Parodontium** (Parodontium): re | li
- Schneide-/Hengst-Wolfszähne** (Canine/Carnassial teeth): re | li

Abbildung 36: Befundbogen mit freundlicher Genehmigung nach SIMON et al. (2009)

9 Literaturverzeichnis

Baker GJ (1991). Dental Morphology, Function and Pathology. Proceedings of the 37th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Francisco/USA, 83-93.

Baker GJ, Allen ML (2002). The Use of Power Equipment in Equine Dentistry. Proceedings of the 48th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Orlando/USA, 438-441.

Baker GJ, Easley J (2007). Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 2. Auflage. Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München. ISBN 978-3-437-57740-6.

Barig A, Blome H (1999). Allgemeiner Staubgrenzwert Teil 2: Arbeitsplatzexposition, Aspekte der praktischen Umsetzung. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 59, Nr. 11/12: 409-417. ISSN 0949-8036.

Bartmann CP, Bienert-Zeit A, Fahrenkrug P, Nowak M, Stelzer P, Vogt C, Schüle E (2010). Empfehlungen zur klinischen Nomenklatur und Befunddokumentation in der Zahnheilkunde des Pferdes. Der Praktische Tierarzt 91(9): 768-771. ISSN 0032-681X.

Becker E (1945). Das Ergebnis von 30 000 Zahnuntersuchungen bei Truppenpferden. Zschr Veterinärk 1: 32-36.

Becker E (1970). Zähne. In: Joest E (Hrsg.). Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. 3. Auflage, Band V. Paul Parey Verlag, Berlin/Hamburg, 83-235. ISBN 3-4897-2518-2.

Berges M (2002). Messtechnik für Stäube. BIA/BG-Symposium Allgemeiner Staubgrenzwert. Berufsgenossenschaftliche Akademie - BGA, Hennef/Sieg, 2002, http://www.dguv.de/ifa/de/vera/2002/staub/beitraege/berges_f.pdf (Datum des Zugriffs: 13. Juli 2010).

Beschorner F (2009). Staubmesssysteme. Seminar Staubbekämpfung am Arbeitsplatz. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Würzburg, 28./29.05.2009.

BG BAU - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2001). MAK-Werte-Liste und staatliche Grenzwerte. aus: Gefahrstoffe beim Bauen, Renovieren und Reinigen. GISBAU, Frankfurt/M, 2001, http://www.gisbau.de/BUCH/05_1.HTM (Datum des Zugriffs: 13. Oktober 2010).

Brigham EJ, Duncanson GR (2000). An equine postmortem dental study: 50 cases. Equine vet Educ 12(2): 59-62. ISSN 0957-7734.

Burnett, KM (2005). Equine Dentistry: Safety Considerations for Practitioners. Clin Tech Equine Pract 4: 120-123.

Caldwell LA (2006). Canine Teeth in the Equine Patient - The Guide to Eruption, Extraction, Reduction and Other Things You Need to Know. Equine Dentistry, Focus Meeting of the American Association of Equine Practitioners, Indianapolis/USA, 47-55.

Carmalt J, Rach D (2003). Equine Dentistry - Moving into the 21st Century. Department of Large Animal Clinical Sciences, Western College of Veterinary Medicine, University of Saskatchewan/Canada, 2003, http://www.larounds.ca/crus/laveng_0503.pdf (Datum des Zugriffs: 09.Juli 2010).

Dacre IT (2006). Physiology of Mastication. Equine Dentistry, Focus Meeting of the American Association of Equine Practitioners, Indianapolis/USA, 15-20.

Dacre KJP, Dacre IT, Dixon PM (2002). Motorised equine dental equipment. Equine vet Educ 14(5): 263-266. ISSN 0957-7734.

DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft (2009). MAK- und BAT- Werte-Liste 2009. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstoff-toleranzwerte. Mitteilung 45 der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe vom 1. Juli 2009. WILEY-VCH Verlag, Weinheim. ISBN 978-3-527-32595-5.

DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2009). Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“. BGR/GUV-R 190, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Regel: Benutzung von Atemschutzgeräten. November 2009.

DIN EN 481, Norm von September 1993. Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel, Deutsche Fassung. Beuth Verlag, Berlin.

Dixon PM (2000). Removal of equine dental overgrowths. Equine vet Educ 12 (2): 68-81. ISSN 0957-7734.

Dixon, PM (2003). The Aetiology, Diagnosis and Current Therapy of Developmental and Acquired Equine Dental Disease. 8th Congress on Equine Medicine and Surgery, 2003, Geneva/Switzerland.

Dixon PM, Tremaine WH, Pickles K, Kuhns L, Hawe C, McCann J, McGorum BC, Railton DI, Brammer S (2000). Equine dental disease Part 3: a long-term study of 400 cases: disorders of wear, traumatic damage and idiopathic fractures, tumours and miscellaneous disorders of the cheek teeth. Equine vet J 32(1): 9-18. ISSN 0957-7734.

Dreller S, Jatzwauk L, Nassauer A, Paszkiewicz P, Tobys HU, Rüden H (2006). Zur Frage des geeigneten Atemschutzes vor luftübertragenen Infektionserregern. Gefahrstoffe-Reinhaltung Luft 66, Nr. 1/2: 14-24. ISSN 0949-8036.

Duwe K, Beck B, Ducke G, Hiller R, Peter S, Schulz P, Thürmer H, Werner I (1990). Staub am Arbeitsplatz: Messung, Bewertung, Bekämpfung. 1. Auflage, Tribüne Verlag, Berlin. ISBN 3-7303-0378-3.

Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (1991). Zahnwachstum und Kauapparat. In: Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (Hrsg.). Anatomie der Haustiere. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 520-522. ISBN 3-432-98631-9.

Easley J (2004). Equine Canine and First Premolar (Wolf) Teeth. 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Denver/USA, 13-18.

Eisenmenger E, Zetner K (1982). Tierärztliche Zahnheilkunde. Paul Parey Verlag, Berlin/Hamburg. ISBN 3-489-63116-1.

Engelke E, Schnapper A (2003). Zum Bau der Pferde Zähne. Pferdespiegel 2: 20-23. ISSN 1860-3203.

Floyd MR (1991). The modified Triadan system: nomenclature for veterinary dentistry. J Vet Dent 8 (4): 18-19. ISSN 0898-7564.

GefStoffV - Gefahrstoffverordnung. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S 3758), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S 2768).

Göhler J (2004). Gefährdung von Zahntechnikern durch lungengängige Stäube bei der Bearbeitung von Verblendkompositen in der Zahnmedizin. Diss. med. dent., Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Görner P, Wrobel R, Micka V, Skoda V, Denis J, Fabries JF (2001). Study of Fifteen Respirable Aerosol Samplers Used in Occupational Hygiene. Ann occup Hyg Vol 45 (1): 43-54. ISSN 0003-4878.

Herold I, Simon T (2010a). Die Untersuchung der Maulhöhle. Der praktische Tierarzt 91 (Suppl. 3): 4-10. ISSN 0032-681X.

Herold I, Simon T (2010b). Fehlerhafte Abnutzung des Gebisses. Der praktische Tierarzt 91 (Suppl. 3): 19-28. ISSN 0032-681X.

Johnson TJ (2003). Correction of Common Dental Malocclusions with Power Instruments. In: Robinson NE (Hrsg.). Current Therapy in Equine Medicine 5. Saunders, USA, 81-87. ISBN 978-0721695402.

Keller H (2009). Zahnerkrankungen des Pferdes. Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover. ISBN 978-3-89993-048-1.

LBG NRW, Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft Nordrhein-Westfalen (2010). Klauenpflege belastet Atemwege. TOP AGRAR Heft 6, Spezialprogramm Rindviehhaltung: R19.

Leue G (1941). Beziehungen zwischen Zahnanomalien und Verdauungsstörungen beim Pferd unter Heranziehung von Kaubildern. Diss. vet. med., TiHo Hannover.

LGL Bayern - Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2007). Verhalten, Vorkommen und gesundheitliche Aspekte von Feinstäuben in Innenräumen. Band 17 der Schriftenreihe. ISBN 978-3-939652-45-8

Mattenklott M, Höfert N (2009). Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt - Vergleich der Begriffsbestimmungen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 69, Nr. 4: 127-129. ISSN 0949-8036.

Memedi S (2007). Die Häufigkeit der Hakenzahnerkrankungen bei Pferden. Diss. vet. med., FU Berlin.

Möhlmann C (2010). Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Referat 3.1: Expositionsbewertung, pers. Mitteilung (September 2010).

Müller H (1986). Krankheiten der Zähne. In: Silbersiepe E, Berge E, Müller H (Hrsg.). Lehrbuch der Speziellen Chirurgie für Tierärzte und Studierende. 16. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 91-96. ISBN 3-432-85206-1.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (2004). Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 2: Eingeweide, 9. Auflage, Parey Verlag, Stuttgart. ISBN 3-8304-4152-5.

Pflaumbaum W (2008). Der Allgemeine Staubgrenzwert. Festlegungen, Geltungsbereich, allgemeine Hinweise. In: Institut für Arbeitsschutz der DGUV. Blome H, Reinert D (Hrsg.). Messung von Gefahrstoffen. BGIA-Arbeitsmappe, 41. Lieferung X/08. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Kennzahl 0412/1. ISBN 978-3-503-02085-0.

Pflaumbaum W, Blome H, Kleine H (2009). Gefahrstoffliste 2009. Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BGIA-Report 1/2009, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin, http://www.dguv.de/ifa/de/pub/rep/pdf/reports2009/biar0109/rep2009_01_ado3.pdf (Datum des Zugriffs: 18. Mai 2010).

Rucker BA (2004). Incisor and Molar Occlusion: Normal Ranges and Indications for Incisor Reduction. Proceedings of the 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Denver/USA, 7-12.

Scrutchfield, WL (1991). Incisors and Canines. Proceedings of the 37th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Francisco/USA, 117-121.

Scrutchfield WL, Johnson TJ (2006a). Corrective Procedures for Cheek Teeth. Proceedings of the North American Veterinary Conference, Vol. 20, Orlando/USA, 222-225.

Scrutchfield WL, Johnson TJ (2006b). Corrective Procedures for Incisors. Proceedings of the North American Veterinary Conference, Vol. 20, Orlando/USA, 226-227.

Scrutchfield WL, Schuhmacher J, Martin TM (1996). Correction of Abnormalities of the Cheek Teeth. Dentistry: In-Depth Seminar. American Association of Equine Practitioners, Vol. 42, 11-21.

Simhofer H, Zetner K (2006). Krankheiten der Mundhöhle, der Zähne, der Zunge und der Kiefer. In: Dietz O, Huskamp B (Hrsg.). Handbuch Pferdepraxis. 3. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart, 380-412. ISBN 3-8304-1028-X.

Simon T, Herold I, Schlemper H (2009). Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes. Parey Verlag, Stuttgart. ISBN 978-3-8304-4178-6.

Stubbs RC (2004). Dentistry of Equine Cheek Teeth. Proceedings of the 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Denver/USA, 1-6.

Tremaine H (1997). Dental care in horses. In Practice 19: 186-199.

TRGS 900 - Technische Regeln für Gefahrstoffe von Januar 2006. Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausschuss für Gefahrstoffe, zuletzt geändert und ergänzt GMBI 2010 Nr. 34S. 746-747 (v. 21.6.2010).

TSI Incorporated (2009a). Modelle 8533 und 8534 DUST TRAK DRX Aerosolmonitor Bedienungs- und Wartungsanleitung. TSI Incorporated, Minnesota/USA, 2009, http://tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Manuals/8533-8534-DustTrak_DRX-German-6001901-web.pdf (Datum des Zugriffs: 2. August 2009).

TSI Incorporated (2009b). Modelle 8533 und 8534. TSI Incorporated, Minnesota/USA, 2009, http://tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Spec_Sheets/DustTrak-DRX-6001984-German_web.pdf (Datum des Zugriffs: 29. September 2009).

TSI Incorporated (2010). FAQ: Can I measure respirable aerosol mass concentration with the DUSTTRAK monitor? TSI Incorporated, Minnesota/USA, 2010, http://tsi.com/en-1033/models/14004/8533/Service_and_Support.aspx (Datum des Zugriffs: 8. September 2010).

Uhlinger Ch (1991). Common Abnormalities of the Premolars and Molars. Proceedings of the 37th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Francisco/USA, 123-127.

Wens, HM (1985). Die tierärztliche Zahnbehandlung nach Erwin BECKER. Dtsch tierärztl Wschr 93: 159-161.

10 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Dr. M. H. Erhard für die Überlassung des Themas bedanken. Vielen Dank für die angenehme, unkomplizierte Zusammenarbeit und die zügige Endkorrektur.

Herrn Dr. S. Platz danke ich sehr für seine freundliche, kompetente und zuverlässige Betreuung während der Planungs- und Versuchsphase, der Auswertung, Zusammenstellung und Korrektur dieser Arbeit.

Ich danke Herrn PD Dr. S. Reese, der die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen der Staubproben vorgenommen hat. Die entstandenen Aufnahmen sind eine große Bereicherung für diese Arbeit.

Herrn Dr. Tilman Simon, der die Idee für diese Dissertation entwickelt hat, und seiner Frau Dr. Isabell Herold danke ich, dass ich die Versuche in ihrer Praxis durchführen konnte. Vielen Dank, dass ich nebenbei noch einen 10-monatigen Intensivkurs in Pferde Zahnheilkunde erhalten habe!

Herzlichster Dank gilt meinen lieben Eltern, die mich während Studium und Entstehung der Doktorarbeit immer emotional und finanziell unterstützt haben und ohne die ein solches Projekt nie durchführbar gewesen wäre. Meiner Mutter danke ich außerdem für die Durchsicht des Manuskripts.

Ich danke meinem Ehemann Alexander ganz besonders, dass er mich auf dem Entstehungsweg dieser Arbeit immer unterstützt, motiviert und aufgeheitert hat.