



Bundesinstitut
für Sportwissenschaft



Wir helfen
dem Sport

Olaf Hemker · Charlotte Vornholt · Sigrid Bertelmann

Sondierung zu Zuschlagstoffen in Reitböden



Olaf Hemker · Charlotte Vornholt · Sigrid Bertelmann

Sondierung zu Zuschlagstoffen in Reitböden

Online-Publikation des Bundesinstituts für Sportwissenschaft

Impressum

Herausgeber

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198
53117 Bonn
www.bisp.de

Ansprechpersonen

Michael Palmen / Jutta Katthage
michael.palmen@bisp.de / jutta.katthage@bisp.de
Tel.: +49 228 99 640 9033 / 9026
Fax: +49 228 99 640 9008

Erscheinungsjahr

2022

Hemker, Olaf; Vornholt, Charlotte; Bertelmann, Sigrid

Sondierung zu Zuschlagstoffen in Reitböden

(BISp-Forschungsprojekt „Sondierung: Ersatz von synthetischen Zuschlagstoffen durch biologische Zuschlagstoffe für Reitböden im Spitzensport“; AZ 072006/20-21)
ISBN 978-3-96523-055-2

Layout

Elke Hillenbach

Bildnachweis

Hochschule Osnabrück

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Vorbemerkungen

Die Idee und eine ausführliche Formulierung der Projektbeschreibung zum BISp Service-Forschungsprojekt

Sondierung:

Ersatz von synthetischen Zuschlagstoffen durch biologische Zuschlagstoffe für Reitböden im Spitzensport

entwickelte Prof. Dipl.-Ing. Thomas Heinrich (ehemals Hochschule Osnabrück). Beantragt und durchgeführt wurde das Forschungsprojekt durch Prof. Dr. Olaf Hemker, Charlotte Vornholt und Sigrid Bertelmann von der Hochschule Osnabrück. Der Bearbeitungszeitraum erstreckte sich vom 01.08.2020 bis zum 31.07.2021.

Die vorliegende Sondierung beinhaltet im Wesentlichen eine Feststellung des derzeitigen Kenntnisstandes zum Einsatz von synthetischen Zuschlagstoffen in Tretschichten. Der Forschungsbericht ist in sechs Kapitel gegliedert:

- › Kapitel 1: Sportfunktionelle Eigenschaften – Ermittlung und Erkenntnisse
- › Kapitel 2: Materialerfassung von synthetischen Zuschlagstoffen
- › Kapitel 3: Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen
- › Kapitel 4: Emissionen von synthetischem Zuschlagstoff aus dem Reitboden - Analyse der Austragswege
- › Kapitel 5: Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier
- › Kapitel 6: Alternative, biobasierte Zuschlagstoffe.

Der Projektbeirat hat das Projekt intensiv begleitet. Mitglieder des Projektbeirates waren aktive und ehemalige Vertreter und Vertreterinnen:

- der Hochschule Osnabrück,
- der Deutschen Reiterlichen Vereinigung e. V. (FN),
- der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL),
- des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp),

- des Umweltbundesamtes (UBA),
- des Bundesverbands Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e. V. (BGL)
- eines Prüflabors.

Nach den Empfehlungen des Projektbeirates sind für die Bestandsaufnahme Literaturrecherchen und Umfragen durchzuführen. In Abgrenzung zu den synthetischen Zuschlagstoffen sind nach Möglichkeit auch reine Sande und organische Zuschlagstoffe nachgeordnet zu berücksichtigen. Eigene Feld- und Laboruntersuchungen können allenfalls den Charakter von orientierenden Untersuchungen aufweisen. In Anbetracht des Umfangs und des Schwierigkeitsgrades der einzelnen Arbeitspakete werden neue Fragen und Herausforderungen erwartet. Es wird daher ausdrücklich gewünscht, Wissensdefizite zu identifizieren und darauf aufbauende weitere Arbeitspakete und ggf. Forschungsvorhaben zu benennen. Eine rechtliche Bewertung des Einsatzes von synthetischen Zuschlagstoffen ist nicht Gegenstand dieses Vorhabens.

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse zu den Untersuchungen in den Arbeitspaketen werden nachfolgend in einzelnen, in sich abgeschlossenen Berichtsabschnitten mit Literaturangaben in vorgegebener Zitierweise geschildert.

Das Bearbeitungsteam der Hochschule Osnabrück dankt

- dem Projektbeirat,
- den Fachleuten, die an den Umfragen und Diskussionen mitgewirkt haben,
- den Fachgebieten Bodenschutz und Bodensanierung, Vegetationsökologie und Botanik, Chemie und Oberflächenmodifikation polymerer Biomaterialien sowie Kunststofftechnik, insbesondere Polymerphysik und Kunststoffprüfung, der Hochschule Osnabrück und
- den Studierenden der Hochschule Osnabrück, die durch hilfswissenschaftliche Tätigkeiten oder Abschlussarbeiten beteiligt waren,

für die Unterstützung. Insbesondere war die Bearbeitung in allen Projektphasen erschwerend durch die Covid-19-Pandemie geprägt.

Inhalt

Vorbemerkungen	3
1 Sportfunktionelle Eigenschaften– Ermittlung und Erkenntnisse	9
1.1 Einleitung	11
1.1.1 Problemstellung	11
1.1.2 Ziel	11
1.1.3 Vorgehensweise	11
1.2 Sportfunktionelle Eigenschaften	12
1.2.1 Bedeutung	12
1.2.2 Begriffe	14
1.3 Beschaffenheit der Tretschicht	17
1.3.1 Sand	17
1.3.2 Zuschlagstoffe	18
1.4 Sportfunktionelle Eigenschaften in Abhängigkeit von Zuschlagstoffen	20
1.5 Diskussion	23
1.5.1 Diskussion sportfunktioneller Parameter	23
1.5.2 Diskussion der Erkenntnisse zu sportfunktionellen Eigenschaften	27
1.6 Fazit	28
2 Materialerfassung von synthetischen Zuschlagstoffen	29
2.1 Einleitung	31
2.1.1 Problemstellung	31
2.1.2 Ziel	31
2.1.3 Vorgehensweise	31
2.2 Die Umfrage zum Zuschlagstoff	31
2.2.1 Adressaten der Umfrage	31
2.2.2 Fragenkatalog	32
2.2.3 Durchführung der Umfrage	32
2.3 Ergebnisse der Umfrage	33
2.3.1 Schriftliche Angaben	33
2.3.2 Mündliche Angaben	36
2.3.3 Beigefügte Produktunterlagen	36
2.4 Auswertung und Diskussion	39
2.4.1 Die Umfrage im Allgemeinen	39
2.4.2 Herstellende und Produkte synthetischer Zuschlagstoffe	40
2.4.3 Größe synthetischer Zuschlagstoffe	41
2.4.4 Beigefügte Produktunterlagen zu synthetischen Zuschlagstoffen	41
2.4.5 Verbesserung der Reitplatzeigenschaften durch Zuschlagstoffe	43
2.4.6 Zugabemenge synthetischer Zuschlagstoffe	45
2.4.7 Einbauempfehlungen für synthetische Zuschlagstoffe	46
2.4.8 Spezielle Pflegehinweise für Tretschichten mit synthetischen Zuschlagstoffen	46
2.4.9 Zusätzliches Aufbringen von synthetischem Zuschlagstoff	47
2.4.10 Empfehlungen zur Verwendung/Entsorgung synthetischer Zuschlagstoffe	48
2.4.11 Hinweise/Vorschläge zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens	49
2.5 Fazit	49

3	Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen	53
3.1	Einleitung	55
3.1.1	Problemstellung	55
3.1.2	Ziel	55
3.1.3	Vorgehensweise	56
3.2	Probenahme auf Reitplätzen	56
3.3	Laborversuche an Sanden mit organischen und synthetischen Zuschlagstoffen	59
3.3.1	Übersicht	59
3.3.2	Sand mit organischem Zuschlagstoff	60
3.3.2.1	Entwicklung des Untersuchungsablaufs – Darstellung und Erläuterung der Laborversuche	60
3.3.2.2	Darstellung der durchgeführten Versuche an ausgewählten Proben	61
3.3.2.3	Darstellung der Ergebnisse	62
3.3.3	Sand mit synthetischem Zuschlagstoff	65
3.3.3.1	Entwicklung des Untersuchungsablaufs – Darstellung und Erläuterung der Laborversuche	65
3.3.3.2	Darstellung der durchgeführten Versuche an ausgewählten Proben	70
3.3.3.3	Darstellung der Ergebnisse	72
3.3.3.4	Verschleißversuche des Prüflabors Morbach	80
3.4	Auswertung und Diskussion	83
3.5	Fazit und Ausblick	87
4	Emissionen von synthetischem Zuschlagstoff aus dem Reitboden	
	– Analyse der Austragswege	89
4.1	Einleitung	91
4.1.1	Problemstellung	91
4.1.2	Ziele	91
4.1.3	Vorgehensweise	91
4.2	Auswirkungen durch den Austrag synthetischer Zuschlagstoffe aus der Tretschicht	92
4.2.1	Kunststoffe in der Luft	92
4.2.2	Kunststoffe im Boden	92
4.3	Austragswege	93
4.3.1	Austrag durch Hufe	93
4.3.2	Austrag über Pflegegeräte, z. B. Bahnplaner	94
4.3.3	Austrag über Wind und Pferde in Bewegung – sichtbare Stoffe in der Umgebung des Platzes	94
4.3.4	Austrag über die Luft	94
4.3.5	Materialtransport in tiefere Bodenschichten	95
4.3.6	Austrag in Randbereiche bei Plätzen mit horizontaler Entwässerung	95
4.3.7	Entsorgung	95
4.4	Erste Untersuchungen	95
4.5	Reduzierung des Austrags und Diskussion	96
4.6	Fazit	97

5	Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier	99
5.1	Einleitung	101
5.1.1	Problemstellung	101
5.1.2	Ziel	101
5.1.3	Vorgehensweise	101
5.2	Vorbereitung	102
5.3	Ergebnisse Veterinärmedizin	102
5.3.1	Sind Ihnen Krankheitsbilder bekannt, die auf die Reitböden zurückzuführen sind?	102
5.3.2	Auf welche Eigenschaften des Reitbodens sind diese zurückzuführen?	102
5.3.3	Spielen synthetische Zuschlagstoffe eine Rolle? Wenn ja, welche?	103
5.3.4	Gibt es Unterschiede in den Beeinträchtigungen in den Disziplinen Dressur und Springen? ..	104
5.3.5	Können Erkrankungen der Atemwege auch durch ein erhöhtes Staubaufkommen auf den Reitplätzen hervorgerufen werden? Wenn ja, wie schätzen Sie diesen Auslöser in Relation zum Staubaufkommen im Stall oder in der sonstigen Umwelt des Pferdes ein? ..	104
5.3.6	Ist bekannt, welche Art von Stäuben besonders gefährlich sind (Material / Größe)?	105
5.3.6.1	Haben Sie Erfahrungen betreffend der Stäube von synthetischen Zuschlagstoffen?	106
5.3.6.2	Lassen sich die Staubpartikel durch den Lungenspezialisten auseinanderhalten bzw. getrennt bewerten?	106
5.3.6.3	Sind evtl. einschlägige Untersuchungen bekannt?	107
5.3.7	Wenn Staubbelastungen auf Reitplätzen ein Risikofaktor sind, was sollte getan werden, um die Staubbelastung zu verringern?	107
5.3.8	Kennen Sie Personen, die wir Ihrer Meinung nach zu diesem Thema noch ansprechen sollten?	107
5.4	Diskussion	107
5.4.1	Auswirkungen auf die Atemwege	107
5.4.2	Auswirkungen auf den Bewegungsapparat	109
5.5	Fazit	109
6	Alternative, biobasierte Zuschlagstoffe	111
6.1	Einleitung	113
6.1.1	Problemstellung	113
6.1.2	Ziel	113
6.1.3	Vorgehensweise	113
6.2	Arten von biobasierten Zuschlagstoffen	114
6.2.1	Organische Zuschlagstoffe	114
6.2.2	Biokunststoffe	114
6.3	Einsatz von biobasierten Zuschlagstoffen in Tretschichten	116
6.3.1	Organische Zuschlagstoffe	116
6.3.2	Biokunststoffe	117
6.4	Laborversuche an biobasierten Zuschlagstoffen	117
6.4.1	Organische Zuschlagstoffe	117
6.4.2	Biokunststoffe	120
6.5	Diskussion	122
6.5.1	Organische Zuschlagstoffe	122
6.5.2	Biokunststoffe	123
6.6	Fazit und Ausblick	124

7	Anhänge	125
	Kapitel 1	126
	Messtechniken	126
A 1	Beschleunigungsmessung	126
A 2	Kraftmessplatten	127
A 3	Videoanalyse	128
A 4	Künstlicher Sportler	129
A 5	Prüfkugel	130
A 6	Dynamischer Plattendruckversuch/leichtes Fallgewichtsgerät	130
A 7	The Orono Biomechanical Surface Tester (OBST)	131
A 8	Glen Withy Torque Tester (GWTT)	132
A 9	Traktionsmessung (Traction Tester)	133
A 10	Direkter Schertest (Direct shear test)	134
	Kapitel 3	135
	Kapitel 5	145
	Literatur	147
	Regelwerke	151
	Abbildungsverzeichnis	154
	Tabellenverzeichnis	156

1 Sportfunktionelle Eigenschaften – Ermittlung und Erkenntnisse

1.1 Einleitung

1.1.1 Problemstellung

Sportfunktionelle Eigenschaften bezeichnen das Verhalten des Reitbodens bei der Nutzung. Hier sind zum Beispiel die Scherfestigkeit, die Trittfestigkeit und die Dämpfungsfähigkeit zu nennen. Die Beschaffenheit der Trettschicht leistet einen entscheidenden Beitrag zur Leistungsfähigkeit der Pferde und zur Minderbelastung ihrer Bewegungsapparate.

Eine allgemeingültige Zielbeschreibung der Trettschichtbeschaffenheit gibt es nicht. Da die Anforderungen der Sportausübenden an den Reitboden disziplinspezifisch stark variieren, müssen Bedarfe und Grenzwerte individuell angepasst werden können. Hinzu kommt, dass bisher kein Prüfgerät und keine Prüfmethode als Standard festgelegt ist. Die Prüfgeräte betrachten jedoch unterschiedliche Parameter, sodass sich auch die Bezeichnungen der Eigenschaften je nach verwendetem Prüfgerät unterscheiden.

Die Materialzusammenstellung, der Wassergehalt und der Oberbau spielen hier ebenso eine Rolle wie der Pflegezustand, das Alter des Aufbaus und die Disziplin im Pferdesport, für die die Fläche genutzt wird (van der Heijden, 2018, S. 28).

1.1.2 Ziel

Im Folgenden sollen die Erkenntnisse von vorausgegangenen wissenschaftlichen Untersuchungen zu sportfunktionellen Eigenschaften von Trettschichten zusammengestellt werden.

Um das ideale Geläuf für den Sportler Pferd bereitstellen zu können, muss zunächst geklärt werden, wodurch sich dieses auszeichnet. Vor dem Hintergrund der vielschichtigen Ansprüche an die Trettschicht muss außerdem die Frage nach den angestrebten Eigenschaften bedacht werden. Schließlich sind es diese Eigenschaften, die mithilfe von Zuschlagstoffen unterstützt werden sollen.

Im ursprünglich nur auf die synthetischen Zuschlagstoffe fokussierten Kapitel 1 wird nun auch die reine Sandtrettschicht über eine Literaturrecherche erfasst. Zusätzlich werden Sandtrettschichten mit organischen Zuschlagstoffen berücksichtigt.

Außerdem ist bisher keine Messmethode festgelegt, die die Trettschichteigenschaften messen und einordnen kann. Daher wird ein Überblick über verfügbare Messgeräte und deren Aussagekraft aus vorliegenden Untersuchungen zusammengetragen.

1.1.3 Vorgehensweise

In Abschnitt 1.2 wird geklärt, warum es notwendig ist, die sportfunktionellen Eigenschaften benennen und Einfluss auf sie nehmen zu können. Darauf folgend wird ein Überblick über die Begrifflichkeiten gegeben, die verwendet werden, um sportfunktionelle Eigenschaften zu beschreiben. Diese werden aus ausgewählten Bezugsquellen zusammengetragen. Wie werden die Anforderungen an die Trettschicht benannt und welche Aussage verbirgt sich hinter den Begriffen?

Abschnitt 1.3 hat den Aufbau der Trettschicht im Fokus. Zunächst wird der Sand näher betrachtet. Dieser stellt, ob in Reinform oder als Basismaterial unterstützt mit Zuschlagstoffen, das Hauptelement der Trettschicht dar. Welche Qualitäten muss der Sand mit sich bringen, wo liegen seine Fähigkeiten und Grenzen? Im zweiten Teil werden die Zuschlagstoffe mit in die Betrachtung einbezogen. Inwiefern beeinflussen die Zuschlagstoffe das Bodengefüge?

Abschnitt 1.4 sammelt die Erkenntnisse aus der Literatur, die bei Untersuchungen von Trettschichten aus Sand-Zuschlagstoff-Gemischen gewonnen wurden. Welche Veränderung der sportfunktionellen Eigenschaften kann mit ihrer Hilfe herbeigeführt werden?

In Abschnitt 1.5 werden die Erkenntnisse der vorangegangenen Ergebnisse diskutiert.

Abschnitt 1.6 zieht ein Fazit und gibt Anregungen für das weitere Vorgehen.

Im Anhang (S. 125ff) wird ein Überblick über Messgeräte und Methoden gegeben.

1.2 Sportfunktionelle Eigenschaften

1.2.1 Bedeutung

Die Benennung sportfunktioneller Eigenschaften ist notwendig, um Ansprüche an die Bodenverhältnisse formulieren zu können. Drevemo und Hjertén (1991, S. 110) halten im Zuge ihrer Untersuchungen fest, dass mechanische Eigenschaften, wie Härte, auch bei menschlichen Sportausübenden Verletzungen provozieren, indem sie zu einer überhöhten Belastung des Bewegungsapparates führen, die über die physiologischen Grenzen hinausgeht. Des Weiteren ist die Biomechanik des Pferdes in einem gewissen Maße auf Nachgiebigkeit des Untergrundes ausgelegt. Dieser muss zum Beispiel den horizontalen und vertikalen Abbau auftretender Kräfte beim Aufsetzen unterstützen sowie auch das Eingraben der Zehe beim Absetzen erlauben. Mithilfe dieser Mechanismen werden die Gelenke, Sehnen und Bänder in der Bewegung entlastet (Heinrich & Vornholt, 2014). Dass ein zu harter Boden die auftretenden kinetischen Energien nicht mehr auffangen kann, beschreibt auch Hoppe (2007, S. 24). Die Folgen sind Erkrankungen des Hufes, wie zum Beispiel Huflederhautentzündungen, oder auch Erkrankungen der Sehnen.

In zahlreichen Untersuchungen stellen unterschiedliche Forschende Zusammenhänge zwischen harten Böden und einem erhöhten Verletzungsrisiko fest. Cheney et al. (1973 zit. n. Ratzlaff et al. 2005, S. 589) verglichen 5 Rennstrecken und stellten einen Zusammenhang zwischen der Stärke des Aufpralls und den auftretenden Lahmheiten fest. Skowronek und Hertsch (2003, S. 1 f) analysierten die Ergebnisse von 15 Vielseitigkeitsprüfungen und fanden einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit abgebrochener Prüfungen und der Festigkeit des Geläufes. Weiterhin ermittelten Bailey et al. (1998, S. 501) auf vier Galopprennbahnen ein 3,4-mal höheres Risiko auf schnelleren/härteren Strecken eine ernsthafte Verletzung zu erleiden. Williams et al. (2001, S. 483) analysierten die Pferderennen aller 59 britischen Rennbahnen über drei Jahre. Ausgewertet wurden in diesem Zeitraum 222.993 Starts in Bezug auf die Verletzungs- und Ausfallquote, um Gefahrenquellen zu analysieren. Sie verglichen das Alter der Pferde, die Art des Rennens und die Tretschichten der Rennstrecken. Das Risiko, eine schwere oder tödliche Verletzung zu erleiden, sank auf weicheren Böden (s. Abb. 1).

Grundsätzlich ist eine ausreichende Festigkeit sowohl für die Leistungsfähigkeit als auch für die Gesunderhaltung notwendig, denn zu nachgiebiger Boden kann zu Verletzungen führen.

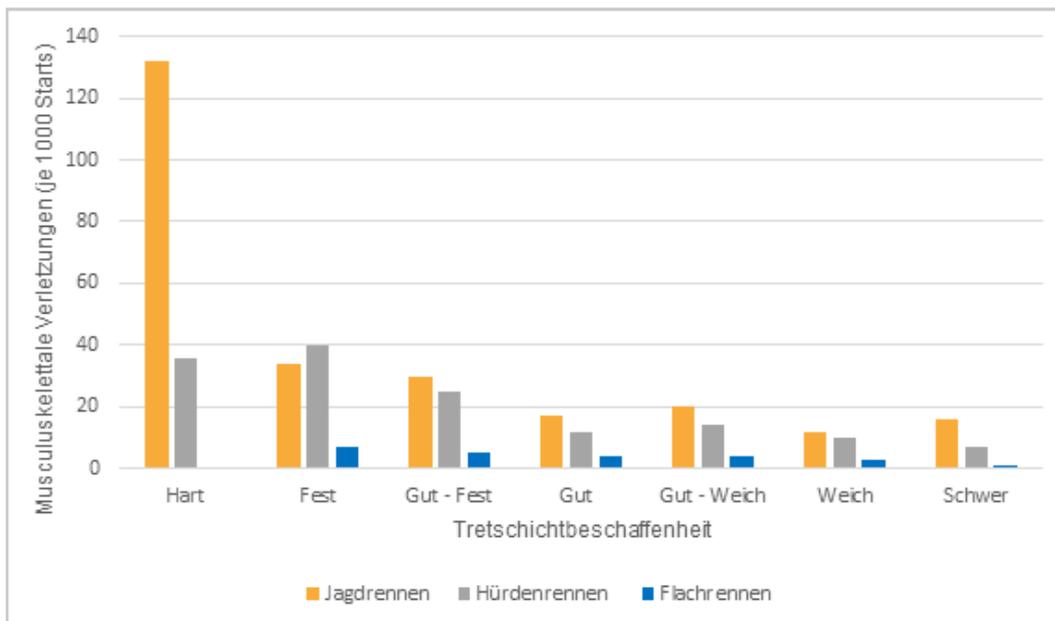


Abb. 1: Musculoskeletale Verletzungen (je 1000 Starts) nach Renntyp und Tretschichtbeschaffenheit (Williams et al., 2001, S. 483, verändert d. Verf.)

In tiefen Böden müssen Sehnen und Gelenke vermehrt den Bewegungsablauf stabilisieren. Verstärkt wird dieser Einfluss, wenn der Boden rutschig oder uneben ist. Hinzu kommt, dass ein tiefer Boden einen höheren Kraftaufwand mit sich bringt und die Pferde schneller ermüden, was wiederum die Gefahr von Fehlritten erhöht. Die Folge können Sehnenentzündungen, Gallen, Zerrungen und auch Entzündungen am Griffelbein sein (Hoppe, 2007, S. 24 & 26). Crevier-Denoix et al. (2013, S. 133) bestätigen in ihren Untersuchungen mit Trabrennpferden, dass die Belastungen der oberflächlichen tiefen Beugesehne auf weichem Boden (hier der Vergleich von Sand zu Asphalt) höher ist. Eine Genesung dieser Sehne kann ihren Erkenntnissen nach nur durch kontrollierte, ruhige Bewegung auf hartem Boden erfolgen.

Die Scherfestigkeit ist vor dem Hintergrund der Sicherheit von Reitenden und Pferd eine überaus wichtige Größe, da ein zu geringes Maß zu einem Wegrutschen der Pferde führt und somit Stürze von Pferd und Reitenden die Folge sein können. Ebenso stellt ein solcher Mangel eine große Belastung für den stabilisierenden Teil des Bewegungsapparates des Pferdes dar. Verletzungen sind die Folge. Mithilfe von Wasser kann, je nach Material, häufig großer Einfluss auf die Verdichtbarkeit eines Sandes genommen werden. Durch die stärkere Verdichtung ist das Material besser verzahnt, zudem verstärken auch auftretende Kohäsionskräfte die Scherfestigkeit gegenüber einwirkenden Kräften. Dementsprechend hält van der Heijden (2018, S. 20) fest, dass eine Überprüfung der Auswirkung von Wasser in Wahrheit ein Test der Auswirkung von Dichte auf die Scherfestigkeit ist. Aufgrund der verminderten Verdichtbarkeit sind es auch häufig tiefe Böden, denen es an der ausreichenden Scherfestigkeit fehlt.

Hobbs et al. (2014, S. 13) sind der Ansicht, dass sowohl die Oberflächenbeschaffenheit, die Auftrittsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit des Pferdes als auch das Zusammenspiel von Hufeisen und Oberfläche die Länge des Rutschweges und die Zeit, in der der Huf zum Stoppen kommt, beeinflussen. Dagegen sprechen jedoch Untersuchungen von Pardoe et al. (2001, S. 73), die zeigen, dass die Dauer, die der Pferdehuf

nach dem Aufußeln rutscht und die Distanz, die er dabei zurücklegt, keine signifikanten Unterschiede aufzeigen, wenn das Pferd mit Stahl-, Gummi- oder Plastikhufschuhen den Kontakt zum Boden aufnimmt. Auch die Geschwindigkeit änderte nicht die absolute Dauer der horizontalen Rutschbewegung. Die Dauer betrug bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Trab im Mittel stets 30-50 ms nach dem ersten Bodenkontakt (Gustås et al., 2006b, S. 167).

Das Bewegungsmuster des Pferdes bedingt, dass der Huf von der Bewegung des Körpers über die Oberfläche geschoben wird, bevor er zum Halten kommt. Auf diesem Weg wird bereits ein Teil der beim Aufußeln entstehenden Kräfte abgebaut (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 47). Neben dem Weiten der Trachten (die seitliche Ausdehnung der Hufe) und dem Absenken der Fessel wird dementsprechend auch ein horizontaler Kraftabbau durch angemessenes Rutschen zum Zeitpunkt des Aufußelns beobachtet (Kai et al., 1999, S. 217). Durch abruptes Stoppen entsteht ein Druck auf die distalen Knochen, und das unterstützende Gewebe wird stark beansprucht. Dies trifft im Besonderen die Hufrolle und den Fesselträger, wobei sich die Störung auch auf das Karpalgelenk auswirkt, welches über dem Hufgelenk und dem Fesselgelenk als nächstes Gelenk am Vorderbein betroffen ist und dessen rückliegende Sehnen den Stoß ebenfalls abfangen müssen (Heinrich & Vornholt, 2014). Chateau et al. (2010, S. 488) kamen hier zu dem Schluss, dass starkes Abbremsen in Verbindung mit hoher Belastung zu Knochenschäden und degenerativen Gelenkproblemen führt. Gustås et al. (2001, S. 14) konnten mithilfe von Beschleunigungsmessungen an Huf, Fessel- und Röhrbein hingegen feststellen, dass auftretende vertikale stoßbedingte Vibrationen möglicherweise nur auf Strukturen unterhalb des Fesselgelenkes wirken. Diese Erkenntnisse untermauert Falaturi (1998) mit der Aussage, dass die am Huf auftretenden Werte von 20-80-facher Erdbeschleunigung oberhalb des Fesselgelenkes um 25-50 % sinken. Dadurch wird die „Funktion des Fesselgelenkes als Stoßdämpfer belegt und seine Funktion als Druckfeder zur Speicherung von kinetischer Energie erstmals mit Meßdaten unterlegt“ (Falaturi, 1998, S. 108).

Als Folge von einer Behinderung der Drehbewegungen in Wendungen aufgrund von stumpfen Böden können außerdem Chip-Frakturen auftreten (Hoppe, 2007, S. 26).

Während die aus der Bremsung auf die Extremitäten wirkenden Kräfte bei hohen Geschwindigkeiten größer werden (Gustås et al., 2006b, S. 167), haben Ratzlaff et al. (2005, S. 591) festgestellt, dass die abbremsende Wirkung eines Bodens umso kleiner wird, desto schneller das Pferd läuft. Daraus lassen sich unterschiedliche Bedürfnisse der Sportausübenden disziplinent-sprechend ableiten. Dem Dressurpferd muss es möglich sein, in versammeltem Tempo auf der Stelle zu drehen, während das Springpferd auch bei hohen Geschwindigkeiten in engen Wendungen noch einen stabilen Untergrund benötigt. Dementsprechend werden auch für diesen Parameter disziplinspezifische Werte festgelegt werden müssen.

1.2.2 Begriffe

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL)

Die FLL formuliert in den Reitplatzempfehlungen – Empfehlungen für Planungen, Bau und Pflege von Reitplätzen (2014) den anerkannten Stand der Technik in diesem Themenfeld. Dieses Werk ist als Richtlinie für den Reitplatzbau in Deutschland gebräuchlich und wird deshalb hier als Hauptbezugsquelle für die Grundbegriffe herangezogen. Die Empfehlungen werden zurzeit überarbeitet.

Der Regelwerkausschuss der FLL sieht in Kapitel 1.2 seiner Reitplatzempfehlungen deren Zweck darin, *allgemeingültige Grundsätze und Anforderungen* für Reitplätze zu formulieren. In diesem Zusammenhang bezeichnen sportfunktionelle Eigenschaften zum Beispiel die *Tritt-, Rutsch- und Sprungsicherheit* (FLL, 2014, S. 9).

In Kapitel 6 *Arten von Reitplätzen, Auswahlkriterien*, werden zu *funktionellen Anforderungen* folgende Stichworte aufgeführt (FLL, 2014, S. 20):

- › Trittsicherheit auf der Oberfläche,
- › Trittfestigkeit (Eindringtiefe des Hufes),
- › Kraftabbau,

- › Rutschfestigkeit,
- › Scherfestigkeit,
- › Wasserspeicherfähigkeit,
- › Haltbarkeit (Verschleiß),
- › Bereitbarkeit bei Frost.

In der genaueren Beschreibung der Trettschicht (s. FLL, 2014, S. 44 f Kap. 7.8) sind die ersten beiden Stichpunkte zur Beschaffenheit ebenfalls auf sportfunktionelle Eigenschaften bezogen:

Die Trettschicht soll so beschaffen sein, dass

- *sie ausreichend rutsch- und trittfest, sprungsicher, huf- und gelenkschonend und stoßdämpfend ist, jedoch ein gewisses Maß an Rutschung und Kraftabbau ermöglicht;*
- *aus sportfunktionellen und pferdephysiologischen Gründen der Huf nur geringfügig eindringen kann (z. B. Beanspruchung des Hufmechanismus, Schonung von Sehnen, Gelenken, Wirbelsäule, Bändern).*

In den darauffolgenden Abschnitten 7.8.1.2 bis 7.8.1.4 werden Anforderungen an sportfunktionelle Eigenschaften anhand der vier Parameter *Eindringtiefe des Hufes/Trittfestigkeit, Scherfestigkeit, Kraftabbau* und *Energierückgewinnung* formuliert.

Die Eindringtiefe des Hufes bzw. die Trittfestigkeit wird in Abschnitt 7.8.1.2 wie folgt beschrieben: *„Die Trettschicht soll trittfest, jedoch nachgiebig sein. Trittfestigkeit und Eindringtiefe des Hufes sind abhängig vom Wassergehalt und können – je nach Baustoff – durch Wasserzugabe reguliert werden.“* Darauf folgen Grenzwerte: Der Boden soll durch die Tritte nicht mehr als 6 cm, aber auch nicht weniger als 1 cm tiefe Hufspuren aufweisen.

Im Anhang V ist außerdem ein Laborversuch zur Messung der Eindringtiefe beschrieben.

Der in Abschnitt 7.8.1.3 erläuterte Parameter Scherfestigkeit wird in zwei Begriffe unterschieden:

- › Gleitscherfestigkeit:
„Die Trettschicht darf sich auch bei stärkerer Beanspruchung nicht gegenüber der darunterliegenden Schicht verschieben und keine Durchtritte zulassen.“
- › Torsionsscherfestigkeit:
„Die Trettschicht muss bei Wendungen nachgiebig genug sein, um Verletzungen zu vermeiden, und stabil genug sein, um Wegrutschen zu verhindern.“

Im Folgenden ist aufgrund der Bezugnahme auf sportfunktionelle Eigenschaften mit Scherfestigkeit immer die Torsionsscherfestigkeit gemeint. Der darauf folgende Satz „hierzu liegen bisher noch keine Anforderungen vor“ (FLL, 2014, S. 45) vermittelt, dass weder ein Prüfverfahren noch Grenzwerte festgelegt sind.

Abschnitt 7.8.1.4 widmet sich den Parametern Kraftabbau und Energierückgewinnung.

„Der Kraftabbau bezeichnet die Fähigkeit eines Sportbodens, die Stoßkraft eines auf die Oberfläche fallenden Körpers zu reduzieren. Die Energierückgewinnung bezeichnet den prozentualen Anteil der Eingangsenergie, der von dem Sportboden zurückgegeben wird.“ (FLL, 2014, S. 45)

Es wird festgestellt, dass es bisher „wenig aussagekräftige [...] Parameter und Methoden“ [...] „zur sportfunktionalen Beurteilung von Trettschichten in Bezug auf „die Leistungsentwicklung und de[n] Schutz der Gesundheit von Pferd und Reiter“ (ebd.) gibt.

Tab. 1¹ stellt eine Übersicht über die genannten Parameter zusammen.

¹ In diesem Dokument wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit in Tabellen und Abbildungen das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Bezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Tab. 1: Zusammenfassung der Parameter zu sportfunktionellen Eigenschaften aus den Reitplatzempfehlungen der FLL (2014)

Parameter	Seite	Beschreibung
1 Trittsicherheit	S. 9, S. 44	
2 Rutschsicherheit	S. 9, S. 44	
3 Sprungsicherheit	S. 9, S. 44	
4 Trittsicherheit auf der Oberfläche	S. 20	
5 Trittfestigkeit (Eindringtiefe des Hufes)	S. 20, S. 45	Die Trettschicht soll trittfest, jedoch nachgiebig sein. Trittfestigkeit und Eindringtiefe des Hufes sind abhängig vom Wassergehalt und können - je nach Baustoff - durch Wasserzugabe reguliert werden.
6 Kraftabbau	S. 20, S. 44, S. 45	Der Kraftabbau bezeichnet die Fähigkeit eines Sportbodens, die Stoßkraft eines auf die Oberfläche fallenden Körpers zu reduzieren. Für die Messung kann das Künstliche-Sportler-Verfahren nach DIN EN 14808 eingesetzt werden.
7 Rutschfestigkeit	S. 20	
8 Scherfestigkeit	S. 20, S. 45	Die Trettschicht muss bei Wendungen nachgiebig genug sein, um Verletzungen zu vermeiden, und stabil genug sein, um Wegrutschen zu verhindern.
9 Wasserspeicherfähigkeit	S. 20	
10 Haltbarkeit (Verschleiß)	S. 20	
11 Bereitbarkeit bei Frost	S. 20	
12 Energierückgewinnung	S. 45	Die Energierückgewinnung bezeichnet den prozentualen Anteil der Eingangsenergie, der von dem Sportboden zurückgegeben wird. Für die Messung kann das Künstliche-Sportler-Verfahren nach DIN EN 14808 eingesetzt werden.
13 Setzung	S. 45	Ermittlung kann mit dem dynamischen Plattendruckmessgerät nach TP BF-StB mit verändertem Fallplattendurchmesser (150 mm) erfolgen.
14 Verformungsmodul	S. 45	Ermittlung kann mit dem dynamischen Plattendruckmessgerät nach TP BF-StB mit verändertem Fallplattendurchmesser (150 mm) erfolgen.
15 Elastizität	S. 45	Ermittlung kann mit dem dynamischen Plattendruckmessgerät nach TP BF-StB mit verändertem Fallplattendurchmesser (150 mm) erfolgen.

In Abschnitt 7.8.1.4 werden auch zwei Methoden für die Prüfung empfohlen: Der Künstliche Sportler nach DIN EN 14808 (2006) zur Messung von Kraftabbau und Energierückgewinnung sowie der dynamische Plattendruckversuch nach TP BF-StB (FGSV, 2012) mit verändertem Fallplattendurchmesser (150 mm) zur Ermittlung der Setzung, des Verformungsmoduls und der Elastizität der Tretschicht. Beide Prüfgeräte sind im Anhang (A 4, S. 129 & A 6, S. 130) näher beschrieben.

Weiter stehen „erste Untersuchungsergebnisse von 20 ausgewählten Plätzen [zur Verfügung], deren Reiteigenschaften von den Reitern positiv beurteilt wurden [...]. Danach liegt der Kraftabbau bei Springplätzen zwischen ca. 30 % und 50 %, bei Dressurplätzen zwischen ca. 35 % und 55 %.

Die Energierückgewinnung liegt bei Springplätzen zwischen ca. 15 % und 35 %, bei Dressurplätzen zwischen ca. 10 % und 35 %“ (FLL, 2014, S. 45).

Fédération Equestre Internationale (FEI)

Die FEI, der internationale Dachverband für den Reitsport, stellt auf seiner Internetplattform <https://inside.fei.org> das Dokument *Equestrian Surfaces – A Guide* (Lönnel & Hernlund, 2014) zur Verfügung. Dieser Leitfaden war ein Gemeinschaftsprojekt des Schwedischen Pferdesport-

verbandes (*Swedish Equestrian Federation reference group*) und der Universität in Upsalla (*Swedish University of Agricultural Sciences*). Überdies wurde dieses Projekt auch von anderen internationalen Experten unterstützt.

Da dieser Leitfaden von der FEI bereitgestellt wird, kommt ihm ein offizieller Charakter zuteil, auf dessen Basis er in diese Erörterung einbezogen wird. Die FEI unterstützt die Entwicklung eines einheitlichen Prüf- und Bewertungssystems mit dem Ziel, eine einheitliche Kategorisierung von Reitplätzen zu erreichen. Nach Möglichkeit soll den Reitenden schon im Vorfeld eines Wettkampfes mitgeteilt werden können, welche Bodenverhältnisse auf der Veranstaltung zu erwarten sind. So können diese einschätzen, welches Pferd sich auf diesem Boden wohl fühlen wird oder auch ihr Training an die Begebenheiten anpassen. (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 129).

In diesem Zusammenhang werden sechs Parameter genannt, die eine umfassende Beschreibung und Bewertung der Reitplätze ermöglichen (s. Tab. 2).

Die ersten fünf Parameter der folgenden Tab. 2 sind mithilfe des Prüfgerätes *Orono Biomechanical Surface Tester* (OBST) (s. Anhang A 7, S. 131) zu ermitteln. Der sechste Parameter ergibt sich aus Prüfungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Tab. 2: Übersicht der vom OBST zu ermittelnden funktionellen Eigenschaften
(van der Heijden, 2018, S. 28, verändert d. Verf.)

Eigenschaft	Oberer Parameter	Unterer Parameter	Beschreibung
Stoßfestigkeit (<i>Impact Firmness</i>)	Hart	Weich	Der Stoß, den das Pferd erfährt, wenn der Huf auf den Boden fußt
Dämpfung (<i>Cushioning</i>)	Tief	Verdichtet	Die stützende Wirkung des Bodens im Vergleich zur Nachgiebigkeit beim Reiten
Scherfestigkeit (<i>Grip</i>)	Hohe Griffigkeit	Rutschig	Wie weit der Pferdehuf in der Landung, in Wendungen und im Absprung rutscht
Reaktionsfähigkeit (<i>Responsiveness</i>)	Aktiv	Matt	Wie aktiv oder federnd sich der Boden für das Pferd anfühlt
Homogenität (<i>Uniformity</i>)	Uniform	Variabel	Wie gleichmäßig sich der Boden anfühlt, wenn das Pferd darüber läuft
Beständigkeit (<i>Consistency</i>)	Ohne Veränderung	Veränderlich	In welchem Maß der Boden sich mit Zeit und Nutzung verändert

International etablierte Bezeichnungen aus dem Pferderennsport

Außerdem liegen einige Forschungsergebnisse für Pferderennbahnen vor, bei denen die sportfunktionellen Eigenschaften des Geläufs mithilfe der Beschleunigungsmessung ermittelt wurden. In diesem Rahmen liegen in Anzahl und Umfang die meisten empirischen Ergebnisse vor. Größen der gemessenen Aufprallintensität, Beschleunigungswerte, Abbremswerte und Vibrationen geben hier einen Hinweis auf die Belastungen, denen die Pferdebeine in der Bewegung ausgesetzt sind (Chateau et al., 2009; Barrey et al., 1991, S. 104). In einigen Fällen wird aus den Werten der gerade genannten Größen die Boden Härte interpretiert (z. B. Holt et al., 2014; Kai et al., 1999; Lewis et al., 2015; Hobbs et al. 2014; Skowronek & Hertsch, 2003; Chateau et al., 2010). Als weiterer Parameter taucht in diesen Untersuchungen ebenfalls die Rutschfähigkeit im Sinne der horizontalen Abbremsung (*horizontal hoof braking*) auf (z. B. Chateau et al., 2010; Barrey et al., 1991; Gustås et al., 2001).

1.3 Beschaffenheit der Tretschicht

1.3.1 Sand

Reitsport findet in aller Regel auf Sandplätzen statt. Besonders im Spitzensport wird sowohl beim Training als auch auf Turnieren auf Sand geritten. In seltenen Fällen findet ein Springen oder bei Vielseitigkeiten eventuell auch eine Dressur auf einer Rasenfläche statt. Nutzungen bedingen schnell Unebenheiten, zerstören – aufgrund der Belastung durch die Tritte oder auch der daraus resultierenden Bodenverdichtung – die Grasnarbe, und auch Löcher können die Folge sein. Die Instandsetzung ist aufwendig, die Wiederherstellung der Grasnarbe nur mit einer Schonung zu erreichen. Daher sind es hauptsächlich große Traditionsturniere, die Rasenflächen eigens für Veranstaltungen vorhalten, um Reitenden und Pferd gute Bedingungen zu ermöglichen. Gute Sandböden haben eine deutlich höhere Toleranz gegen Nutzungsdruck. Dies betrifft in großem Maße die Gleichförmigkeit der Oberfläche.

Die Tretschicht, die oberste Schicht vom Bodenaufbau eines Reitplatzes, sollte standfest und eben sein, sowie den Bewegungsablauf und Bewegungsapparat des Pferdes unterstützen. Ein geeigneter Sand verfügt in der mineralischen Zusammensetzung über einen möglichst hohen Quarzanteil mit einem nur sehr geringen Anteil an Schluff und Ton, ggf. reiner Quarzsand. Quarz ist ein sehr hartes, widerstandsfähiges Mineral, welches den mechanischen Belastungen durch Hufe oder Pflege sehr lange standhalten kann. (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 66)

Des Weiteren ist die Kornform ein wichtiges Kriterium für eine geeignete Tretschicht. Die Sandkörner sollten ein optimales Gemisch aus eckigen und runden Körnern darstellen, das eine ausreichende Verzahnung (eine ausreichende Trittfestigkeit) und eine gute Entwässerung gewährleistet und nicht zu einer übermäßigen Abnutzung der Hufe führt (Kreis et al., 2019, S. 9).

Neben der Zusammensetzung der Tretschicht im Sinne von Korngrößen, Kornform und Verdichtung, hat auch der Wassergehalt großen Einfluss auf die Bodenreaktion in der Nutzung (FLL, 2014, S. 45). Die vom Wassergehalt abhängigen Kohäsionskräfte sind für die Sicherheit der Reitenden und Pferde elementar. Ist der Boden zu trocken oder auch zu nass, leidet ggf. die Gleichförmigkeit und weiterhin auch die Scherfestigkeit. Die Pferde stolpern und rutschen. Ein sicherer, gleichmäßiger Bewegungsablauf kann nicht mehr gewährleistet werden. Für das System Sand-Wasser stellten Barrey et al. (1991, S. 104) fest, dass der ideale Wassergehalt je nach Kornzusammensetzung bei 8 % bis 17 % liegt. Wassergehaltsveränderungen in geringerem Maße können auch als Stellschraube an den sportfunktionellen Eigenschaften dienen, da sie unmittelbare Auswirkungen auf die Festigkeit der Sande haben (van der Heijden, 2018, S. 14).

Die Härte der Tretschicht und der prozentuale Wassergehalt haben großen Einfluss auf die Größe der beim Aufußen auftretenden Werte der Abbremsung und der hier hervorgerufenen Kräfte. Auf einem Sandstrand verglichen Chateau et al. (2010, S. 494) Bereiche mit tiefem trockenem, tiefem nassen und festem nassen Sand. Auf tiefem trockenem Sand sinkt der Höchstwert der Abbremsung und der auftretenden Kräfte um 95 % im Vergleich zu auf Asphalt gemesse-

nen Werten. Auch im Vergleich der beiden Sandbereiche, tiefer nasser und fester nasser Sand, ist die Differenz untereinander mit 59 % signifikant, obwohl der Wassergehalt sich in diesem Fall sogar nur um 5,5 % unterschied. Auch wurde von Holt et al. (2014, S. 952) eine verminderte Scherfestigkeit bei niedrigerem Wassergehalt festgestellt. Ebenso ermitteln Hobbs et al. (2014, S. 17) unterschiedliche Grade der Dämpfungsfähigkeit und der Scherfestigkeit bei Sandtrettschichten in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Die Auswirkungen des Wassergehaltes sind jedoch von der Zusammensetzung der Sande abhängig und dementsprechend unterschiedlich. Um also eine bestimmte Sandtrettschicht auf die gewünschten Eigenschaften einzustellen, müssen ausreichend Erfahrungen vorliegen (van der Heijden, 2018, S. 14). Zudem ist der Wassergehalt je nach Wetterlage auch in kurzer Zeit stark veränderlich. Daher kann es mitunter schwierig sein den benötigten, idealen Wassergehalt dauerhaft zu gewährleisten (Holt et al. 2014, S. 952, Barrey et al. 1991, S. 104).

Dold (2017, S. 50-51) sieht die Schwierigkeit in der Verwendung einer Trettschicht ausschließlich aus Quarzsand unter anderem in eben diesem Wasserbedarf, der bereits für das Mindestmaß an Trittfestigkeit notwendig ist. Hinzu weist er auf die Bedeutung der Sandqualität hin. Eine grobe Kornoberfläche führt bei dem harten Quarz zu einer starken Abnutzung der Hufe, während rundkörnigeres Material kaum zu verdichten ist. Ein ungeeigneter Sand, der aus zu weichem Material besteht und deshalb entweder von vorn herein oder in Folge der Nutzung zu viele kleine Elemente aufweist, bringt einige Probleme mit sich. Auch hier ist der Wassergehalt ein entscheidendes Kriterium, so wird er bei zu wenig Wasser staubig und tief. Viel Wasser kann hier schlechter abgeführt werden, sodass er auch in dieser Situation tief, aber matschig wird. Beinhaltet das Bodengefüge zu viel Feinkornanteil, führt Trockenheit zu einer starken Verhärtung. Hingegen kann der Zustand bei Nässe eher als schmierig und klebrig beschrieben werden. Ein zu grober Sand verfügt hingegen aufgrund der verminderten Saugspannung über keine ausreichende Wasserhaltefähigkeit und erreicht somit nicht die zum Reitsport benötigte Trittfestigkeit (Dold, 2017, S. 49).

Dies sind ohne Zweifel extreme Beispiele, die zu Anschauungszwecken gewählt wurden. Die Qualitätsspanne für geeignete Reitsande ist sehr schmal. Holt stellte 2013 (S. 89) fest, dass die Härte sowohl vom Wassergehalt als auch von der Lagerungsdichte, dem Entwässerungsverhalten und auch vom Oberflächentyp beeinflusst wird. Geeigneter Quarzsand kommt nur in wenigen Regionen vor und deshalb ist der Transport aufgrund der weiten Wege mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden (Dold, 2017, S. 50-51).

1.3.2 Zuschlagstoffe

Noch vor wenigen Jahrzehnten wurde in aller Regel auf dem natürlich anstehenden Boden geritten. Der Reitsport wurde immer professioneller und heute verfügt zumindest jede Reitanlage, die von sportambitionierten Reitenden genutzt wird, über einen künstlich angelegten Reitplatz.

Neben einem angemessenen Unterbau spielt hier der Sand die wichtigste Rolle. Je nach Verfügbarkeit und Budget gibt es große Unterschiede die Qualität der Sande betreffend. Um die sportfunktionellen Eigenschaften einer Trettschicht zu verbessern bzw. defizitäre Sande verwenden zu können, werden der Trettschicht Zuschlagstoffe beigefügt. Holz hat als Zuschlagstoff Tradition. Als natürliches Nebenprodukt in der Forstwirtschaft lag die Nutzung von Holzhäckseln oder Sägespänen zur Einflussnahme auf die Eigenschaften dieser Untergründe nahe.

Im Laufe der Jahre wurden viele Materialien ausprobiert mit dem Ziel, optimale Bedingungen zu schaffen bzw. die Eigenschaften eines nicht optimalen Sandes auszugleichen.

So hat der Regelwerkausschuss der FLL (2014, S. 49) drei Materialgruppen definiert:

- ▶ organische Zuschlagstoffe, z. B. Holzhäcksel aus Weichholz, Bambusfasern;
- ▶ synthetische Zuschlagstoffe, z. B. Vlieshäcksel, Kunststoff-Fasern, Kunststoff-Flocken;
- ▶ mineralische Zuschlagstoffe, z. B. Lava (bei Lava sollte die Zuschlagsmenge wegen des erhöhten Hufabriebs nicht mehr als 25 % Massenanteil betragen).

Mineralische Zuschlagstoffe wie Lava oder spezielle Sandmischungen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Die Auswahl der Materialien, die als Zuschlagstoff verwendet werden und teilweise wurden, ist jedoch weiterhin sehr umfangreich und unübersichtlich, so dass die von dem Regelwerkausschuss der FLL verfassten Rahmenbedingungen bisher nur sehr allgemein formuliert werden konnten.

„Die verwendeten Baustoffe und Bauteile müssen so beschaffen sein, dass die Umwelt und die Gesundheit sowie die Sicherheit der Menschen und Tiere nicht gefährdet werden, z. B. durch:

- Freisetzung schädlicher Gase, Stäube (insbesondere Feinstäube) und Pilzsporen an die Luft;
- Wasser- oder Bodenverunreinigung oder -vergiftung;
- Brand- oder Rauchentwicklung;
- Kontakt mit oder Aufnahme von Material.

Dies gilt auch für Veränderungen durch die Nutzung infolge mechanischer Belastungen (Bereiten, Pflege) und andere Einflüsse (z. B. durch UV-Strahlung, sauren Regen, Ausscheidungen der Pferde) [...].

Die Umweltverträglichkeit der Bau- und Zuschlagstoffe ist nachzuweisen.“
(FLL, 2014, S. 19)

Jedoch sind für Nachweisverfahren noch keine Standards festgelegt. Auf diesen Punkt wird im Kapitel 2 näher eingegangen.

In der Gruppe der synthetischen Zuschlagstoffe wird in der Literatur in erster Linie von Vliesen oder Fasern berichtet. Dies sind allem Anschein nach auch die am weitesten verbreiteten Komponenten, sowohl einzeln oder gemeinsam werden sie kombiniert mit Sand verwendet. Vliese können trotz optisch ähnlichem Material unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. So stellten Henneböhl und Ziemann (2010, S. 18) in ihren Untersuchungen fest, dass optisch vergleichbare Vliese zweier Hersteller sich in Bezug auf ihre Wasserhaltefähigkeit so stark unterscheiden, dass es sich um unterschiedliche Materialien handeln musste.

Eine genauere Materialbeschreibung oder Bestimmung wird nur selten vorgenommen. Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) sind Kunststoffarten, die als Zuschlagstoffe Verwendung finden. Sie

„gelten als chemisch beständig, lebensmittelecht und lassen sich sehr gut reinigen. Beide Kunststoffe sind sich sehr ähnlich, PE ist zäher. PP und PE brauchen keine Lösemittel und Weichmacher zur Herstellung. PE zeigt seine besten mechanischen Eigenschaften bis 30 °C, verträgt aber auch bis -40 °C. PP hat die besten Eigenschaften bis 40 °C, verträgt aber keine Minus-Temperaturen.“ (Dold, 2017, S. 54)

Überdies sind synthetische Zuschlagstoffe in der Lage, die Wasserhaltefähigkeit der Tretschicht zu erhöhen (van der Heijden, 2018, S. 15). Aufgrund ihrer äußeren Faserstruktur binden sie Feuchtigkeit an sich ohne sie zu speichern. Somit ist überschüssiges Wasser nicht wie in organischem Material gebunden, sondern kann ablaufen. Es ist von großem Vorteil, wenn das Material mit einem feinen Sand vermischt ist, da hier die beste Wasserhaltefähigkeit ermöglicht wird (Dold, 2017, S. 55).

Textilien werden in Form von Stücken oder Fäden verwendet. Materialien kleiner als 3 x 3 cm, beziehungsweise kürzer als 3 cm, erleichtern die Pflege, doch es wird deutlich mehr Material benötigt als bei größeren Elementen (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 65). Die Textilien werden vorrangig verwendet, um Verdichtung zu reduzieren und die Belastbarkeit zu erhöhen. Verdichtung erfolgt durch die Verlagerung von Sandpartikeln in offene Poren aufgrund von Krafteinwirkung. Die Textilien decken teilweise offene Poren ab und verhindern so das Eindringen von Sandkörnern, wodurch die Dämpfung der Tretschicht verbessert wird. Außerdem wird die Bewegung der Körner insgesamt durch die Reibung des Materials gebremst, wodurch auch seitliche Verschiebung erschwert wird. Auf diese Weise werden die Standfestigkeit ebenso wie die Scherfestigkeit des Bodengefüges erhöht (van der Heijden, 2018, S. 56; Lönnel & Hernlund, 2014, S. 64; Dold, 2017, S. 52; Heinrich et al., 2010, S. 246).

Sowohl die Größe der Zuschlagstoffe als auch das Mengenverhältnis von Sand und Zuschlagstoff spielen eine große Rolle für die sportfunktionellen Eigenschaften der Zuschlagstoffe. Ein zu hoher Anteil an Textilschnipseln kann aufgrund der starken Verzahnung den Boden zu stumpf werden lassen und langfaserige Geotextile können auch zu einer starken Bindung bis Härte führen (Vornholt, 2013, S. 31).

Dold (2017, S. 51 f) sieht die synthetischen Zuschlagstoffe als Weiterentwicklung des Sand- Holzhäckselgemisches, da die Bestandteile nicht verrotten und lange eine gleichbleibende gute Qualität gewährleisten können. Die Kombination der Komponenten Textil und Sand hält er außerdem für vorteilhaft, da der Sand große Teile des Textils vor UV-Strahlung schützt und somit der Versprödung, Auflösung und sogar der Entstehung von Feinstaub entgegenwirkt. Grundsätzlich ist jedoch festzuhalten, dass sowohl synthetische als auch organische Zuschlagsmaterialien den mechanischen Belastungen gegenüber weniger widerstandsfähig sind als die Sandkörner (Heinrich et al., 2010, S. 243). Hier findet also eine Zerkleinerung durch Nutzung und Pflege statt.

Die Kompostierung von organischen Zuschlagstoffen kann durch die richtige Pflege nicht aufgehalten, jedoch verlangsamt werden. So behalten Tretschichten bestehend aus zum Beispiel Sand und Holzhäcksel positive Eigenschaften länger bei, wenn sie regelmäßig abgeäpelt werden und auch von Zeit zu Zeit eine Tiefenlockerung stattfindet, die das Bodengefüge durchlüftet. (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 69)

1.4 Sportfunktionelle Eigenschaften in Abhängigkeit von Zuschlagstoffen

Holz hat als Zuschlagstoff erstklassige Eigenschaften, wenn es darum geht auftretende Kräfte durch Stöße und Vibration abzufangen. Zu dieser Erkenntnis kamen Barrey et al. (1991, S. 104) bei Untersuchungen, für die an sieben Pferden auf acht unterschiedlichen Tretschichten Beschleunigungsmessungen an den Hufen durchgeführt wurden.

Es wurden Tretschichten aus Sand mit Tretschichten aus einem Sand-Holzhäcksel- oder auch Sand-Späne-Gemisch verglichen und festgestellt, dass mithilfe einer strukturellen Dämpfung durch den Zuschlagstoff Holz auftretende Kräfte beim Aufsetzen minimiert werden konnten.

Die genauen Auswirkungen von Zuschlagstoffen auf die sportfunktionellen Eigenschaften einer Tretschicht untersuchte Ziemann (2010), dessen Ergebnisse auch in das Forschungsprojekt von Heinrich et al. (2010, S. 160 ff.) einfließen. Im Labor erstellte er Tretschichten mit unterschiedlich hohen Zuschlagstoffgehalten und führte Messungen bezüglich der Parameter *Kraftabbau*, *Energierückgewinnung*, *vertikale Verformung* sowie *Scherfestigkeit* mithilfe des Künstlichen-Sportler-Verfahrens und einer Scherfestigkeitssonde durch.

Getestet wurde anhand eines Versuchsaufbaus unter Laborbedingungen. 1 m² große, 10 cm starke Rahmenelemente stellten eine Tretschicht-Einheit dar. Diese wurden einheitlich mit einem Sand gefüllt, der für die Nutzung als Tretschicht geeignet sein sollte. Für alle Versuche wurde der gleiche Wassergehalt gewählt und das Mischungsverhältnis von Sand zu Zuschlagstoffen variiert. Für jeden Zuschlagstoff wurden 5 unterschiedliche Sand-Zuschlagstoffmischungen vorbereitet, bei denen der Anteil der Zuschlagstoffe in 1 kg/m² Schritten von 1 kg/m² bis 5 kg/m² erhöht wurde (Ziemann, 2010, S. 74). Die gemessenen sportfunktionellen Werte von Zuschlagstoff-Sandgemischen hängen, neben dem Mengenverhältnis, von der Kornverteilung des eingesetzten Reitsandes sowie von der Kornform des Sandes und von dem aktuellen, eingestellten Wassergehalt in der Tretschicht ab. Der Wassergehalt beeinflusst die Standfestigkeit der Tretschicht insgesamt. Die Werte des Kraftabbaus und der Energierückgewinnung entsprechen bei den Messungen des reinen Sandes nicht den Empfehlungen der FLL. Der Kraftabbau ist mit über 60 % (s. Abb. 2) deutlich höher als angestrebt (vgl. FLL 2014, S. 45 empfohlene 30-55 %) und die Energierückgewinnung mit 4 % deutlich niedriger (vgl. FLL 2014, S. 45 empfohlene 10-35 %). Daher ist davon auszugehen, dass entweder der Wassergehalt zu niedrig gewählt wurde oder der Sand nicht den Anforderungen entspricht.

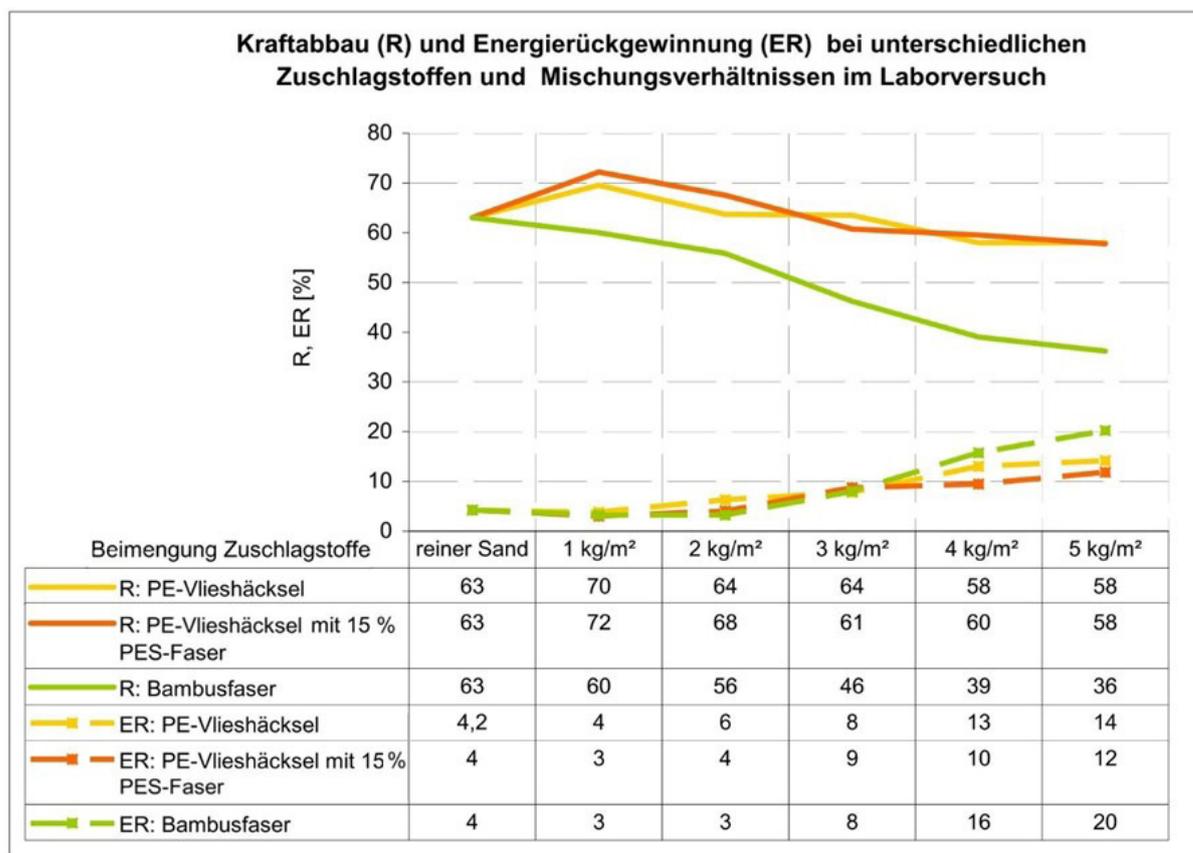


Abb. 2: Kraftabbau (R) und Energierückgewinnung (ER) eines Sandes bei unterschiedlichen Zuschlagstoffen und Mischungsverhältnissen im Laborversuch (Heinrich et al., 2010, S. 159, verändert d. Verf.)

Nichtsdestotrotz lassen sich aus den Versuchen Wirkungsweisen der Zuschlagstoffe ableiten. Die Kurven von Kraftabbau und Energierückgewinnung verhalten sich bei Zugabe von Zuschlagstoffen in jedem Fall in etwa umgekehrt proportional zueinander (s. Abb. 2). Das bedeutet die Tretschichten werden mit weiteren Zugaben von Zuschlagstoffen immer fester. Der Kraftabbauwert des reinen Sandes ohne Zuschlagstoffe liegt hier bei 63 %. Der höchste Kraftabbauwert wird mithilfe von Vliesstoffen bei 1 kg/m² erreicht (der Kraftabbauwert erhöht sich um ca. 10 %). Bei anschließender Mehrzugabe sinkt der Wert des Kraftabbaus in diesem Fall auf maximal 58 %. Die Zugabe von Bambusfasern führt von Beginn an zu einer Reduzierung des Kraftabbaus. So führt die Verwendung von 1 kg/m² zu einer geringen Reduktion von 63 zu 60 %. Bei einem Anteil von 3 kg/m² ist der Kraftabbau bereits auf 46 %, bei der Maximalmenge von 5 kg/m² sogar auf 36 % gesunken. Bei zunehmendem Anteil an Zuschlagstoffen findet dementsprechend eine Art Armierung der Tretschicht statt.

Einhergehend mit der anfänglichen „Lockerung“ durch die Vliese, verringert sich der Wert der Energierückgewinnung bei der Zugabe von 1 kg/m² aller Zuschlagstoffe gegenüber reinem Sand leicht und nimmt bei Mehrgaben deutlich zu. Die Energierückgewinnung liegt bei Zugabe von 3 kg/m² um 100 % höher als im Fall der „Null“-Probe Sand ohne Zuschlagstoffe. Die Energierückgewinnung steigt danach mit weiteren Zugaben deutlich weiter an.

Bei Vlieshäckseln mit PES-Fasern und Bambusfasern ist der Anstieg der Scherfestigkeit bereits ab einer Zugabe von 1 kg/m² sehr signifikant (s. Abb. 3). Der Wert der Scherfestigkeit [N/cm²] verdoppelt sich von 14,7 N/cm² auf 28 N/cm² (s. Bambusfaser). Ausschlaggebend sind offensichtlich die nadelförmigen und faserigen Strukturen von zwei untersuchten Zuschlagstoffen und deren Beitrag zur Armierung des Sandes. Die reinen Vlieshäcksel ohne die zusätzlichen Einzelfasern benötigen zum Erreichen eines annähernd vergleichbaren Scherfestigkeitswertes einen Gewichtsanteil, der 5-mal höher liegt.

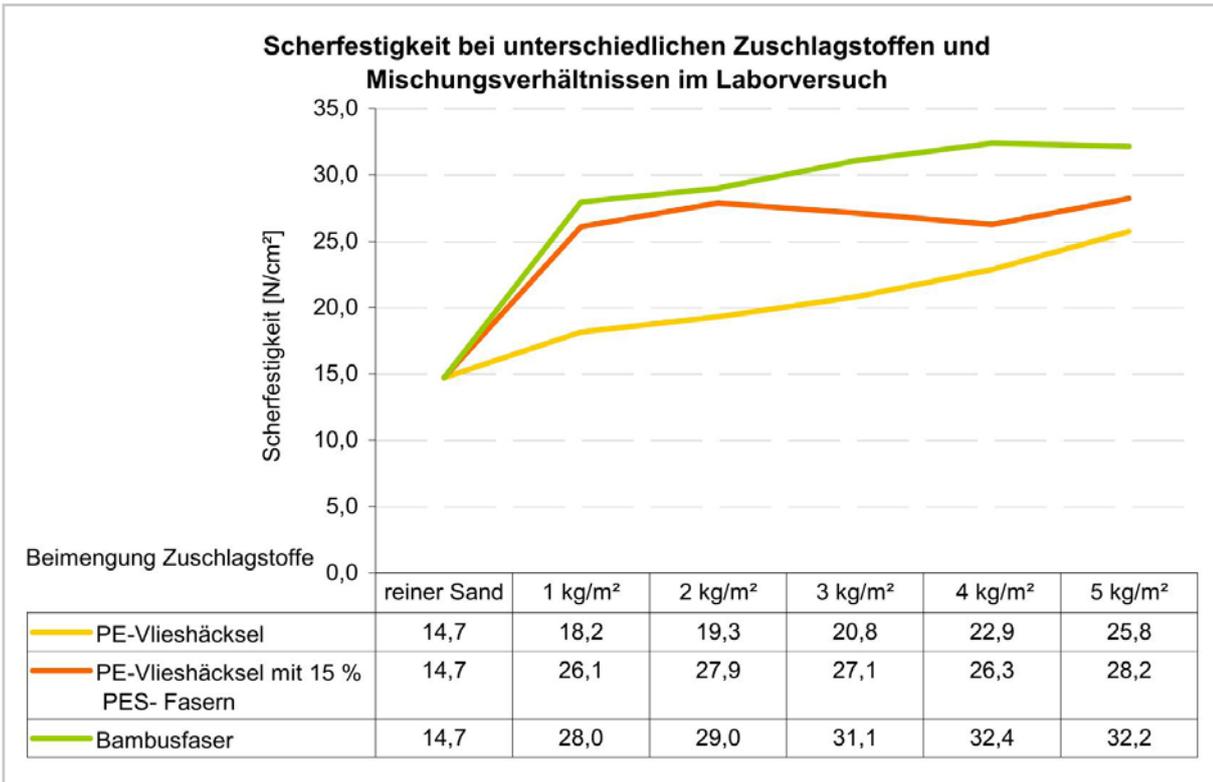


Abb. 3 Vergleich der Scherfestigkeit bei verschiedenen Anteilen und Arten an Zuschlagstoff (Heinrich et al., 2010, S. 161)

Den Vergleich der Untersuchungsergebnisse der Messreihen zeigt die Abb. 4. Aufgrund der dargestellten vielschichtigen Zusammenhänge von Einflussgrößen ist die Entscheidung über

die geeignete kg-Zugaben/m² bzw. über die Mischungsverhältnisse von Zuschlagstoffen zu Sand sehr sorgfältig zu prüfen und u. a. auf die Systembauweise des Platzaufbaus abzustimmen.

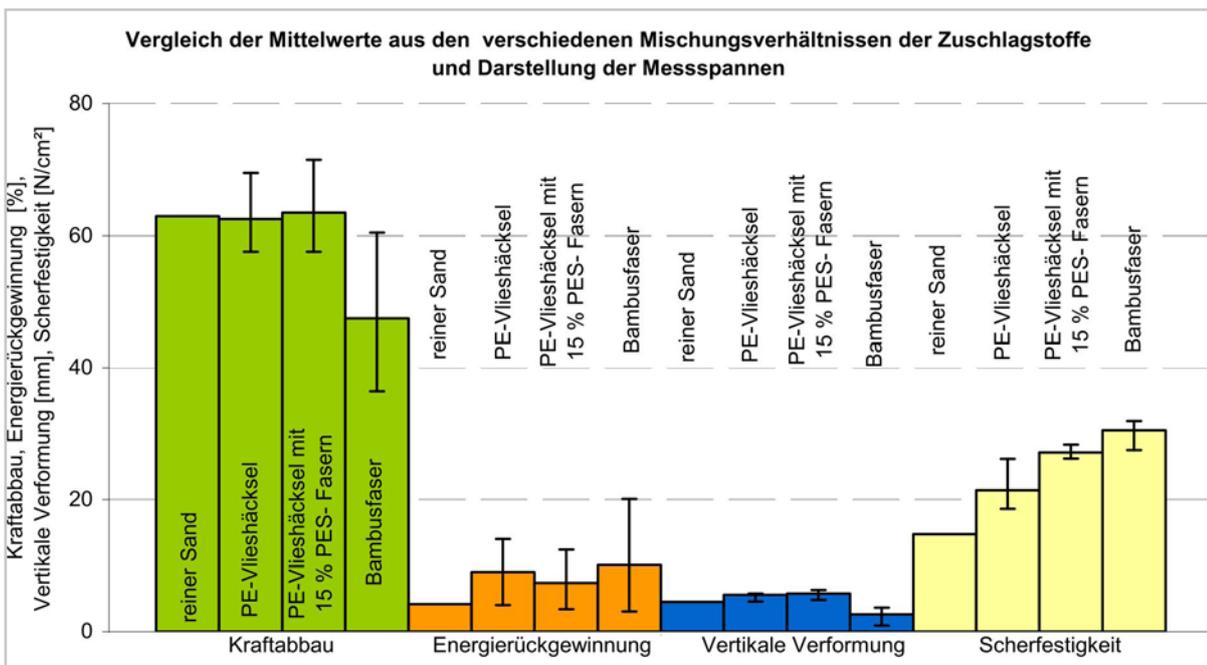


Abb. 4: Vergleich der Versuchsergebnisse der Messreihen (Heinrich et al., 2010, S. 162)

Die Einflüsse der Beimengungen von Zuschlagstoffen auf die Reiteigenschaften wie Kraftabbau, Energierückgewinnung (s. Abb. 2) und Scherfestigkeit (s. Abb. 3), sind abhängig von den Mischungsverhältnissen des jeweiligen Zuschlagstoffes mit Sand.

Heinrich et al. (2010, S. 157 ff) weisen auf einen zeitlich verzögert einsetzenden bzw. zusätzlich wirksamen Armierungseffekt von Zuschlagstoffen in der Tretschicht hin. Diese sind auf auffällige stoffliche Veränderungen der Zuschlagstoffe infolge der Nutzungseinflüsse zurückzuführen (s. Abb. 5).



Abb. 5: Polyestervlieshäcksel (7,5-fach vergrößert) links vor der Beanspruchung, rechts nach der Beanspruchung (Heinrich et al., 2010, S. 158)

Das heißt, die Wirkung von eingesetzten Zuschlagstoffen ist erst nach einigen Wochen abschließend wirksam. Parallel durchgeführte Vergrößerungsaufnahmen von Zuschlagstoffen, die aus simulierten Nutzungsversuchen stammen, zeigen Strukturveränderungen des Probenmaterials. Während der Nutzung auf dem Reitplatz entstehen Schlag- und Druckbelastungen. Es finden auch hydraulische Prozesse durch wechselnde Wassergehalte in der Tretschicht statt. Ferner gibt es schwankende Temperaturamplituden zwischen Mittags- und Nachttemperaturen durch Sonneneinstrahlung oder auch Verdunstungskälte. Bei den untersuchten PE-Vlieshäckseln findet ein sichtbares Zusammenklumpen der Teilchen statt, das Material wird runder. Gleichzeitig zerreißen und zerfasern die Vlieshäcksel und die Oberfläche vergrößert sich.

1.5 Diskussion

1.5.1 Diskussion sportfunktioneller Parameter

Wie unter Abschnitt 1.2 beschrieben, herrscht bereits in der Benennung der sportfunktionellen Eigenschaften Uneinigkeit.

Sogar die Beschreibung des Regelwerksausschlusses der FLL ist wenig konkret. So gibt es im Zusammenhang von Grundsätzen und Anforderungen die Eigenschaften *Tritt-, Rutsch- und Sprungsicherheit*.

Bei funktionellen Anforderungen hingegen sind es die Parameter *Trittsicherheit, Trittfestigkeit, Kraftabbau, Rutschfestigkeit, Scherfestigkeit, Wasserspeicherfähigkeit, Haltbarkeit* und *Bereitbarkeit bei Frost*. Im Weiteren werden die Begriffe *Trittfestigkeit, Scherfestigkeit, Kraftabbau* und *Energierückgewinnung* näher erläutert. Zu guter Letzt kommen noch die *Setzung*, das *Verformungsmodul* und die *Elastizität* der Tretschicht als mögliche zu ermittelnde Messgrößen hinzu (s. Abschnitt. 1.2.2 Begriffe).

In Abb. 6 wird eine Sortierung der genannten Begriffe zu sportfunktionellen Eigenschaften vorgenommen.

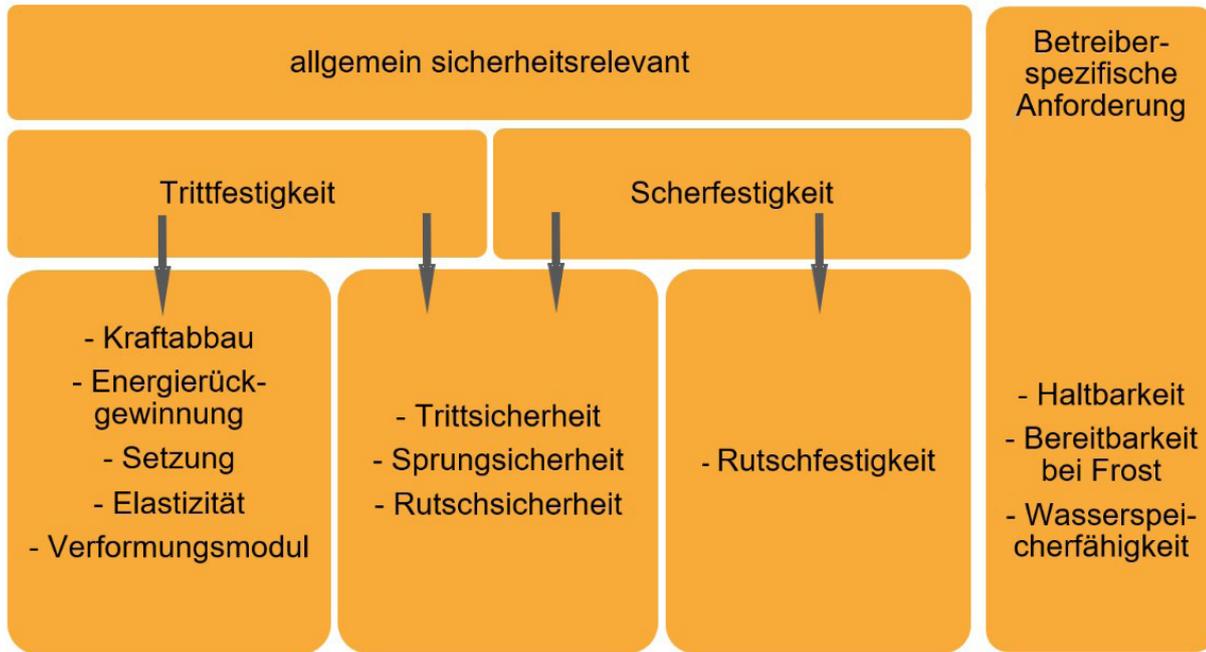


Abb. 6: Übersicht über die sportfunktionellen Begriffe der Reitplatzempfehlungen der FLL (2014)

Zu sehen sind alle in Tab. 1 zusammengetragenen Begriffe, die hier in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht werden. Die beiden grundlegenden Größen, um einen nutzbaren Reitplatz zu beschreiben, sind sicherlich die Trittfestigkeit und die Scherfestigkeit. Beide Parameter müssen ausreichend zutreffen, um sicheres Reiten zu gewährleisten. Aus diesem Grund sind die Eigenschaften Trittsicherheit, Sprungsicherheit und Rutschsicherheit als Ergebnis der beiden Parameter zu betrachten. Die Begriffe des Kraftabbaus, der Energierückgewinnung, der Setzung, der Elastizität und des Verformungsmoduls können alle als Teilbereiche der Trittfestigkeit beschrieben werden. Sie beschreiben die Trittfestigkeit der Tretschicht unter unterschiedlichen Gesichtspunkten.

Der Begriff Rutschfestigkeit wird hier der Scherfestigkeit zugeordnet. In diesem Fall handelt es sich nicht nur um eine ergänzende Beschreibung die Scherfestigkeit betreffend, sondern sogar um ein Synonym für Scherfestigkeit, wodurch die Beschreibung der gleichen Eigenschaft mit zwei Begriffen vorgenommen wird.

Die betreiberspezifischen Anforderungen betreffen Parameter, die für den Reitplatzbetreibenden von großem Interesse sind, die Sportausübenden allerdings nur sekundär betreffen.

Die Bezeichnung der sportfunktionellen Parameter der FEI zeigt nur wenige Übereinstimmungen mit den Bezeichnungen der FLL.

Die Stoßfestigkeit reiht sich mit in die Gruppe der Trittfestigkeit ein, ebenso auch die Dämpfung und die Reaktionsfähigkeit. Der Begriff der Scherfestigkeit wird von beiden Institutionen verwendet. Die Homogenität sollte der dritte elementare Pfeiler neben der Trittfestigkeit und der Scherfestigkeit für einen sicheren, nutzbaren Reitplatz sein. Bewegungen werden vom Gehirn antizipiert, Bewegungsmuster angepasst. Unregelmäßige, unvorhersehbare Oberflächen führen zu Fehleinschätzungen der Huf-Boden-Interaktion und bringen das Risiko hoher, schädlicher Belastungen mit sich (Chateau et al., 2010, S. 494).

Die Beständigkeit bezeichnet ebenfalls die o. g. Haltbarkeit.

Als dritte Bezugsquelle wird die Messung von Aufprallintensität, Beschleunigungswerten, Vibrationen und Abbremswerten aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen herangezogen. Sie werden häufig als Härte gedeutet, geben aber sicherlich auch Hinweise auf andere Parameter der Trittfestigkeit. Messungen der horizontalen Abbremsung bestimmen die Rutschfähigkeit, Scherfestigkeit.

Trittfestigkeit		
<p>Bodenhärte: Ergibt sich aus den Werten der Aufprallintensität, den Beschleunigungswerten, Vibrationen und Abbremswerten.</p> <p>Stoßfestigkeit und Kraftabbau werden beide im Verhältnis der geprüften Oberfläche zu Beton oder Asphalt gemessen. Diese stellen den Maximalwert der Stoßfestigkeit dar (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 45), wohingegen die Differenz der beiden Messungen den Kraftabbau darstellt. (DIN EN 14808, 2006, S. 4)</p> <p>Verformungsmodul: "Kenngröße für die Verformbarkeit des Bodens" (DIN 18134, 2012, S. 5)</p>	<p>Kraftabbau: "Bezeichnet die Fähigkeit eines Sportbodens, die Stoßkraft eines auf die Oberfläche fallenden Körpers zu reduzieren. [...] Es handelt sich um die physikalische Größe der Dämpfung und Nachgiebigkeit infolge eines bestimmten Aufpralls." (DIN EN 14808, 2006, S. 4)</p> <p>Dämpfung: Beschreibt in wie weit die Tretschicht einwirkende Kräfte dämpfen und reduzieren kann (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 87)</p> <p>Setzung: "Verschiebung in Richtung der Schwerkraft aus einer Verformung des Bodens durch Spannungs- und Zeitänderung" (DIN 4019, 2015, S. 5).</p>	<p>Energierückgewinnung: "Bezeichnet den prozentualen Anteil der Eingangsenergie, der von dem Sportboden zurückgegeben wird" (FLL, 2014, S. 45)</p> <p>Reaktionsfähigkeit: Wie aktiv oder federnd sich der Boden für das Pferd anfühlt (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 46).</p> <p>Elastizität: Ist der prozentuale Anteil der Eingangsenergie, die vom Sportboden zurückgegeben wird (DIN EN 12503-3, 2001, S. 3).</p>

Abb. 7: Zusammenhang beschreibender Parameter der Trittfestigkeit

In Abb. 7 werden die Parameter, die im Vorfeld der Trittfestigkeit zugeordnet wurden, in Gruppen bezüglich ihrer Aussage über die Bodeneigenschaften geordnet. Die Abgrenzung zwischen den Eigenschaften ist häufig nicht ganz eindeutig, und die Betrachtung eines oder mehrerer der Parameter gibt wiederum Auskünfte über andere Parameter. Die Stoßfestigkeit und der Kraftabbau haben zum Beispiel die gleiche Bemessungsgrundlage, ziehen aber die umgekehrte Aussage daraus. Darüber hinaus beschreibt der Kraftabbau der Definition nach auch die Dämpfung.

Ebenso ermöglicht die gemeinsame Betrachtung von Energierückgewinnung und Kraftabbau Rückschlüsse auf die Boden Härte und die Elastizität. Der Kraftabbau drückt die Nachgiebigkeit des Bodens aus, die Kraft, die er aus der Bewegung aufnimmt. Ein niedriger Kraftabbau ist somit als Härte zu lesen. Die Energierückgewinnung beschreibt den Anteil der Kraft, der aus dem Boden wieder abgegeben wird und dem Pferd beim Abfußen wieder zur Verfügung steht. Ein hoher Kraftabbau, gepaart mit einer hohen Energierückgewinnung, ist durchaus möglich und spricht für Elastizität.

Ein niedriger Kraftabbau zusammen mit einer hohen Energierückgewinnung zeigt einen harten Boden an.

Dass die Energierückgewinnung mehr Aussage hat als nur die Härte des Bodens auszudrücken, stellten auch Ratzlaff et al. (2005, S. 594) in einer Studie fest. Hier wurden acht Rennpferde mit Beschleunigungsmessgeräten ausgestattet und sportfunktionelle Eigenschaften des Geläufs bei unterschiedlichen Wassergehalten gemessen. Im Anschluss fand außerdem eine Messung mit einem an einem Fahrzeug befestigten Prüfgerät statt, welches Härte, Energierückgewinnung, Verzögerungsrate, Energierückgewinnungsrate und Eindringtiefe (*hardness, rebound, deceleration rate, rebound rate and penetration*) mithilfe eines an einem Fallgewicht montierten Beschleunigungsmessgerätes ermittelte.

Aus ihren Untersuchungsergebnissen schlossen sie, dass die Energierückgewinnung der substantziell wichtigste Faktor bei der Beschreibung dynamischer Eigenschaften ist. Die höchsten Werte der Abbremsung wurden in der Standphase eines Galoppsprunges im Zusammenhang mit den Maximalwerten der Energierückgewinnung gemessen und umgekehrt.

Aufgrund der Erkenntnis, dass die negativen Beschleunigungshöhepunkte im Übergang von Bremsung zu Antrieb auftreten, folgerten sie, dass jede Reduktion der Abbremsung die Effizienz des Galoppsprunges verstärkt, indem ein weicherer Übergang von Bremsung zu Beschleunigung ermöglicht wird. Daraus resultiert geringerer Stress für die Extremitäten während wiederholter Galoppsprünge.

Obwohl die Energierückgewinnung der Tretschicht stark mit der Härte des Geläufs verbunden war, wurden nur wenige signifikante Zusammenhänge zwischen der Härte und den Beschleunigungsmaximalwerten festgestellt. Das weist darauf hin, dass trotz des starken Zusammenhangs von Härte und Energierückgewinnung andere Faktoren innerhalb des heterogenen Aufbaus des Bodens die Energierückgewinnung beeinflussen (Ratzlaff et al., 2005, S. 594).

Idealerweise würde jede funktionelle Eigenschaft durch ein messbares physikalisches Merkmal definiert werden, das mit der mechanischen Interaktion zwischen Huf und Oberfläche zusammenhängt. Dies würde ein Mittel zur Messung und zum Vergleich funktioneller Eigenschaften zwischen verschiedenen Reitplätzen bieten (van der Heijden, 2018, S. 33).

Hobbs et al. (2014) machten mit der folgenden Illustration (s. Abb. 8) einen Versuch, durch den OBST ermittelte Werte (s. Anhang A7, S. 131) anschaulich darzustellen und einzustufen. Sie war auch als mögliche Variante für ein allgemeines Bewertungssystem angedacht.

Ebenso wird die Benennung sportfunktioneller Eigenschaften durch die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Messgeräte erschwert. Dies ist insofern problematisch, da diese unterschiedliche Bodenreaktionen und Eigenschaften messen. Aus diesem Grund sind Ergebnisse unterschiedlicher Messgeräte nicht vergleichbar. Außerdem ist noch kein Messgerät ausreichend für diesen Zweck validiert.

Hierfür müssen zunächst ausreichend Messungen eines Prüfgeräts vorliegen, anhand derer das Spektrum möglicher Messwerte aufgezeigt wird. Dass die alleinige Betrachtung einer Messmethode auf geeigneten Reitplätzen nicht ausreichend aussagekräftig ist, um die Wirkung auf das Pferd einzuschätzen, zeigte Kruse (2012, S. 83 f). Sie verglich die Ergebnisse aus Messungen mit dem Künstlichen Sportler und der Beschleunigungsmessung. Der Künstliche Sportler ermittelt mithilfe eines Fallgewichts den Kraftabbau, die Energierückgewinnung und die vertikale Verformung (s. Anhang A 4, S. 129).

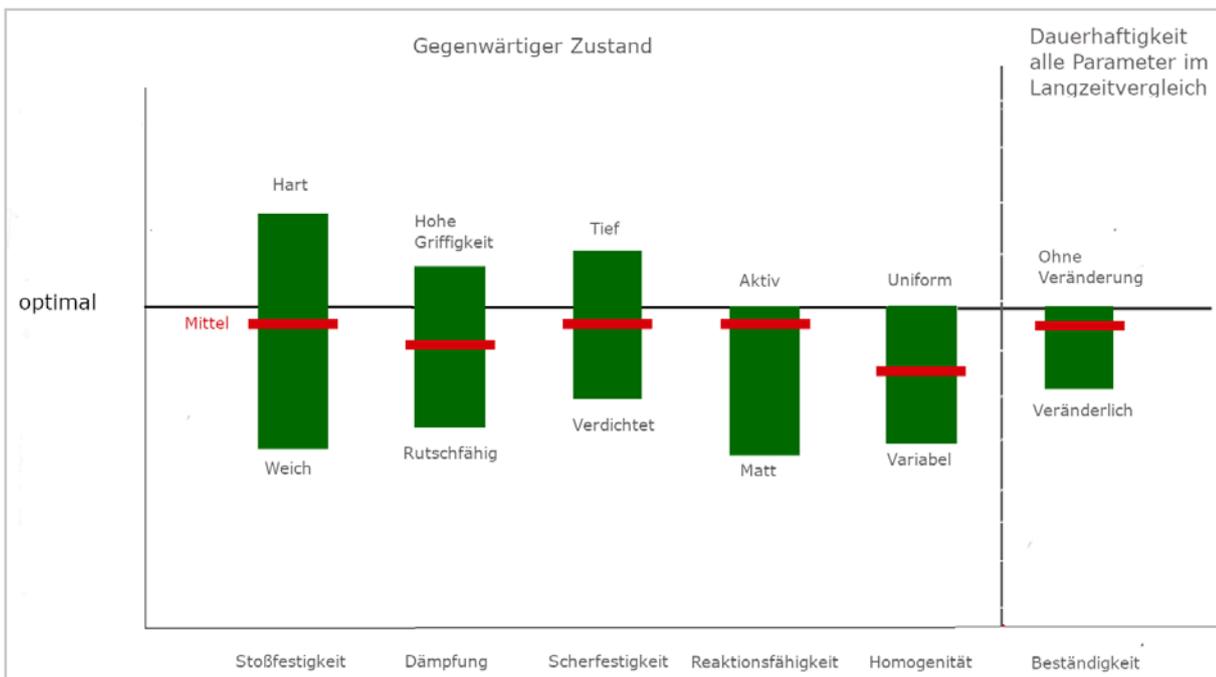


Abb. 8: Eine Methode zur Standardisierung von Tretschichten (Hobbs et al., 2014, S. 31, verändert d. Verf.)

Bei der Beschleunigungsmessung wird ein Messgerät am Pferd befestigt, welches die vom Individuum erfahrbaren Bodeneigenschaften bzw. deren Auswirkungen auf die Bewegung des Pferdes misst (s. Anhang A 1, S. 126). Die Untersuchungen zeigten deutliche Differenzen zwischen den Aussagen der Ergebnisse auf. Während die Ergebnisse des Künstlichen Sportlers die Sandplätze mit synthetischen Zuschlagstoffen härter als die Rasenfläche und das Sand-Sägespäne-Gemisch einstufen, zeigten die Ergebnisse der Beschleunigungsmessung, dass das Pferd die Rasentretschicht härter erfuhr als alle drei Sandtretschichtvarianten. Aus diesen Resultaten kann geschlossen werden, dass eine umfängliche Validierung eines einheitlichen Messverfahrens mit Untersuchungen durch das Pferd untermauert werden sollte (s. z. B. Anhang A 1, (S. 126) Beschleunigungsmessung oder A 3 (S. 128 Videoanalyse). Außerdem helfen an dieser Stelle auch Messungen bekanntermaßen ungeeigneter oder defizitärer Reitplätze, Randbereiche und Grenzen der Wertebereiche aufzuzeigen.

1.5.2 Diskussion der Erkenntnisse zu sportfunktionellen Eigenschaften

Die gewünschten Bodeneigenschaften sind auch von der Disziplin abhängig. Für die Dressur wird grundsätzlich ein weicherer Boden bevorzugt als für das Springen. Der weichere Boden absorbiert einen größeren Anteil der auftretenden Kräfte und diese Fähigkeit bedingt einen grundlegenden Zwiespalt, dem sich Reitende, Reitplatzbauende oder Reitplatzeigentümerinnen und -eigentümer gegenübersehen. Ein Energieverlust bedeutet eine Verringerung der beim Aufußen auftretenden Kräfte, also eine geringere Belastung des Bewegungsapparates des Pferdes. Da weichere Böden häufig tiefe, trockene Böden sind, verfügen diese Böden in der Regel jedoch auch über geringen Scherwiderstand. Damit gehen wiederum höhere Belastungen an den stützenden, stabilisierenden Teil des Bewegungsapparates einher. Zudem ist ein härterer Boden auch immer ein schnellerer Boden. Da der Sportausübende größere Anteile der eingebrachten Energie auch beim Abußen wieder abrufen kann, ermöglicht festerer Boden eine hohe Energierückgewinnung, schnelleres Laufen und höheres Springen.

Somit bedeutet ein Energieverlust auch eine Verringerung der Leistungsfähigkeit. Es muss stets ein Kompromiss für die angestrebte Bodenbeschaffenheit gefunden werden, bei dem die Leistungsfähigkeit und das Verletzungsrisiko gegeneinander abgewogen werden (Hobbs et al., 2014, S. 19).

Ebenso verhält es sich mit der Scherfestigkeit. Auch hier ist das Maß einer ausreichenden Scherfestigkeit disziplinspezifisch unterschiedlich und die Spanne einer genügend großen Scherfestigkeit bis zu einem zu hohen Maß bedeutsam sowohl für die Leistungsfähigkeit als auch zur Gesunderhaltung bis hin zur Sicherheit. Unter Abschnitt 1.4 konnte mithilfe vorangegangener Untersuchungen verdeutlicht werden, dass Zuschlagstoffe die Scherfestigkeit in einem hohen Maß verstärken können.

Zur Beeinflussung anderer sportfunktioneller Eigenschaften soll an dieser Stelle noch die Möglichkeit der Einflussnahme durch Trennschichten erwähnt werden. Da es sich hier um das Einbringen großformatiger Materialien handelt, kann davon ausgegangen werden, dass diese in Bezug auf Trennung und Entsorgung einfacher zu handhaben sind als die Zuschlagstoffe. Holt et al. (2014, S. 954) konnten feststellen, dass die von ihnen verwendete Trennschicht, eine Art Kunststoffgitter, die strukturelle Dämpfung der Tretschicht erhöht. Zu ähnlichen Erkenntnissen kam Vornholt (2013, S. 32), die in ihren Untersuchungen den Einfluss von drei verschiedenen Trennschichten auf die Elastizität, gemessen am Verhältnis von Energierückgewinnung und Kraftabbau, betrachtete. Sowohl bei einer Einlage aus Holzschnitzeln als auch bei den Matten aus Kunststoff und Gummi konnten elastische Merkmale auf der Tretschicht ermittelt werden. Festgehalten werden sollte an dieser Stelle jedoch, dass der Bewegungsapparat des Pferdes in der Lage ist, sich auch einseitigen Belastungen in einem gewissen Maß anzupassen. Murray et al. (2010, S. 35) fanden heraus, dass muskuloskelettales Gewebe weniger verletzungsanfällig ist, wenn von langer Dauer auf einem Platz gearbeitet wird, auch wenn dieser ein höheres Ausgangsrisiko aufweist. Weiterhin leiteten sie ab, dass verschiedene Oberflächen demnach auch von Vorteil sein könnten, indem ihre unterschiedlichen Eigenschaften zu einer verbesser-

ten Fitness und einem vermehrten Muskelaufbau führen könnten. Außerdem wird von ihnen die Anpassung von Knochen, Sehnen und eventuell sogar dem kardiorespiratorischen System erwartet. Im Umkehrschluss gehen sie davon aus, dass für ein Pferd, das nur an eine Oberfläche angepasst ist, ein plötzlicher Wechsel der Oberflächeneigenschaften ein erhöhtes Verletzungsrisiko darstellt. Infolge der veränderten anfänglichen Neubeanspruchung muss davon ausgegangen werden, dass die Gewebe anderen oder auch höheren Belastungen ausgesetzt sind. Auch kann frühe Ermüdung die Folge sein, die die Koordination beeinträchtigt. Da auf einem Turnier Höchstleistungen abgefragt werden, die mit einer Maximalbelastung des Bewegungsapparates einhergehen, sollten hier optimale Bodenverhältnisse angestrebt werden. Nur auf diese Weise kann ein Wettkampf stattfinden, der nahezu unabhängig von den Bedingungen bei der Vorbereitung allen Teilnehmenden die Möglichkeit gibt, gute Leistungen abzuliefern und gleichzeitig die Gesunderhaltung aller Pferde im Fokus hat.

1.6 Fazit

Die Erwartungen und Anforderungen an eine Tretschicht sind vielschichtig und unterscheiden sich stark entsprechend ihren Nutzergruppen. Sand kann als Tretschichtmaterial ausreichend sein. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass nur wenige Sande in Material, Kornform und Korngröße geeignet sind. Die Ressourcen sind begrenzt, was möglicherweise lange Transportwege und hohe Kosten bedingt. Hinzu kommt ein aufwändiges Wassermanagement. Zuschlagstoffe beeinflussen die Eigenschaften der Tretschicht und können so den Defiziten weniger geeigneter Sande entgegenwirken.

Welche Zuschlagstoffe sich derzeit auf dem Markt befinden, soll in Kapitel 2 herausgefunden werden. Es fehlen jedoch weiterhin konkrete Untersuchungen zu Wirkungsweisen der jeweiligen Zuschlagstoffe. Hier herrscht noch großer Forschungsbedarf.

Überdies ist in der derzeitigen Situation festzustellen, dass die Beschreibung und Bewertung eines Reitbodens unterschiedliche Unzulänglichkeiten aufweist, die eine Vergleichbarkeit erschweren. Die Beschreibung der sportfunktionellen Eigenschaften wird darin behindert, dass noch keine einheitlichen Parameter festgelegt wurden. Um diese abzustimmen, muss auch eine Prüfmethode standardisiert werden, die Eigenschaften zufriedenstellend ermittelt und allgemein angewendet werden kann. Außerdem muss eine Möglichkeit bestimmt werden, gemessene Eigenschaften einzuordnen. Disziplinspezifisch müssen Zielgrößen gefunden und Grenzbereiche definiert werden. Auf diese Weise kann die Eignung einer Tretschicht eingeordnet werden.

Um diesen Erkenntnissen zu entsprechen, müssen weitere Untersuchungen durchdacht werden. Versuche mit einer Auswahl vielversprechender Prüfgeräte müssen gegebenenfalls durch weitere systematische Untersuchungen auf Reitplätzen ergänzt werden. So ist eine Überprüfung des Wassergehaltes notwendig, um die Ergebnisse einordnen zu können. Die Messung der vertikalen Verformung ist ein einfach zu messender Wert, der bereits eine große Aussagekraft hat. In jedem Fall müssen alle Prüfgeräte mit Wiederholungsversuchen in statistisch ausreichender Anzahl zum Einsatz kommen.

In einem weiteren Schritt sollten ergänzende Untersuchungen überlegt werden, die eine Einordnung der gemessenen Werte unterstützen. Denkbar ist dies mithilfe von Vergleichsmessungen durch die Beschleunigungsmessung oder eine Analyse von Videoaufnahmen. Eine Alternative wäre auch der Vergleich zu der subjektiven Beurteilung durch Reitende. So können schließlich Grenzwerte für die Messergebnisse geeigneter Prüfverfahren ermittelt werden. Dabei ist die Bandbreite zwischen sehr positiv und sehr negativ beurteilten Reiteigenschaften auszuschöpfen.

2 Materialerfassung von synthetischen Zuschlagstoffen

2.1 Einleitung

2.1.1 Problemstellung

Zuschlagstoffe sollen die Eigenschaften der Tretschichten verbessern. Eingesetzt werden synthetische Zuschlagstoffe (z. B. Vlieshäcksel oder Fasern), organische Zuschlagstoffe (z. B. Holzhäcksel) oder mineralische Zuschlagstoffe (z. B. Lava).

Die synthetischen Zuschlagstoffe sind von großer Vielfalt gekennzeichnet. Es handelt sich um Stoffe, die i. d. R. zu anderen Zwecken produziert (z. B. Geovliese oder Teppiche) und für den Einsatz im Reitboden geschnitten bzw. zerkleinert werden.

Die Herstellenden der Reitböden verfügen über unterschiedlichste Erfahrungen und Ideen, aufgrund derer zahlreiche individuelle Lösungen zur Erreichung des optimalen Reitbodens entwickelt werden. Eine Bestandsaufnahme zum Material der synthetischen Zuschlagstoffe fehlt bisher.

2.1.2 Ziel

Ziel ist es, einen Überblick über das Spektrum der synthetischen und organischen Zuschlagstoffe sowie deren Verwendung zu gewinnen. In Abstimmung mit dem Projektbeirat ist eine schriftliche Umfrage zu den Zuschlagstoffen vorzubereiten und durchzuführen. Diese Umfrage ist gegebenenfalls durch telefonische Nachfragen zu ergänzen und abschließend mit Schwerpunkt auf den synthetischen Zuschlagstoffen auszuwerten.

Nach Vorhabenbeschreibung zum Forschungsantrag ist ausschließlich die Materialerfassung der synthetischen Zuschlagstoffe durch eine Herstellerumfrage vorgesehen. In Abstimmung mit dem Projektbeirat sind auch organische Zuschlagstoffe zu berücksichtigen. Zusätzlich zur Materialerfassung sind Angaben u. a. zum Einbau und zur Pflege² zu erfassen. Mineralische Zuschlagstoffe werden nicht berücksichtigt.

²Der Begriff Pflege in diesem Dokument meint Maßnahmen zur Erhaltung des Einbauzustandes und wird im Sinne des Begriffs Instandhaltung der DIN 31051 verwendet.

2.1.3 Vorgehensweise

Die Umfrage zum Zuschlagstoff bildet den ersten Schritt. Es werden Angaben zu den Adressaten der Umfrage gemacht, der Fragenkatalog vorgestellt und die Durchführung der Umfrage erläutert (Abschnitt 2.2).

Die Ergebnisse der schriftlichen und mündlichen Befragungen werden anonymisiert und wertfrei in tabellarischer Form übersichtlich gegenübergestellt. Das gilt auch für die Inhalte der beigefügten Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen (Abschnitt 2.3).

Die Ergebnisse werden anschließend ausgewertet und diskutiert (Abschnitt 2.4).

Abschließend wird ein zusammenfassendes Fazit gezogen und es werden Empfehlungen ausgesprochen (Abschnitt 2.5).

2.2 Die Umfrage zum Zuschlagstoff

2.2.1 Adressaten der Umfrage

Die Umfrage ist an Firmen gerichtet, die mit Zuschlagstoffen für die Verwendung in Tretschichten auf Reitplätzen in nachfolgender Art und Weise befasst sind:

- Firmen, die Zuschlagstoffe „nur“ herstellen und nicht selber einbauen,
- Firmen, die Zuschlagstoffe von Herstellenden beziehen und „nur“ den Reitboden vor Ort herstellen oder
- Firmen, die Zuschlagstoffe selber herstellen (ggf. unter Verwendung fremd hergestellter Zuschlagstoffe) und anschließend den Reitboden vor Ort herstellen.

Den Ausgangspunkt der Adressenliste der Firmen bildet die Zusammenstellung eines Mitglieds des Projektbeirates. Diese Liste wird mit Hilfe einer Internetrecherche aktualisiert und ergänzt. Letztlich sind 46 Firmen in Deutschland aufgeführt.

2.2.2 Fragenkatalog

Der Fragenkatalog ist das Ergebnis einer intensiven Diskussion im Projektbeirat. Es galt eine gewisse Balance zu finden, um einerseits möglichst viele Informationen aus der Umfrage zu gewinnen und andererseits den Aufwand der Beantwortung überschaubar zu halten, um einen größtmöglichen Rücklauf zu erreichen.

Insgesamt umfasst der Fragenkatalog 12 Fragen (s. Abb. 1).

2.2.3 Durchführung der Umfrage

Das Anschreiben zur Umfrage enthält ausreichend Informationen, um den Adressaten zu verdeutlichen, dass Inhalte und Ergebnisse des Forschungsvorhabens für alle, die sich mit Reitplätzen beschäftigen, von Interesse sind. Der Text ist möglichst kurzgehalten, damit er vollständig gelesen und wahrgenommen werden kann.

Forschungsvorhaben zum Einsatz von Zuschlagstoffen bei Reitsanden
Dieses Projekt wird mit Forschungsmitteln des Bundesinstituts für Sportwissenschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Umfrage zum Zuschlagstoff

- 1) Name des Herstellers: _____
- 2) Name des Produktes: _____
- 3) Um welchen Zuschlagstoff handelt es sich?
 synthetischer Zuschlagstoff organischer Zuschlagstoff
 Beschreibung des Zuschlagstoffes: _____

- 4) Geben Sie die Größenordnung des Zuschlagstoffes an (z. B. 2 bis 7 cm): _____
- 5) Liegen ein Produktdatenblatt, Prüfzeugnisse, Zertifikate oder Ähnliches vor? _____
 (Bitte gerne als Kopie, PDF, Handyfoto oder Link beifügen bzw. zusenden)
- 6) Welche Eigenschaften des Reitplatzes sollen durch die Zugabe dieses Produktes verbessert werden? (z. B. Trittfestigkeit, Wasserhaltevermögen)

- 7) Welche Menge des Materials soll der Tretschicht zugegeben werden?
 _____ kg/m² oder _____ kg/m³
- 8) Gibt es Einbauempfehlungen? _____
 (Bitte gerne als Kopie, PDF, Handyfoto oder Link beifügen bzw. zusenden)
- 9) Gibt es spezielle Pflegehinweise aufgrund der Zuschlagstoffe?

- 10) Muss von Zeit zu Zeit neuer Zuschlagstoff aufgebracht werden?
 (wenn ja, in welchen Zeitabständen und Mengen?)

- 11) Gibt es Empfehlungen zur weiteren Verwendung/Entsorgung?

- 12) Haben Sie weitergehende Hinweise oder Vorschläge zur Bearbeitung unseres Vorhabens?

Vielen Dank für Ihre Mitwirkung!

Abb. 1: Umfrage zum Zuschlagstoff

Das Anschreiben und die Umfrage zum Zuschlagstoff wurden am 31.08.2020 mit der Bitte verschickt, den ausgefüllten Fragebogen bis zum 15.09.2020 zurückzusenden. Ein an die Hochschule Osnabrück adressierter DIN A4 Umschlag mit der Aufschrift „Materialprobe“ wurde für die etwaige Zusendung von Proben der im Betrieb vorhandenen Zuschlagstoffe beigelegt.

Von 46 angeschriebenen Firmen können 5 aufgrund ihrer Rückmeldungen nicht weiter berücksichtigt werden: 2 bieten keine Tretschichten an, 2 vertreiben keine Zuschlagstoffe und 1 verwendet keinen Zuschlagstoff, sondern baut Sand und Holzhäcksel in 2 getrennten Schichten ein.

Von den damit verbliebenen 41 Firmen haben 12 die Umfrage schriftlich beantwortet (ca. 29 %). Zu weiteren 16 Firmen wurde bis Dezember 2020 telefonisch Kontakt aufgenommen. Hier entwickelten sich 7 informative Gespräche. 2 Gespräche waren wenig informativ, 2 weitere Ansprechpartner waren nicht zu Gesprächen bereit und 5 Firmen/Ansprechpartner konnten trotz mehrfacher Versuche nicht erreicht werden.

Damit ergibt sich insgesamt ein Datenpool aus schriftlichen und mündlichen Angaben von 21 Firmen (ca. 50 %).

2.3 Ergebnisse der Umfrage

Die Ergebnisse der Umfrage sind tabellarisch gegenübergestellt.

2.3.1 Schriftliche Angaben

Tab. 1 enthält die schriftlichen Angaben der 12 Firmen. Die Tabelle ist nach den 12 Fragen gemäß Fragenkatalog und den insgesamt 16 genannten Zuschlagstoffen gegliedert (Zeilen 1 bis 16).

Zunächst sind die Herstellenden der Zuschlagstoffe (*Frage 1 des Fragenkatalogs*) entsprechend der Häufigkeit der Nennung sortiert (7 x A, 3 x B, 2 x C und je 1 x D, E, F, G). Die Produktnamen (*Frage 2*) sind mit dem Buchstaben der Herstellenden und einer durchlaufenden Nummerierung, sofern es sich um verschiedene Produktbezeichnungen handelt, versehen.

Art des Zuschlagstoffes (*Frage 3*) ist unterschieden und durch farbliche Unterlegung besonders hervorgehoben:

	synthetischer Zuschlagstoff
	synthetischer Zuschlagstoff, biobasiert
	organischer Zuschlagstoff

Ergänzend dazu sind 14 Beschreibungen der 16 Zuschlagstoffe angegeben. Zu 13 Zuschlagstoffen ist eine Materialprobe beigelegt (ebenfalls *Frage 3*).

In der folgenden Spalte sind die 12 antwortgebenden Firmen in anonymisierter Form (Fa. 1 bis Fa. 12) aufgeführt.

Die Größenordnung der Zuschlagstoffe (*Frage 4*) ist für 12 Zuschlagstoffe zahlenmäßig angegeben.

Die Frage, ob Produktdatenblätter, Prüfzeugnisse, Zertifikate oder Ähnliches vorliegen (*Frage 5*), wurde für 15 der 16 Zuschlagstoffe bejaht. Entsprechende Unterlagen wurden in 14 Fällen beigelegt.

Zu allen 16 Zuschlagstoffen liegen Angaben zu den Eigenschaften des Reitplatzes, die durch die Zugabe des Produktes verbessert werden sollen, vor (*Frage 6*).

Die Antworten zu den Fragen 7 bis 12 sind dem Teil 2 der Tab. 1 zu entnehmen.

Für 14 der 16 Zuschlagstoffe liegen Angaben zu den Zugabemengen des Zuschlagstoffes vor (*Frage 7*). Die Mengen sind teilweise als konkrete Zahlenangabe und teilweise als Bandbreite angegeben.

Zur Frage nach Einbauempfehlungen (*Frage 8*) werden nur in etwa für die Hälfte der Zuschlagstoffe Angaben gemacht, die zudem überwiegend kurz gefasst sind.

Ebenso werden die Fragen nach speziellen Pflegehinweisen aufgrund der Zuschlagstoffe (*Frage 9*), zu gegebenenfalls nachträglichem Auftrag von neuem Zuschlagstoff (*Frage 10*), zur Empfehlung der weiteren Verwendung bzw. Entsorgung des Tretschichtmaterials mit Zuschlagstoff (*Frage 11*) und zu weitergehenden Hinweisen oder Vorschlägen zur Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens (*Frage 12*) mehr oder weniger ausführlich bzw. präzise beantwortet.

Zur Auswertung und Diskussion sämtlicher Angaben siehe Kapitel 2.4.

Tab. 1: Schriftliche Angaben zur Umfrage zum Zuschlagstoff (Teil 1)

Bezug zur Frage gemäß Fragenkatalog									
1	2	3	3	3	4	5	5	6	6
Hersteller Zuschlagstoff	Produktname	Produkt	Beschreibung des Zuschlagstoffs	Probe vorhanden	Eingeschickt von Firma	Größe Zuschlagstoff	Liegen ein Produktdatenblatt, Prüfzeugnisse, Zertifikate vor?	Beigefügte Produktdatenblätter, Prüfzeugnisse, Zertifikate	Welche Eigenschaften des Reibplatzes sollen durch die Zugabe dieses Produktes verbessert werden?
1	A1	Vlies	k. A.	Ja	Fa. 1	15-40 mm, Ø 30 mm	Ja	Auszug aus Prüfbericht (1 S.), Sicherheitsdatenblatt (5 S.), Untersuchung nach DIN 18035-7 (3 S.), Zertifikat über das Qualitätsmanagement-System des Herstellers nach DIN EN ISO 9001:2015 (1 S.)	Elastizität, Scherfestigkeit
2	A2	Vlies	Spinnvliesstoff (siehe Sicherheitsdatenblatt beiliegend)	Ja	Fa. 2	ca. 1-5 cm	Ja	Sicherheitsdatenblatt (5 S.), Untersuchung nach DIN 18035-7 (3 S.)	Stabilität, Elastizität, Trittsicherheit, Feuchtigkeitsbindung und Speicherung der Feuchtigkeit im Boden und vieles mehr
3	A3	Vlies	Blindenverfestigte Mischung aus Polyethylenerephthalat, Polyacrylat, Copolymer aus Acrylsäureestern	Ja	Fa. 3	2-4 cm	Ja	Auszug aus Prüfbericht (1 S.), Sicherheitsdatenblatt (5 S.)	Trit- und Scherfestigkeit, Wasserverbrauch reduzieren
4	A4	Vlies	PES Spinnvliesstoff, weiß	Ja	Fa. 4	k.A.	Ja	Auszug aus Prüfbericht (1 S.), Sicherheitsdatenblatt (5 S.), Untersuchung nach DIN 18035-7 (3 S.)	Vor allen Dingen die Scherfestigkeit. Manche Kunden versprechen sich auch eine verbesserte Elastizität.
5	A5	Vlies	Vlieshäcksel	Nein	Fa. 5	bis ca. 5 cm	Ja, ist bekannt	-	Elastizität, Trittsicherheit, Pflegeaufwand, Wassererhalt
6	A6	Faser	Stapelfaser (siehe Sicherheitsdatenblatt, beiliegend)	Ja	Fa. 2	ca. 2-4 cm	Ja	Sicherheitsdatenblatt (5 S.)	Fasern wirken wie Wurzeln im Sand und erhöhen die Stabilität und Scherfestigkeit von Tretschichten
7	A7	Faser	k. A.	Ja	Fa. 1	k.A.	Ja	Produktinformation (2 S.), Sicherheitsdatenblatt (4 S.)	Scherfestigkeit
8	B1	Faser	Fäden	Ja	Fa. 6	5 cm	k. A.	-	Erhöhte Stabilität v. a. bei sehr lockeren, rölligen Sanden. Boden wird fester, griffiger und rutschloser.
9	B2	Siebgut	Mikrohackschmitzei mit Kanienlängen bis zu 30 mm, 90% Fichte - Rest Lärche/Douglasie, rel. Holzfeuchte 35-70%	Ja	Fa. 6	bis zu 30 mm	Ja	Zertifikat für den PEFC-Produktkennnachweis (2 S.)	Erhöhte Elastizität, erhöhte Wasserspeicherkapazität, gelenkschonend, Boden friert weniger schnell ein.
10	B3	Vlies	Vlies geschnitten weiß	Ja	Fa. 6	1-5 cm	Ja	Datenblatt (1 S.), Auszug aus Prüfbericht (1 S.), Sicherheitsdatenblatt (5 S.), Untersuchung nach DIN 18035-7 (2 S.), Prüfbericht nach BbodSchV Boden-Mensch (5 S.), Prüfbericht nach BbodSchV Boden-Grundwasser (5 S.), Prüfbericht von einer Mischprobe (4 S.)	Erhöhung: Trittsicherheit, Stabilität, Scherfestigkeit, Wasserspeicherung, Federung
11	C1	Vlies	geschnittene Vliesstoffe	Ja	Fa. 7	0,5-3 cm	Ja, siehe Kopie	Datenblatt (1 S.)	Scherfestigkeit, Bodenstabilität, Wasserhaltevermögen
12	C1	Vlies	geschnittene Vliesstoffe	Ja	Fa. 8	0,5-3 cm	Ja, siehe Kopie	Datenblatt (1 S.)	Scherfestigkeit, Bodenstabilität, Wasserhaltevermögen
13	D1	Vlies	Vliespartikel aus Polyester, Polypropylen und Polyethylen	Ja	Fa. 9	2-5 cm	Ja	Datenblatt (1 S.)	Erhöhte Trittsicherheit, Scherfestigkeit, Wasserhaltevermögen (nur bei Standardplätzen und Hallenböden)
14	E1	Kunststoffgemisch	Mix Kunststoffe / Polyolefine	Ja	Fa. 10	k. A.	Liegt bei!	Sicherheitsdatenblatt (1 S.)	Durchtrittefestigkeit / längeres Wasserhaltevermögen
15	F1	Vlies	unterschiedlich strukturierte Faser, verzahnt sich mit dem Reitsand	Nein	Fa. 11	Frage verschiebe ich nicht	Ja	Sicherheitsdatenblatt (9 S.)	Boden erhält mehr "Grip", Elastizität
16	G1	Vlies	Gewebeabschnitte und Fasern aus Polyester und Polypropylen	Nein	Fa. 12	2-6 cm	Spezifikation ist beigefügt	Spezifikation (1 S.)	Dämpfung und Erhöhung der Scherfestigkeit, Trittsicherheit, Trittleie, Feuchtigkeitsbindung

Legende:
 synthetischer Zuschlagstoff
 synthetischer Zuschlagstoff, biobasiert
 organischer Zuschlagstoff

Tab. 1: Schriftliche Angaben zur Umfrage zum Zuschlagstoff (Teil 2)

		Bezug zur Frage gemäß Fragenkatalog				10	11	12
7	8	9	10	11	12			
Weiche Menge des Materials soll der Tretschicht zugegeben werden?	Gibt es Einbauempfehlungen?	Gibt es spezielle Pflegehinweise aufgrund der Zuschlagstoffe?	Muss von Zeit zu Zeit neuer Zuschlagstoff aufgetragen werden? (Wenn ja, in welchen Abständen und Mengen?)	Gibt es Empfehlungen zur weiteren Verwendung/Entsorgung?	Haben Sie weitergehende Hinweise oder Vorschläge zur Bearbeitung unseres Vorhabens?			
1 1,5-3 kg/m ²	Vorgemischt oder Einfräsen	Anderer Bahnplaner als bei Sand pur	Ja, je nach Pflege 6-10 Jahre	nach behördlichen Vorschriften deponiert oder in geeigneten Verbrennungsanlagen verbrannt	k. A.			
2 2-3 kg/m ² bei einer Schichtdicke von ca. 10 cm	Nein, da Verkauf nur an Reitplatzbauer und Fachhändler	Es wird empfohlen, ein geeignetes Reitplatzpflegegerät zu verwenden.	Langfristig haltbar. Je nach Nutzung oft ca. 10 Jahre oder länger. Kann bedarfsweise mit neuem Sand und Zuschlagstoffen nachgearbeitet werden.	Siehe Hinweis auf dem Sicherheitsdatenblatt	Wir möchten gerne bei den Untersuchungen und dem Projekt auf dem Laufenden gehalten werden.			
3 1 kg/m ² bzw. 2 kg/m ³	verteilen und einfräsen	Pferdäppl und Viessstücke trennen	In der Regel kein weiteres Auffüllen	Füllboden	mehr Sachlichkeit			
4 2 kg/m ² bzw. 20 kg/m ³ das kommt auf die Disziplin an	k. A.	Nein, aufgrund der erhöhten Festigkeit ist von einem verringerten Pflegebedarf auszugehen.	Nein, bisher noch nicht vorgekommen. Sogar eher im Gegenteil, da das Vlies sich zum Teil durch die mechanische Belastung zerreißt und der Effekt verstärkt wird.	Es gibt keine besonderen Empfehlungen	Bei der Diskussion um künstliche Zuschlagstoffe wäre es schön, wenn auch einmal über die negativen Seiten eines Verboles gesprochen würde => Risiken für Pferd und Reiter. Heutige Alternativen können nur sehr bedingt als solche bezeichnet werden.			
5 1-1,5 kg/m ²	k. A.	Ja, hinsichtlich des Einsatzes spezieller Planer, zusätzliche Arbeit mit Floor-care	Ja, nach ca. 5 Jahren	Es mussten noch keine Böden entsorgt werden (15 Jahre ca.)	k. A.			
6 200-500 g/m ² bei einer Tretschichtdicke von ca. 10 cm	Nein, da Verkauf nur an Reitplatzbauer und Fachhändler	Es wird empfohlen ein geeignetes Reitplatzpflegegerät zu verwenden.	Langfristig haltbar. Je nach Nutzung oft ca. 10 Jahre oder länger. Es kann bedarfsweise mit neuem Sand und Zuschlagstoffen nachgearbeitet werden.	Siehe Hinweis auf dem Sicherheitsdatenblatt	Wir möchten gerne bei den Untersuchungen und dem Projekt auf dem Laufenden gehalten werden.			
7 0,4-0,5 kg/m ²	Vorgemischt oder Fräsen	Anderer Bahnplaner als bei Sand pur	Ja, je nach Pflege 2-5 Jahre	Unter Kompositbedingungen abbaubar	k. A.			
8 nach Bedarf	Verweis auf Internetseite des Herstellers	Anderer Planer als bei reinem Sand, Material muss beim Abappeln separat gelagert werden	Bei Bedarf, wenn Material in der Tretschicht fehlt (in Verb. mit Sand)	Ja, das Material muss gesondert entsorgt werden, wir entsorgen das Material, wenn es von uns kommt, fachgerecht für unsere Kunden.	Es ist sehr wichtig, an der Funktionalität, Langlebigkeit und Qualität von natürlichen Stoffen zu arbeiten - hier fehlen noch sehr gute natürliche, bezahnbare, langlebige und funktionale Produkte, die die Fäden ersetzen können.			
9 30,3 kg bei 10 cm Tretschicht	Ja, siehe beigefügte Unterlagen	Da Naturprodukt, muss Boden regelmäßig ausgetauscht werden (organischer Zersetzungprozess)	Bei Bedarf, wenn Material in der Tretschicht fehlt (in Verbindung mit Sand) - entsteht durch Abappeln, Schleppen, Austrag. Bei 20x40 m ca. 1 Zug Nachfüllung jährlich; Austausch komplett ca. alle 6-7 Jahre	Kein Sondermüll, recyclebar	Es ist sehr wichtig, an der Funktionalität, Langlebigkeit und Qualität von natürlichen Stoffen zu arbeiten - hier fehlen noch sehr gute natürliche, bezahnbare, langlebige und funktionale Produkte, die das Vlies ersetzen können.			
10 Basic: 2,5 kg/m ² Sports: 4 - 5 kg/m ²	Siehe beigefügte Unterlagen	Anderer Planer als bei reinem Sand, Material muss beim Abappeln separat gelagert werden	Bei Bedarf, wenn Material in der Tretschicht fehlt (in Verbindung mit Sand) - entstehen durch Abappeln, Schleppen, Austrag (bei 20x40 m Empfehlung ca. 1-2 Jahre 1 Zug Material Sand-Vlies-Gemisch)	Ja, das Material muss gesondert entsorgt werden, wir entsorgen das Material, wenn es von uns kommt, fachgerecht für unsere Kunden.	Es ist sehr wichtig, an der Funktionalität, Langlebigkeit und Qualität von natürlichen Stoffen zu arbeiten - hier fehlen noch sehr gute natürliche, bezahnbare, langlebige und funktionale Produkte, die das Vlies ersetzen können.			
11 2,75 kg/m ²	Nein	Der Boden muss feucht gehalten werden.	Ja, Ca. nach 2 Jahren. Menge variiert nach Flächengröße und Beanspruchung	Nein	Nein			
12 2,75 kg/m ²	Nein	Der Boden muss feucht gehalten werden.	Ja, Ca. nach 2 Jahren. Menge variiert nach Flächengröße und Beanspruchung	Nein	Nein			
13 1 kg/m ²	nein, wir bauen i. d. R. selbst ein	Bahnplaner muss für Vliesstoffe geeignet sein, Reitboden feucht zu halten, um Vlies an Sand zu binden.	i. d. R. nein, nur bei intensiver Nutzung des Reitbodens	Bisher nicht. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit im eigenen Betrieb anzunehmen zur weiteren Verwertung oder Entsorgung in Abhängigkeit vom Anlieferungszustand.	k. A.			
14 2,5-3 kg/m ²	Mit dem Sand mixen	Nein	Teilweise bei hoher Beanspruchung	Normaler Abfall	Das Material ist bereits unter dem Namen ... von der Hochschule untersucht worden			
15 1-1,5 kg/m ²	per Kreiselege für Endverbraucher, bei uns im Zwangsmischer	Pflegegerät, was für Vliesböden geeignet ist	Kann man nicht pauschal beantworten, eher nicht	k. A.	Die Auswaschung bezüglich Mikroplastik ins Grundwasser - allerdings muss der Unterbau von mind. 20 cm beachtet werden durch den das Wasser hindurch dringt			
16 k. A.	k. A.	entsprechend der Platzpflege	eine Haltbarkeit über mehrere Jahr ist gewährleistet	über Deponien	k. A.			

2.3.2 Mündliche Angaben

Tab. 2 enthält die mündlichen Angaben der 16 Firmen, zu denen telefonischer Kontakt aufgenommen wurde. Eine umfassende Gesprächsführung anhand des Fragenkataloges ist aufgrund der unterschiedlichen Mitteilungsbereitschaft und Gesprächsdauer nicht möglich gewesen. Da auch keine präzisen Angaben zu den Herstellenden und Produktnamen der Zuschlagstoffe (wie in Tab. 1) vorliegen, ist hier die Tab. nach den befragten Firmen (Fa. 13 bis Fa. 28, in Fortführung der Tab. 1) sortiert. Es werden Angaben zu vier fachlichen Aspekten und der Gesprächsbereitschaft gemacht. Das mag auf den ersten Blick ein Ungleichgewicht zu den Ergebnissen der schriftlichen Umfrage darstellen, zeigt aber in der Auswertung und Diskussion (Abschnitt 4) durchaus interessante Aspekte.

Die Art des Zuschlagstoffes (vgl. Frage 3 des Fragenkataloges) ist ebenfalls unterschieden in:

	synthetischer Zuschlagstoff
	synthetischer Zuschlagstoff, biobasiert
	organischer Zuschlagstoff

Die Auskunft gebenden Firmen (Fa. 13 bis Fa. 19) benennen neben synthetischen Zuschlagstoffen bis zu drei organische Zuschlagstoffe. Auch werden insgesamt drei biobasierte synthetische Zuschlagstoffe beschrieben.

Die Frage nach vorliegenden Produktdatenblättern, Prüfzeugnissen, Zertifikaten oder Ähnlichem (vgl. Frage 5) wird nur in sehr geringem Maß beantwortet. Entsprechende Unterlagen werden nicht eingereicht.

Zu fast allen genannten Zuschlagstoffen liegen Angaben zu den Eigenschaften des Reitplatzes, die durch die Zugabe des Produktes verbessert werden sollen, vor (vgl. Frage 6).

Zur Frage, ob von Zeit zu Zeit neuer Zuschlagstoff aufgebracht werden muss (vgl. Frage 10), werden keine bis sehr detaillierte Aussagen getroffen.

Alle erreichten und gesprächsbereiten Personen waren freundlich bis hilfsbereit, teilweise sehr interessiert (Tab. 2, S. 37, letzte Spalte).

2.3.3 Beigefügte Produktunterlagen

Tab. 3 (S. 38) enthält eine Zusammenstellung der der Umfrage beigefügten Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen (s. auch Tab. 1, Frage 5).

In der ersten Spalte der Tabelle sind die Unterlagen entsprechend ihrer Bezeichnung unterschieden. Die zweite Spalte zeigt, für welche Zuschlagstoffe (Herstellende/Produktname) diese Unterlage eingereicht ist.

Sogenannte *Sicherheitsdatenblätter* liegen entsprechend ihrer Benennung für geschnittene Vliesstoffe (2 Herstellende A und B mit insgesamt 5 Produkten) und in gleichlautender Form für Polyester-Fasern (ebenfalls Herstellende A mit 1 Produkt) vor. Weiterhin ist je 1 Sicherheitsdatenblatt für Reitbodenzuschlagstoff (Herstellende F, 1 Produkt) und für Kunststoff-Mix (Herstellende E, 1 Produkt) aufgeführt. Letzteres besteht aus einer Mischform aus deutscher und englischer Sprache. Mit der Überschrift *Datenblatt* sind insgesamt 3 Produkte versehen, für 2 davon ist das Datenblatt identisch. Weiterhin liegt für 1 Produkt eine sogenannte *Spezifikation* vor. Für insgesamt 4 Produkte von 2 Herstellenden ist ein identischer Auszug aus einem Prüfbericht „Luftuntersuchung in einer Reithalle“ beigefügt. Ebenfalls 4 Produkte von 2 Herstellenden sind in der *Untersuchung nach DIN 18035-7 Sportplätze, Teil 7: Kunststoffrasensysteme* beschrieben. Für 1 Produkt liegt je 1 *Prüfbericht* nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) Wirkungspfad Boden-Mensch bzw. Wirkungspfad Boden-Grundwasser vor. Ein weiterer Prüfbericht umfasst die Analyse einer Mischprobe aus verschiedenen Häckselmischungen. Zudem ist ein *Zertifikat Qualitätsmanagement-System* eingereicht.

Die dritte Spalte beschreibt den Umfang der Unterlagen in Seitenzahlen. Die Umfänge der vorliegenden Unterlagen umfassen zwischen einer und neun DIN A4-Seiten.

In der vierten Spalte ist ein Regelwerksbezug angegeben, sofern dieser genannt ist. Zu etwa der Hälfte der Produktunterlagen liegt kein Regelwerksbezug vor.

Tab. 2: Mündliche Angaben zur Umfrage zum Zuschlagstoff

Telefonat mit	Beschreibung des Zuschlagstoffs	Liegen Produktdatenblatt, Prüfzeugnisse, Zertifikate oder ähnliches vor?	Welche Eigenschaften des Reitplatzes sollen durch die Zugabe des Zuschlagstoffs verbessert werden?	Muss von Zeit zu Zeit neuer Zuschlagstoff aufgebracht werden?	Gesprächsbereitschaft (0 = unwillig; 5 = interessiert, hilfsbereit)
Fa. 13	Vieshäcksel Kunstfaser mit Faseranteil (am günstigsten und haltbarsten) Holzspäne in spezieller Absiebung (muss komplett nach 8 Jahren ausgetauscht werden) Jute (recht teuer in der Aufbereitung, hält 3-4 Jahre) Biokompostierbares Vlies (hält nur ein halbes Jahr)	Material stammt von Hersteller A	für stark beanspruchte Böden notwendig - kann schlechten Sanden Mindestscherfestigkeit verleihen, im Süden werden ausschließlich Sande mit Zuschlagstoffen verbaut, erhöht die Scherfestigkeit, verbessert die Wasserhaltefähigkeit		4 - hat direkt erzählt, wenig nachgefragt, wenig Interesse für das Projekt
Fa. 14	Klassisch, Synthetik/ Polyester Vieshäcksel alle Fabrikationen mit und ohne Faseranteilen Gefilzte Schafwolle mit 3 % Bindemittel Jutefasern 2-3 Jahre biologisch abbaubar Maisstärkefasern Viskosevlies aus Zellstoff ist Naturfaser mit 1 - 2 % Kunststofffaser	bezieht von Hersteller A (Unterlagen anderer Hersteller liegen nicht vor, werden nicht angefordert, weil sie 500 € kosten)	Fasern stabilisieren (es werden 20 - 30 % Faseranteil zum Vlies beigemischt), Stabilität oder Elastizität verbessern	Gelegentlich evtl. nach einigen Jahren, nicht die Regel, Fasern aus Jute / Polyester/ Maisstärke halten 6-7 Jahre	3 - hat Fragen beantwortet und war freundlich
Fa. 15	Polyurethan & Polypropylen Hanffasern Holz sei aufgrund des Staubes und von Pilzwachstum ungeeignet/ hat mehr Schadstoffe als PU	Gutachten für alles, alles Z0 keine Schadstoffe			4 - hat aus Eigeninitiative angerufen als Antwort auf die Umfrage; Einladung zum Besuch, hat Reitanlage mit vielen Plätzen und Versuchsflächen
Fa. 16	Viesfasern / PES-Fasern Holz		Hufschlagverbesserung durch Fasern, Eindringtiefe durch Vlies	Nein	3 - kurz angebunden; hatte auf unser Schreiben geantwortet, das ist nicht angekommen, schickt Antwort erneut (Anm.: kein Eingang)
Fa. 17	Viesfaser Holzspäne	beziehen von Fa. 20 und aus Tschechien	lockert Tretschicht auf, besonders in Verbindung mit Kunststoffmatte als Trennschicht Wasserspeicher	Vlies: nein; filtern mit Hilfe von Filtersilos Vlies aus Sand, wiederverwendbar; von Kunden ist eine Haltbarkeit von 15 Jahren gewünscht, ist auch realistisch Holzspäne zerfallen nach 5-6 Jahren	4 - freundlich hilfsbereit; hat an Fa. 20 verwiesen
Fa. 18	Viesfasern Biokunststoff Fasern		Scherfestigkeit	Ja, Vlies hält am längsten, bei guter Pflege 10 Jahre, wird durch Hufe zerrieben Biokunststoff hält bei optimaler Pflege 5-7 Jahre	4 - freundlich, hilfsbereit, hatte geantwortet, scheint verloren gegangen zu sein; hat zugesagt, die Antwort erneut zu schicken (Anm.: kein Eingang)
Fa. 19	Vlies und Fasern Jute (ist durch Transport weniger ökologisch als Vlies, recycelte alte Kaffeebohnsensäcke)		Wasserverbrauch ist geringer	Trennung: Gewährleistung Boden – Rücknahme und Aufbereitung – selbst nach 30 Jahren können sie ihn noch aufbereiten, trennen und säubern; kommt jedoch kaum vor. Der älteste Boden ist 30 Jahre alt und funktioniert immer noch. Eventuell wird Auffüllen nötig, um dem Austrag durch das Abpfeilen entgegen zu wirken.	4 - hat aus Eigeninitiative angerufen und das Gespräch als Antwort auf das Anschreiben gesucht; hat zugesagt, Materialproben zu schicken (Anm.: kein Eingang)
Fa. 20			erzeugt Bindigkeit im Boden, verhindert Einsinken, Elastizität und Wasserhaltefähigkeit vernachlässigbar gering		4 - interessiert-skeptisch, forscht selbst, möchte Risiken und Wissenslücken minimieren
Fa. 21					3 - hilfsbereit, hat aber wenig Zeit; Entschuldigt sich, bisher nicht geantwortet zu haben. Beziehen fremd; gibt auf jeden Fall noch eine Rückmeldung (Anm.: kein Eingang)
Fa. 22					0 nicht geschäftsbereit
Fa. 23					0 nicht geschäftsbereit
Fa. 24					dreimal nur den Anrufbeantworter erreicht
Fa. 25					dreimal Ansprechpartner nicht erreicht
Fa. 26					viermal Ansprechpartner nicht erreicht
Fa. 27					dreimal niemanden oder nicht den Ansprechpartner erreicht
Fa. 28					nicht erreicht

Legende: synthetischer Zuschlagstoff
 synthetischer Zuschlagstoff, biobasiert
 organischer Zuschlagstoff

Die letzte Spalte der Tab. 3 enthält eine Übersicht zu den inhaltlichen Angaben in den Produktunterlagen.

Die Bandbreite erstreckt sich von verbalen Beschreibungen unterschiedlichen Umfangs bis zu Laborergebnissen und deren Bewertung.

Tab. 3: Beigefügte Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen

Bezeichnung der Unterlage	Hersteller Zuschlagstoff/ Produktname	Umfang	Bezug	Angaben in der Unterlage
Sicherheitsdatenblatt für geschnittene Viessstoffe, 2019 für Polyester-Faser, 2005	A/ A1 A/ A2 A/ A3 A/ A4 B/ B3 A/ A6	5 Seiten	2001/58/EG	1. Stoff- / Zubereitungs- und Firmenbezeichnung 2. Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen 3. Mögliche Gefahren 4. Erste-Hilfe-Maßnahmen 5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung 6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung 7. Handhabung und Lagerung 8. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung 9. Physikalische und chemische Eigenschaften 10. Stabilität und Reaktivität 11. Angaben zur Toxikologie 12. Angaben zur Ökologie 13. Hinweise zur Entsorgung 14. Angaben zum Transport 15. Vorschriften 16. Sonstige Vorschriften
für Reitbodenzuschlagstoff, 2019	F / F1	9 Seiten	1999/45/EG; 675/48/EG; 1272/2008/EG; 1907/2006/EG (REACH), Anhang II	1. Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemischs und des Unternehmens 2. Mögliche Gefahren 3. Zusammensetzung / Angaben zu den Bestandteilen 4. Erste-Hilfe-Maßnahmen 5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung 6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung 7. Handhabung und Lagerung 8. Begrenzung und Überwachung der Exposition/Persönliche Schutzausrüstungen 9. Physikalische und chemische Eigenschaften 10. Stabilität und Reaktivität 11. Toxikologische Angaben 12. Umweltbezogene Angaben 13. Hinweise zur Entsorgung 14. Angaben zum Transport 15. Rechtsvorschriften 16. Sonstige Angaben
SafetyData Sheet für Kunststoff-Mix, 2013	E / E1	1 Seite	k. A.	"PRODUCTNAME CHEMISCHES PRODUKT-UND FIRMENBEZEICHNUNG COMPOSITION/INFORMATION/ZU BESTANDTEILEN GEFAHR IDENTIFIKATION ERSTE-HILFEMAßNAHMEN MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG ACCIDENTAL RELEASE MEASURES PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES TOXICOLOGICAL INFORMATION"
Datenblatt	B / B3 C / C1	1 Seite	k. A.	Lieferant Qualität Farbe Materialtyp Rohmaterial Geruch Avivagen Angaben zu Schadstoffen Verpackung Sonstiges
	D / D1	1 Seite	k. A.	Ökologische Daten
Spezifikation	G / G1	1 Seite	k. A.	Artikel-Nr. Bezeichnung Qualität Eigenschaften Farbe Umweltverträglichkeit Verpackung Halbbarkeit
Auszug aus dem Prüfbericht "Luftuntersuchung in einer Reithalle"	A/ A1 A/ A3 A/ A4 B/ B3	1 Seite	k. A.	Berichtsauszug mit Angaben zu - Messverfahren/Probenahme - Aldehyd-Untersuchung - Feinstaubkonzentration
Untersuchung nach DIN 18035-7 Sportplätze Teil 7: Kunststoffrasensysteme	A/ A1 A/ A2 A/ A4 B/ B3	3 Seiten	DIN 18035-7	Parameter: EOX; DOC; Chrom VI; Blei; Cadmium; Chrom; Quecksilber; Zink; Zinn. Bewertungsmaßstab für A1: DIN 18035-7; A2, A4: RAL GZ 944; B3: nicht angegeben
Prüfbericht	B / B3	5 Seiten	BBodSchV Boden-Mensch	Bestimmung aus der Originalsubstanz (3 Parameter) Bestimmung aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm) (37 Parameter) Bestimmung aus dem Königswasser-aufschluss (Fraktion < 2 mm) (6 Parameter) Bestimmung aus dem Eluat (66 Parameter) Bewertungsmaßstab: Grenzwerte GW1 für Kinderspielflächen
		5 Seiten	BBodSchV Boden- Grundwasser	Bestimmung aus der Originalsubstanz (3 Parameter) Bestimmung aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm) (37 Parameter) Bestimmung aus dem Königswasser-aufschluss (Fraktion < 2 mm) (6 Parameter) Bestimmung aus dem Eluat (64 Parameter) Bewertungsmaßstab: vereinzelt Grenzwerte angeben
		4 Seiten	k. A.	Analyse einer Mischprobe aus verschiedenen Häckselmischungen ohne Bewertungsmaßstab
Zertifikat Qualitätsmanagement-System	A/ A1	1 Seite	DIN EN ISO 9001	Geltungsbereich "Entwicklung, Produktion und Vertrieb Dämmstoffen und Miesprodukten"

2.4 Auswertung und Diskussion

Die Auswertung und Diskussion ist auf die Umfrage im Allgemeinen (Abschnitt 2.4.1) und auf die Inhalte entsprechend des Fragenkatalogs (Abschnitt 2.4.2 bis Abschnitt 2.4.11) fokussiert. Hier werden ausschließlich die Informationen bezüglich der synthetischen Zuschlagstoffe betrachtet. Die Angaben zu biologisch abbaubaren Zuschlagstoffen werden in Kapitel 6 berücksichtigt.

2.4.1 Die Umfrage im Allgemeinen

Die Adressensammlung ergab zunächst 46 Firmen, die angeschrieben wurden. 5 Firmen fühlten sich nicht betroffen. Von den verbliebenen 41 Firmen haben 12 die Umfrage schriftlich beantwortet (29 %). Mit weiteren 11 Firmen ergab sich ein telefonischer Kontakt (27 %), davon waren 2 nicht zu Gesprächen bereit. Somit liegen inhaltliche Angaben von 21 der 41 Firmen vor. Das entspricht in etwa einer Rücklaufquote von 50 %.

Zur Beurteilung der Repräsentativität der Umfrage müsste die Grundgesamtheit der Firmen, die Zuschlagstoffe herstellen oder einbauen oder herstellen und einbauen, bekannt sein. Diese Grundgesamtheit könnte größer sein als die hier vorhandene Bezugsgröße von 41 Firmen. Das wäre dann der Fall, wenn weitere Firmen dem Projektbeirat nicht bekannt gewesen wären oder eine Internetpräsentation nicht entdeckt worden wäre.

Andererseits könnte die Grundgesamtheit der Firmen auch weniger als 41 Firmen betragen. Das wäre der Fall, wenn von den 20 Firmen ohne Rückmeldung weitere Firmen nicht mit Zuschlagstoffen in Tretschichten befasst wären. Das traf auch auf 5 der ursprünglich angeschriebenen 46 Firmen zu. Möglicherweise sind auch Nichtrückläufe einem Desinteresse an der Umfrage oder einem möglichen Zurückhalten/Verbergen von Fachwissen/Informationen geschuldet. Die Abschätzung der wahren Grundgesamtheit der Firmen bleibt damit im Bereich der Spekulation. Die nachfolgenden Auswertungen können somit nur die tatsächlich vorliegenden Ergebnisse berücksichtigen.

Im Folgenden werden die schriftlichen Angaben (Tab. 1, Firmen 1 bis 12) mit den mündlichen Angaben (Tab. 2, Fa. 13 bis 21) der Firmen im Allgemeinen verglichen.

In den schriftlichen Angaben werden die 12 Fragen gemäß Fragenkatalog überwiegend kurz und klar beantwortet. Vereinzelt liegen keine Angaben vor. In den telefonisch durchgeführten Gesprächen ist eine vollständige Abfrage gemäß Fragenkatalog nicht möglich gewesen. Die Gesprächspersonen berichteten meistens von vornherein über die Aspekte zu Zuschlagstoffen, die ihnen wichtig erschienen. Vereinzelt Nachfragen waren möglich. Die Gespräche endeten je nach Interesse oder zeitlicher Verfügbarkeit der Gesprächspersonen.

Die Verteilung der jeweils erwähnten Zuschlagstoffe unterscheidet sich sehr (Abb. 2).

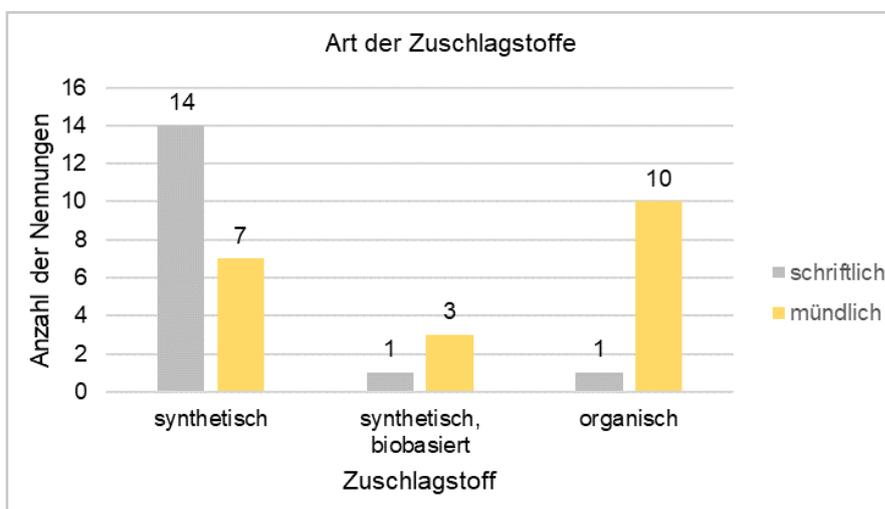


Abb. 2: Art der Zuschlagstoffe nach schriftlichen und mündlichen Angaben

In den schriftlichen Angaben führen die 12 Firmen 16 Produkte an, in den Gesprächen werden von 9 Firmen (eigentlich nur von 7, da 2 hierzu keine Angaben machen) 20 Produkte genannt. Über die jeweiligen Häufigkeiten des Einsatzes der Zuschlagstoffe liegen keine Angaben vor.

In den schriftlichen Angaben überwiegen die Nennungen der synthetischen Zuschlagstoffe, in den Gesprächen die Nennungen der organischen Zuschlagstoffe. Dabei führen in den Gesprächen alle 7 Auskunft gebenden Firmen Produkte aus mindestens 2 der genannten 3 Zuschlagstoffkategorien an.

Die Einseitigkeit in den schriftlichen Angaben ist auf den ersten Blick nicht nachvollziehbar. Der Fragenkatalog ist explizit so aufgebaut, dass synthetische und organische Zuschlagstoffe gleichermaßen genannt werden können (s. Abb. 1). Im Anschreiben zur Umfrage wurde auf eine neutrale Formulierung geachtet und eine Bestandsaufnahme des Einsatzes von Zuschlagstoffen als Ziel formuliert. Möglicherweise hat der Hinweis, dass das Vorhaben zur Versachlichung der Diskussion um Zuschlagstoffe beitragen soll, die Empfänger der Umfrage annehmen lassen, dass hier vornehmlich die synthetischen Zuschlagstoffe auf dem Prüfstand stehen.

In den telefonisch geführten Gesprächen fühlten sich die Gesprächspersonen vermutlich freier in der Nennung der Zuschlagstoffe. Alle 7 Auskunft gebenden Firmen benennen neben einem synthetischen Zuschlagstoff mindestens ein Produkt aus den beiden anderen Katego-

rien. Das kann ebenfalls als Indiz dafür gesehen werden, dass in erster Linie die synthetischen Zuschlagstoffe Ziel der Betrachtungen sind. Da zudem deren Einsatz aufgrund des allgemeinen Diskussionstandes als möglicherweise kritisch angesehen wird, werden Alternativen benannt.

2.4.2 Herstellende und Produkte synthetischer Zuschlagstoffe

In der schriftlichen Umfrage benennen 12 Firmen 13 verschiedene synthetische Zuschlagstoffe von den 7 Herstellenden A bis G (s. Abb. 3, vgl. Tab. 1, Fragen 1 bis 3).

Die Produkte der Herstellenden A werden am häufigsten genannt. Es sind 6 verschiedene Produktbezeichnungen notiert (A1 bis A6), die sich teilweise ähneln. 5 Produkte sind als Vlies-Produkte (A1 bis A5) und 1 als Faser-Produkt (A6) beschrieben. Von Hersteller B werden 1 Faserprodukt (B1) und 1 Vliesprodukt (B3) aufgeführt. Die übrigen 5 Herstellenden (C bis G) werden mit jeweils 1 Produkt erwähnt, das als Vlies (C, D, F, G) und in einem Fall als Kunststoffgemisch (E) bezeichnet ist.

In den mündlichen Angaben wird in 2 von 7 Fällen (Fa. 13 und 14) auch Hersteller A als Bezugsquelle genannt. Fa. 17 bezieht von Fa. 20 und aus Tschechien. Die übrigen Befragten treffen keine Angaben zu den Herstellenden.

Die Zuschlagstoffe werden überwiegend als Vliese, Vlieshäcksel, Vliesfasern oder Fasern bezeichnet.

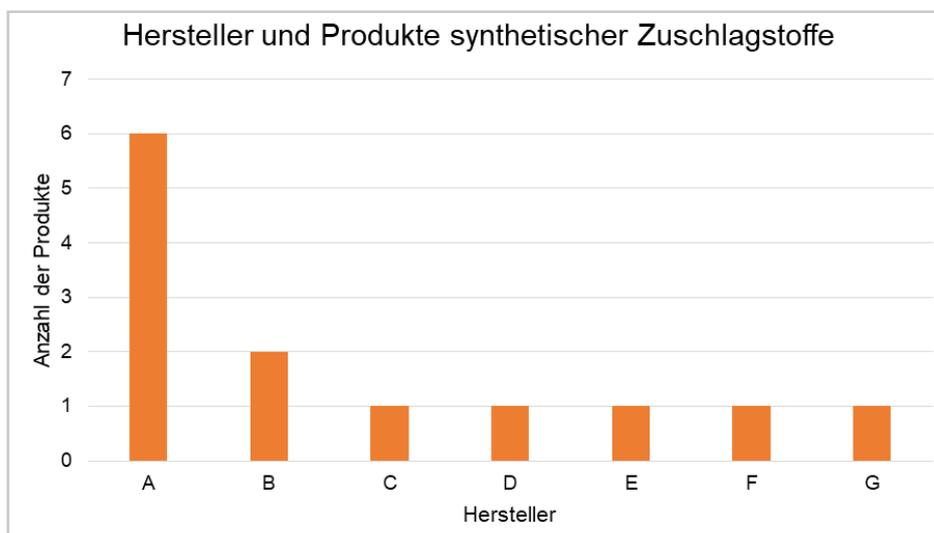


Abb. 3: Hersteller und Produkte synthetischer Zuschlagstoffe

Es zeigt sich, dass Herstellende A offensichtlich marktführend ist. Die Produktverwendung wird am häufigsten genannt. Die Mehrzahl der Herstellenden ist mit nur einem Produkt vertreten. Zur Anwendungshäufigkeit der einzelnen Produkte sind anhand dieser Beschreibungen keine Angaben möglich.

Ebenso wenig können weitergehende Feststellungen von Materialunterschieden der einzelnen Produkte getroffen werden.

2.4.3 Größe synthetischer Zuschlagstoffe

Zur Größe der synthetischen Zuschlagstoffe liegen 10 Zahlenangaben vor (s. Tab. 1, Frage 4). Dabei sind die Zuschlagstoffe 11 und 12 identisch und folglich nur einfach in die Auswertung eingegangen. Abb. 4 zeigt eine grafische Darstellung der Größenangaben.

Für den Zuschlagstoff 1, Größe 1,5 bis 4 cm, wird ein Durchschnittswert von 3 cm angegeben. Für den Zuschlagstoff 5 lautet die Größenangabe „bis ca. 5 cm“. Ebenfalls sind die Angaben zu den Zuschlagstoffen 2 und 6 als ca.-Angaben aufgeführt. Beim Zuschlagstoff 8 handelt es sich um Fasern mit 5 cm Länge.

Die Abbildung zeigt insgesamt eine gleichförmige Größenverteilung. Näherungsweise kann ein mittlerer Wert der Größe der Zuschlagstoffe von 3 cm mit einer Bandbreite von etwa ± 2 cm angesetzt werden.

Ein Zuschlagstoff (Nr. 16) kann auch etwas größer ausfallen, ein anderer (Nr. 11 bzw. 12) auch etwas kleiner. Eine Untergrenze des Zuschlagstoffes 5 ist nicht explizit angegeben.

Im Vergleich zum mineralischen Anteil einer Tretschicht, Sand mit etwa bis 2 mm Korn-durchmesser, erstreckt sich die Größenordnung des synthetischen Zuschlagstoffes je nach Längen-/Breitenverhältnis etwa bis zum Mittel-/Grobkiesbereich (6,3 bis 63 mm). Hierbei ist zu beachten, dass es sich um eine Ausgangsgröße, also der Größe bei der Herstellung bzw. beim Einbau, handelt. Größenordnungen nach (Ab-)Nutzungen werden im Kapitel 3 untersucht.

Zum Vergleich:

Für organische Zuschlagstoffe liegt lediglich eine Größenangabe vor (s. Tab. 1, Zuschlagstoff 9). Danach verwendet Herstellende B Mikrohack-schnitzel mit Kantenlängen bis zu 3 cm. Dieser Wert ist damit in ähnlicher Größenordnung wie bei den synthetischen Zuschlagstoffen.

2.4.4 Beigefügte Produktunterlagen zu synthetischen Zuschlagstoffen

Die Frage nach dem Vorliegen von Produktunterlagen, z. B. Produktdatenblätter, Prüfzeugnisse oder Zertifikate, wird in der schriftlichen Umfrage mit nur einer Ausnahme (keine Angabe) mit ja beantwortet.

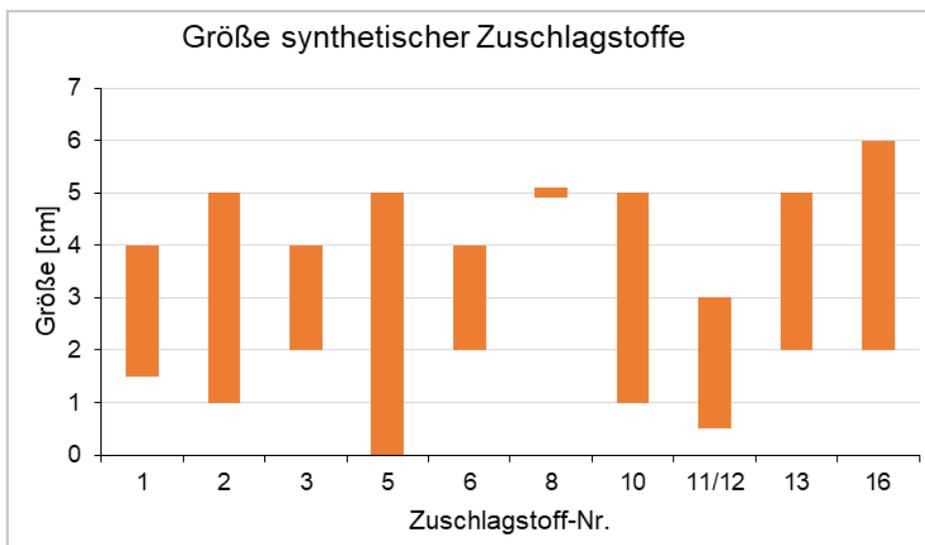


Abb. 4: Größe synthetischer Zuschlagstoffe

Es werden, ebenfalls mit nur einer Ausnahme, mindestens eine und bis zu sieben Unterlagen beigelegt (s. Tab. 1, zwei Spalten zu Frage 5).

a) **Produktunterlagen in der Übersicht**

Eine Übersicht zu den beigelegten Produktunterlagen enthält Tab. 3. Entsprechend der Kopfblätter der beigelegten Unterlagen wird in sieben Typen unterschieden:

Sicherheitsdatenblätter

Die Sicherheitsdatenblätter für Polyester-Fasern (aus dem Jahr 2005) und geschnittene Vliesstoffe (aus dem Jahr 2019) sind vom Aufbau identisch. Als Bezug wird die Richtlinie 2001/58/EG genannt.

Nach EUR-Lex ist die „RICHTLINIE 2001/58/EG der Kommission vom 27. Juli 2001 zur zweiten Änderung der Richtlinie 91/155/EWG zur Festlegung der Einzelheiten eines besonderen Informationssystems für gefährliche Zubereitungen gemäß Artikel 14 der Richtlinie 1999/45/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und für gefährliche Stoffe gemäß Artikel 27 der Richtlinie 67/548/EWG des Rates (Sicherheitsdatenblätter)“ mit Datum des Endes der Gültigkeit 31.05.2007 nicht mehr in Kraft (<https://eur-lex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2001%2F58%2FEG&lang=de&type=quick&qid=1620136534460>).

Seit dem 01.06.2007 ist das bisherige Chemikalienrecht durch die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) grundlegend geändert. Im Anhang II dieser Verordnung ist der Inhalt eines Sicherheitsdatenblattes detailliert geregelt.

Ein weiteres Sicherheitsdatenblatt für Reitbodenzuschlagstoff (aus dem Jahr 2019) hat einen ähnlichen Aufbau, hier mit Bezug auf die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung).

Ein viertes Sicherheitsdatenblatt (aus dem Jahr 2013) ist in deutsch-englischer Mischsprache in deutlich kürzerer Version (1 Seite gegenüber 5 bzw. 9 Seiten) verfasst, ohne Bezug auf eine Europäische Richtlinie/Regelwerk. Die massiven sprachlichen Fehler stehen einer sinnvollen Nutzung entgegen.

Datenblätter

Die Datenblätter zu den Produkten B3 und C1 enthalten nur eine einseitige, kurze und zudem identische Produktbeschreibung gemäß Tab. 3. Einen Regelwerksbezug gibt es nicht. Die Datenblätter sind undatiert bzw. aus dem Jahr 2018.

Das Datenblatt zum Produkt D1 umfasst ebenfalls eine einseitige Produktbeschreibung ohne Regelwerksbezug aus dem Jahr 2018.

Spezifikation

Die Spezifikation enthält nur eine einseitige, kurze Produktbeschreibung gemäß Tab. 3.

Auszug aus dem Prüfbericht „Luftuntersuchung in einer Reithalle“

In dem Bericht wird eine Luftuntersuchung aus dem Jahr 2011 in einer Reithalle bei geöffneten Toren und mäßig feuchtem Sand mit Zuschlagstoffen (ohne genauere Nennung) beschrieben. Die Untersuchungen auf Atemhöhe des Reiters ergaben keine unzulässigen Feinstaub- und Aldehydkonzentrationen.

Untersuchung nach DIN 18035-7 Sportplätze Teil 7: Kunststoffrasensysteme

Die Anforderungen an die untersuchten Parameter (s. Tab. 3) werden bei grundsätzlich identischem Prüfbericht entsprechend der Empfehlungen nach DIN 18035-7 bzw. RAL GZ 944 erfüllt. Ein weiterer identischer Prüfbericht enthält keinen Bewertungsmaßstab.

Prüfberichte

Zu einem Zuschlagstoff liegen Prüfberichte mit Untersuchungen nach BBodSchV zu den Wirkungspfaden Boden-Mensch und Boden-Grundwasser aus dem Jahr 2013 vor. Eine weitere Probe (Mischprobe aus verschiedenen Häckselmischungen) wurde ohne Angabe eines Bewertungsmaßstabes geprüft. Eine konkrete Nachvollziehbarkeit zu Art und Zusammensetzung der Probe ist nicht gegeben.

Zertifikat Qualitätsmanagement-System

Das Zertifikat beinhaltet den Nachweis, dass ein Hersteller von Zuschlagstoffen die Forderungen der DIN EN ISO 9001:2015 für den Geltungsbereich „Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Dämmstoffen und Vliesprodukten“ erfüllt.

b) Zusammensetzung der synthetischen Zuschlagstoffe gemäß Produktunterlagen

Bei dem synthetischen Zuschlagstoff handelt es sich nach dem **Sicherheitsdatenblatt** für geschnittene Vliesstoffe um eine „vernadelte, kardierte, wasserstrahlverfestigte oder mit Binder verfestigte Mischung aus Polyethylenterephthalat, Polyacrylat und einem Copolymer aus (Meth)Acrylsäureestern“. Gemäß Sicherheitsdatenblatt für Polyester-Fasern wird die chemische Charakterisierung als Polyethylenterephthalat angegeben.

In beiden Datenblättern wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass sich die Angaben in den Sicherheitsdatenblättern nicht auf die Verwendung des Stoffes in Kombination mit einem anderen Stoff beziehen.

Nach Sicherheitsdatenblatt für Reitbodenzuschlagstoff wird der Zuschlagstoff den Polyolefinen zugeordnet. Gleiches gilt für das Safety Data Sheet.

Die **Datenblätter** zu den Zuschlagstoffen B3 und C1 enthalten keine detaillierten Angaben zur Produktzusammensetzung. Der Zuschlagstoff D1 setzt sich aus Polyester, Polypropylen, Polyethylen oder deren Mischungen sowie Faserbegleitstoffen/Zusatzstoffen zusammen.

Nach **Spezifikation** handelt es sich bei dem Zuschlagstoff um Polyester und Polypropylen.

Die übrigen Unterlagen enthalten keine Angaben zur Zusammensetzung der synthetischen Zuschlagstoffe.

Mündliche Angaben

2 Herstellende geben an, die synthetischen Zuschlagstoffe von Hersteller A zur beziehen. In einem Fall wird ergänzend angegeben, dass Unterlagen von anderen Herstellenden nicht angefordert werden, weil sie 500 € kosten würden.

Zwischenfazit

Es darf zunächst positiv bewertet werden, dass die Frage nach dem Vorliegen von Produktunterlagen überwiegend bejaht wird. Das gilt auch für die bereitwillige Beifügung der Unterlagen. Das bedeutet, dass zumindest ein grundsätzliches Bewusstsein für die Notwendigkeit derartiger Unterlagen vorliegt.

Art, Qualität und Menge der Unterlagen sind jedoch völlig heterogen. Das Spektrum reicht von fehlenden, mangelhaften oder fragwürdigen Regelwerksbezügen über verschiedene Bewertungsmaßstäbe bis hin zu Eigenerklärungen ohne neutrale Bewertung. Eine Einheitlichkeit liegt in keiner Weise vor. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

2.4.5 Verbesserung der Reitplatzeigenschaften durch Zuschlagstoffe

Die Frage nach den Eigenschaften des Reitplatzes, die durch Zuschlagstoffe verbessert werden sollen, wird in der schriftlichen (s. Tab. 1, Frage 6) und der mündlichen Umfrage (s. Tab. 2) mit einer Vielzahl von Begriffen beantwortet. Abb. 5 zeigt eine zusammenfassende Übersicht der Begriffe und der Anzahl ihrer Nennungen.

Die meisten der genannten Begriffe sind auch in den FLL-Empfehlungen aufgeführt. Für diese Fälle ist die Zuordnung eindeutig (z. B. Scherfestigkeit). Zum Teil werden in den Befragungen ähnliche Begriffe verwendet, die so verstanden werden, dass sie gleichgesetzt werden können. Zum Beispiel wird in den FLL-Empfehlungen der Begriff Wasserspeicherfähigkeit und in den Antworten Wasserspeicherung oder geringerer Wasserverbrauch genannt.

Schwieriger ist eine Zuordnung der Begriffe Grip und Griffigkeit zu anderen Parametern. Grip und Griffigkeit können auch als kombinatorische Wirkung von Scherfestigkeit, Stabilität und Trittfestigkeit verstanden werden. Hier unterbleibt eine Zuordnung. Das ist im Grundsatz für die anschließenden Betrachtungen auch nicht von Bedeutung. So könnten eventuell auch die Nennungen Dämpfung und Hufschlagverbesserung anderen Begriffen zugeordnet werden.

In der Gesamtbetrachtung wird der entscheidende Vorteil der Zugabe von Zuschlagstoffen in der Verbesserung des Scherfestigkeitsverhaltens gesehen. Dem Wasserspeichervermögen kommt einhergehend mit dem geringeren Wasserverbrauch ebenfalls eine hohe Bedeutung zu.

Eine Firma schätzt die Wasserhaltefähigkeit als vernachlässigbar gering ein. Es folgen die weiteren Eigenschaften Stabilität und Trittfestigkeit/Eindringtiefe sowie Elastizität.



Abb. 5: Verbesserung der Reitplatzeigenschaften durch Zuschlagstoffe

Im Fragenkatalog der schriftlichen Umfrage sind als Antwortmöglichkeiten beispielhaft die Eigenschaften Trittfestigkeit und Wasserhaltevermögen aufgeführt. Eine hierdurch mögliche Beeinflussung der Beantwortung der Frage wird eher nicht angenommen, da die Antworten in den telefonisch geführten Gesprächen (ohne Nennung möglicher Antworten) den schriftlichen Antworten ähnlich sind.

Interessant ist ein Vergleich der Angaben mit den Ausführungen in den FLL-Reitplatzempfehlungen. Danach müssen Zuschlagstoffe geeignet sein, unter anderem folgende Tretschichteigenschaften zu verbessern: Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeicherfähigkeit, Trittfestigkeit, Trittsicherheit, Kraftabbau, Verschleißbeständigkeit (Haltbarkeit).

Die Eigenschaften Wasserdurchlässigkeit, Kraftabbau und Verschleißbeständigkeit sind in den Antworten der Umfrage nicht zu finden.

Die meisten der genannten Platzeigenschaften – i. W. Scherfestigkeit, Stabilität, Trittfestigkeit, Eindringtiefe, Elastizität, Trittsicherheit, Grip, Griffigkeit und Dämpfung – treten als Bodenreaktion in kombinatorischer Wirkung bei jedem Hufauftreten auf, und alles gemeinsam wird vom Wassergehalt der Tretschicht beeinflusst.

Dabei kann die Bedeutung der einzelnen Bodenreaktionsanteile je nach Reitdisziplin und speziellen Eigenschaften der einwirkenden Last (Pferd und Reitenden) unterschiedlich gewichtet sein.

Die Frage ist stets, ob und wenn ja, wie die Verbesserung der Reitplatzeigenschaften unter Einfluss von Zuschlagstoffen objektiv ermittelt und bewertet werden kann.

Auf Grundlage der Antworten zu den Befragungen wird damit folgendes empfohlen:

- a) Zunächst ist klarzustellen, was konkret unter den einzelnen Begriffen zu verstehen ist. Das führt zu einer Einheitlichkeit in der sprachlichen Anwendung und zu einem besseren Verständnis der verschiedenen Akteure untereinander. Entsprechende Begriffsdefinitionen für die Tretschichteigenschaften sollten bei der Überarbeitung der FLL-Empfehlung Berücksichtigung finden.
- b) Zur Objektivierung von Eigenschaften der Tretschichten mit (oder auch ohne) Zuschlagstoffen sind versuchstechnisch ermittelte Kennwerte erforderlich. Für die Ermittlung einzelner Kennwerte sind zum Teil eigenständige Versuche bekannt (z. B. Künstlicher Sportler).

Schwierig ist, dass damit jeweils auch Eignungen der Reitplätze für den jeweiligen Anwendungszweck beurteilt werden müssen. Da aber jeder Hufauftritt eine Gesamtreaktionswirkung des Bodens in Kombination verschiedener einzelner Eigenschaften hervorruft, ist ein repräsentativer Versuch gefragt, der die kombinatorische Eignungsqualität gut erfasst.

Kriterien für einen derartigen Versuch sollten sein:

- einfache, schnelle Durchführung,
- einfache, nachvollziehbare Auswertung und
- von einer einzelnen Person durchführbar.

Hier wird auf das Kapitel 1 verwiesen, in dem die Notwendigkeit einer solchen Prüfung mit Vorschlägen für Prüfmethode und zugehörigen Forschungsvorhaben näher erläutert ist.

2.4.6 Zugabemenge synthetischer Zuschlagstoffe

Zur Menge der synthetischen Zuschlagstoffe, die dem Tretschichtmaterial Sand zugegeben werden, liegen zwölf Zahlenangaben vor (s. Tab. 1, Frage 7).

Dabei sind die Zuschlagstoffe 11 und 12 identisch (und mit identischen Zugabemengen versehen) und folglich nur einfach in die Auswertung eingegangen. Abb. 6 zeigt eine grafische Darstellung der Mengenangaben. Dabei wird von einer Tretschichtdicke von 10 cm ausgegangen.

Für den Zuschlagstoff 4 verweist die befragte Firma auf die Abhängigkeit von der Reitdisziplin, ohne die zahlenmäßige Veränderung der Zugabemenge zu benennen. Beim Zuschlagstoff 6 handelt es sich um das einzige Faserprodukt. Die Zugabemenge ist in Bezug auf die Angaben zu den Vliesstoffen deutlich geringer. Beim Zuschlagstoff 10 wird die Zugabemenge je nach Reitsportintensität in die Kategorien Basic und Sports unterteilt. Im direkten Vergleich wird bei letzterem die Zugabemenge in etwa verdoppelt.

Unter Ausklammerung der Zuschlagstoffe 6 (Faserprodukt) und 10 Sports betragen die Zugabemengen zwischen 1 und 3 kg/m². Tendenziell ist eher eine Häufung im unteren und im oberen Bereich dieser Bandbreite festzustellen. Unter der Annahme einer Feuchtdichte des Tretschichtsand von 1,7 t/m³ liegt damit der Massenanteil des Zuschlagstoffes zwischen etwa 0,6 und 1,8 %. Dieser geringe Anteil erschwert damit zwangsläufig die versuchstechnische Ermittlung des Abrieb- und Zerfallverhaltens synthetischer Zuschlagstoffe (s. Kapitel 3, S. 53ff).

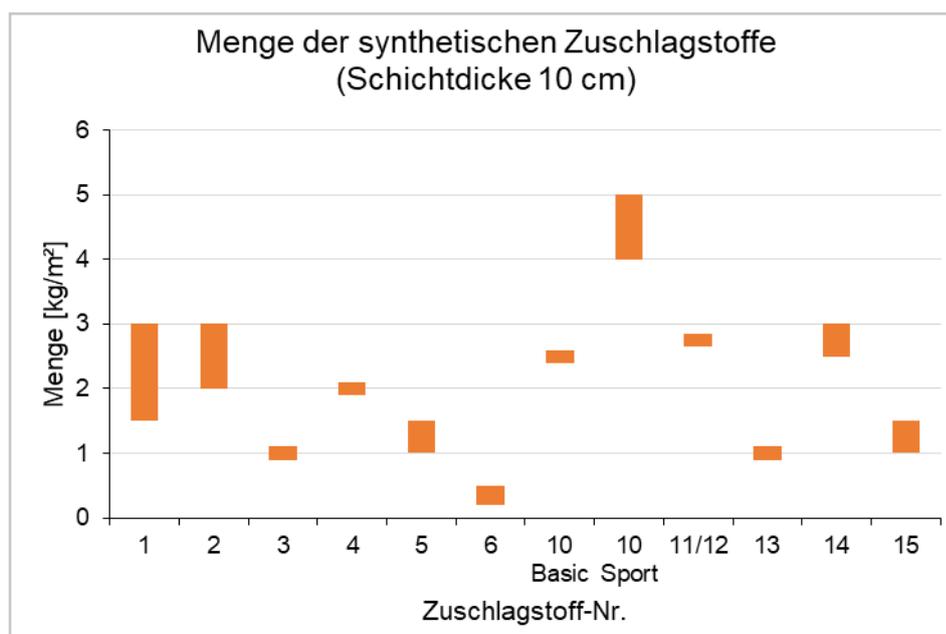


Abb. 6: Zugabemenge synthetischer Zuschlagstoffe

Zum Vergleich:

Für organische Zuschlagstoffe liegt lediglich eine Mengenangabe für den Einsatz von Mikrohackschnitteln vor (s. Tab. 1, Zuschlagstoff 9). Danach verwendet die Herstellende des Reitbodens eine Menge von 30,3 kg/m². Dieser Wert ist nicht zuletzt auf Grund des höheren spezifischen Gewichtes um den Faktor 10 bis 30 höher als bei den synthetischen Zuschlagstoffen.

2.4.7 Einbauempfehlungen für synthetische Zuschlagstoffe

Zu den Einbauempfehlungen für synthetische Zuschlagstoffe in den Reitsand liegen 11 Angaben aus der schriftlichen Umfrage vor (s. Tab. 1, Frage 8). In 3 Fällen werden explizit keine Angaben gemacht.

Die vorliegenden 11 Angaben können wie folgt sortiert werden:

a) In 5 Fällen wird geantwortet, dass es keine Einbauempfehlungen gibt. Dafür werden folgende Gründe angeführt:

- Der Verkauf erfolgt nur an Fachfirmen für den Reitplatzbau und den Fachhandel. (2x)

Für diese beiden Produkte hat der Herstellende des Zuschlagstoffes geantwortet (Produzent). Den Einbau nimmt sie offensichtlich nicht selber vor und überlasst ihn damit anderen.

- Angabe ohne Gründe. (2x)

Anmerkung: Für eine sachgerechte Herstellung der Tretschicht sollten Einbauempfehlungen gegeben werden.

- Angabe mit dem Grund, dass in der Regel selbst eingebaut wird. (1x)

Auch für diesen Fall sollten klare Regelungen für den Einbau festgelegt sein. Der bloße Verweis auf den eigenen Einbau genügt nicht.

b) In 4 Fällen wird der Einbauvorgang des Zuschlagstoffes in kurzen Worten beschrieben

- „vorgemischt oder einfräsen“
- „verteilen und einfräsen“
- „mit dem Sand mixen“
- „per Kreiselegge für Endverbraucher, bei uns im Zwangsmischer“.

Damit sind die im Erdbau üblichen Verfahren einer Einarbeitung des Zuschlagstoffes im Feld bzw. hier auf dem Reitplatz (mixed in place) oder einer stationären Aufbereitung außerhalb des Einbaufeldes bzw. Reitplatzes (mixed in plant) enthalten.

Dennoch hält die kurze, wenig präzise und oberflächliche Beschreibung des Einbaus des Zuschlagstoffes bzw. der Herstellung der Tretschicht einer qualifizierten Bodenverbesserung im Erdbau nicht stand. Ebenso fehlen Hinweise zur Qualitätssicherung und Dokumentation.

- c) In 2 Fällen wird auf die Internetseite der Herstellenden des Reitbodens bzw. auf beigefügte Unterlagen verwiesen.

Auf dieser Internetseite werden zwar der Zuschlagstoff und die Vorteile seiner Verwendung in der Tretschicht beschrieben, eine Einbauempfehlung wird jedoch nicht gegeben. Auch die beigefügten Unterlagen enthalten keine Einbauempfehlungen. Es wird jedoch die professionelle Unterstützung einer Fachfirma für Reitplatzbau empfohlen. Auch sollten entsprechende Geräte wie ein lasergesteuerter Grader eingesetzt werden.

Insgesamt sind die Angaben zu den Einbauempfehlungen damit sehr dürftig. Ein gleichmäßig ausreichendes Qualitätsniveau dürfte mit diesen Angaben nicht herzustellen sein. Ebenso fehlen objektive Qualitätskriterien sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Dokumentation. Anforderungen an Bodenverbesserungen im erdbautechnischem Sinn werden damit nicht erfüllt. Das betrifft zumindest die Papierform. Dennoch können selbstverständlich mit erfahrenem Personal und geeigneten Maschinen qualitativ gute Tretschichten hergestellt werden.

2.4.8 Spezielle Pflegehinweise für Tretschichten mit synthetischen Zuschlagstoffen

Die Frage nach speziellen Hinweisen zur Pflege des Reitplatzes wird für alle synthetischen Zuschlagstoffe in der schriftlichen Umfrage beantwortet (s. Tab. 1, Frage 9).

Die vorliegenden 17 Angaben, davon 3x Doppelnennungen, können entsprechend Abb. 7 sortiert werden:

Etwa die Hälfte aller Hinweise bezieht sich auf den Einsatz eines anderen Bahnplaners als bei einem reinen Sandboden. Konkrete Angaben zum geeigneten Reitplatzpflegegerät werden in keinem Fall gemacht.

In 3 Nennungen wird darauf hingewiesen, dass der Boden feucht gehalten werden muss. In einer dieser Nennungen wird das mit der Bindung des Vlieses an den Sand begründet. Ebenfalls in 3 Nennungen wird die Trennung von Pferdeäpfeln und Vlies für wichtig erachtet.

Für die Verwendung von 3 der 14 gelisteten Zuschlagstoffe wird keine spezielle Pflege für erforderlich gehalten.

2.4.9 Zusätzliches Aufbringen von synthetischem Zuschlagstoff

Aufbringen neuen Zuschlagstoffs

Die Frage, ob von Zeit zu Zeit neuer Zuschlagstoff aufgebracht werden muss, wird in der schriftlichen Befragung (s. Tab. 1, Frage 10) und in der mündlichen Befragung (s. Tab. 2) mit unterschiedlichem Ergebnis beantwortet. Die Antworten „ja“ (7x), „bei Bedarf“ (7x) und „nein“ (5x) werden insgesamt etwa gleich häufig genannt.

7 Antworten enthalten Begründungen bzw. Einflussfaktoren für das zusätzliche Aufbringen des Zuschlagstoffs:

- Beanspruchung (5x)
Davon wird in einem Fall die Zerreibung des Vlieses als Folge der Beanspruchung genannt.

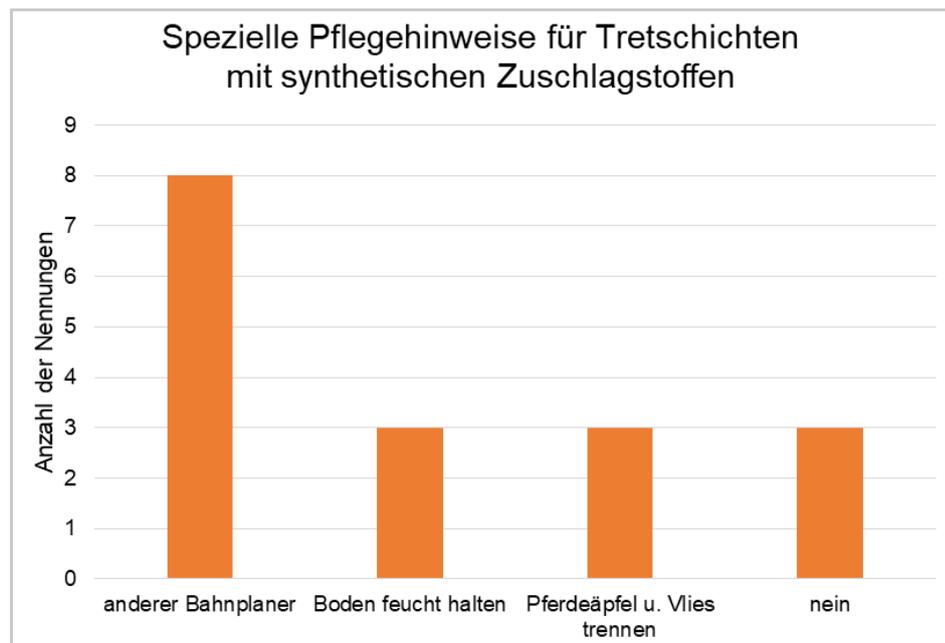


Abb. 7: Spezielle Pflegehinweise für Tretschichten mit synthetischen Zuschlagstoffen

Zum Vergleich:

Bei Verwendung des biokompostierbaren synthetischen Zuschlagstoffs (Tab. 1, Nr. 7) wird ebenfalls auf den Einsatz eines anderen Bahnplaners verwiesen. Ein konkreter Hinweis für Mikrohackschnittel als Zuschlagstoff (Tab. 1, Nr. 9) liegt nicht vor. Es wird lediglich auf einen regelmäßigen Austausch des Bodens infolge des organischen Zersetzungsprozesses verwiesen.

(Anmerkung: In einem weiteren Fall wird die Zerreibung des Vlieses durch die Belastung als positiv angesehen, so dass ein weiteres Aufbringen des Vliesmaterials als nicht erforderlich angesehen wird.)

- Materialaustrag (2x).

Häufigkeit des Aufbringens

In 10 Antworten werden mehr oder wenige konkrete Zahlenangaben für den zeitlichen Abstand des zusätzlichen Aufbringens genannt. Die Zeiträume variieren zwischen „1 bis 2 Jahre“ (3x), „5 Jahre“ (1x), „6 bis 10 Jahre“ (1x) und „10 oder mehr Jahre“ (3x). 2 Antworten lauten „einige Jahre“ bzw. „mehrere Jahre“.

In einer weiteren Antwort wird darauf hingewiesen, dass sich der Zeitraum bis zur Aufbringung bei entsprechender Pflege verlängert.

Menge des zusätzlich aufgebrauchten Zuschlagstoffs

4x wird geantwortet, dass mit Sand und Zuschlagstoffen nachzuarbeiten ist, in 2 Fällen wird die Abhängigkeit der Menge von der Flächengröße und der Beanspruchung genannt.

Diese Antworten enthalten keine konkreten Mengenangaben.

2.4.10 Empfehlungen zur Verwendung/Entsorgung synthetischer Zuschlagstoffe

Die Frage nach Empfehlungen zur Verwendung/Entsorgung der synthetischen Zuschlagstoffe wird zum Teil unter Angabe von zwei Verwendungs-/Entsorgungsmöglichkeiten beantwortet (s. Tab. 1, Frage 11). Eine Gegenüberstellung aller Nennungen zeigt Abb. 8.

Zu 13 synthetischen Zuschlagstoffen werden Angaben gemacht, zu einem nicht. In 4 Fällen werden keine Empfehlungen gegeben. In den meisten Fällen wird eine Deponierung oder eine Verbrennung in Verbrennungsanlagen genannt. Vermutlich lassen sich auch die Angaben „gesonderte Entsorgung“ oder „normaler Abfall“ darunter subsumieren. In einem Fall wird die Verwendung als Füllboden genannt. In 2 Fällen kam es bisher noch nicht zur weiteren Verwendung/Entsorgung.

Es wird deutlich, wie unklar die Situation bezüglich der weiteren Verwendung/Entsorgung der synthetischen Zuschlagstoffe ist.

Der Verzicht auf eine Empfehlung spricht für eine nicht vorhandene Auseinandersetzung mit der offensichtlichen Problematik des Kunststoffeintrages in Böden. In diesem Sinne gehen andere durch eindeutige Wahl einer Deponierung oder Verbrennung sehr restriktiv vor. Umgangen wird dabei allerdings der Umgang mit dem hauptsächlichsten Tretschichtmaterial Sand, einem zunehmend knapper werdenden Rohstoff. Denkbar wären Trennungsvorverfahren. In lediglich einem Gespräch wird ein Trennsilo erwähnt. Als direkte Weiterverwendung wird nur einmal der Einsatz als Füllboden genannt. Ob in den Fällen, in denen keine Empfehlung gegeben wird, eine ähnliche unmittelbare Weiterverwendung übliche Praxis ist, kann nicht beurteilt werden.

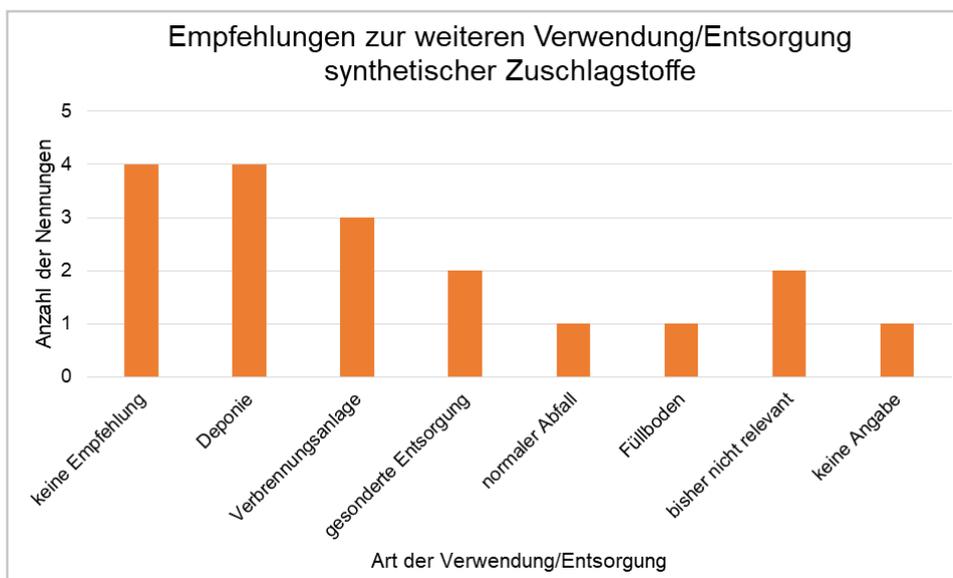


Abb. 8: Empfehlungen zur weiteren Verwendung/Entsorgung synthetischer Zuschlagstoffe

2.4.11 Hinweise/Vorschläge zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens

In der schriftlichen Umfrage liegen insgesamt 14 Antworten vor, die synthetische Zuschlagstoffe betrachten und jeweils 1 Antwort zu einem biobasierten synthetischen Zuschlagstoff und einem organischen Zuschlagstoff. Diese Auswertung zur Frage nach Hinweisen oder Vorschlägen zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens umfasst alle Antworten (s. Tab. 1, Frage 12), weil in allen Fällen das Vorhaben insgesamt betrachtet wird. Die Antworten können im Wesentlichen wie folgt sortiert werden:

- a) 10 Antworten sind ohne konkreten fachlichen Inhalt:
 - 5x werden keine Angaben gemacht,
 - 2x gibt es keine weitergehenden Hinweise oder Vorschläge,
 - 2x erfolgt die Bitte, über die Untersuchungen und das Projekt auf dem Laufenden gehalten zu werden, und
 - 1x wird darauf hingewiesen, dass das Material bereits unter einem anderen Namen von der HS Osnabrück untersucht worden sei.
- b) Mehr oder weniger konkrete Hinweise sind den übrigen 6 Antworten zu entnehmen:
 - 3x wird darauf hingewiesen, dass es wichtig sei, an der Funktionalität, Langlebigkeit und Qualität von natürlichen Stoffen zu arbeiten. Es würden noch sehr gute natürliche, bezahlbare, langlebige und funktionale Produkte fehlen, die Kunststoffe oder Holz ersetzen können.
 - 1x würde es begrüßt werden, über die negativen Seiten eines Verbotes synthetischer Zuschlagstoffe zu sprechen. Ein Verbot würde Risiken für Pferd und Reiter bedeuten.
Auch hier wird angemerkt, dass es eigentlich keine alternativen Produkte gibt. Hier besteht also eine Vergleichbarkeit zu den eben genannten Antworten.
 - 1x wird konkret die Auswaschung von Mikroplastik ins Grundwasser erwähnt.

- 1x wird pauschal mehr Sachlichkeit eingefordert.

In einigen Antworten werden Defizite von synthetischen Zuschlagstoffen thematisiert. Explizit wird das Risiko des Eintrags von Mikroplastik ins Grundwasser erwähnt. Gemessen an der definitionsgemäßen Größe von Mikroplastik (< 5 mm) und der Ausgangsgröße des Zuschlagstoffes bei der Herstellung der Plätze von in der Regel über 5 mm (s. Abschnitt 2.4.3) werden Abrieb bzw. Zerkleinerung als Verschleißerscheinung erkannt und in Verbindung mit einer möglichen Grundwasserbeeinträchtigung gesetzt. Gleichzeitig wird festgestellt, dass unbestrittene Vorteile der synthetischen Zuschlagstoffe noch nicht durch alternative Stoffe geleistet werden können.

Gesucht werden damit verschleißfreie Stoffe, die kein Risiko für die Umwelt darstellen und zudem alle positiven Reiteigenschaften mit sich bringen.

2.5 Fazit

Kapitel 2 umfasst eine mit dem Projektbeirat abgestimmte Umfrage zu den Produkten und zum Einsatz von Zuschlagstoffen. Unter der Annahme eines Spektrums von etwa 40 Firmen, die an der Produktion und/oder der Herstellung eines Reitbodens beteiligt sind (Dunkelziffer fraglich), ergeben sich bei einem Feedback von etwa 50 % der Firmen zwar keine vollständig erschöpfenden Analysen, jedoch können zumindest **Tendenzen** formuliert werden:

- › Der entscheidende Vorteil der Zugabe von Zuschlagstoffen wird in der Verbesserung des Scherfestigkeitsverhaltens gesehen. Wasserspeichervermögen, Stabilität, Trittfestigkeit/Eindringtiefe sowie Elastizität werden als weitere wichtige Kriterien genannt. Die in den FLL-Reitplatzempfehlungen genannten Kriterien Wasserdurchlässigkeit, Kraftabbau und Verschleißbeständigkeit sind in den Antworten der Umfrage nicht zu finden.

- › Besonders in der schriftlichen Umfrage werden fast ausschließlich Angaben zu synthetischen Zuschlagstoffen gemacht, obwohl die Umfrage ergebnisoffen formuliert war. Es zeigt sich, dass nach den Diskussionen der jüngsten Zeit diese Thematik als wichtiges Zukunftsthema für alle Akteure im Reitplatzbau betrachtet wird. Auch über Alternativen wird offensichtlich nachgedacht. Letztlich fehle es noch an Produkten, die Kunststoffe ersetzen können.
 - › Der Markt der Herstellenden synthetischer Zuschlagstoffe ist offensichtlich sehr überschaubar. Sehr wenige Hersteller haben verschiedene Produkte im Angebot. Vereinzelt sind Hersteller mit möglicherweise nur einem Produkt bekannt. Eine Dunkelziffer liegt im Bereich des Einsatzes teilweise vorgefertigter Produkte und eigener Mischungen.
 - › Die Offenheit bei der Einreichung von Produktunterlagen zeigt, dass zumindest ein grundsätzliches Bewusstsein für die Notwendigkeit derartiger Unterlagen vorliegt. Art, Qualität und Menge der Unterlagen sind jedoch völlig heterogen. Das Spektrum reicht von fehlenden, mangelhaften oder fragwürdigen Regelwerksbezügen über verschiedene Bewertungsmaßstäbe bis hin zu Eigenerklärungen ohne neutrale Bewertung. Eine Einheitlichkeit liegt in keiner Weise vor.
 - › Für die Größe der synthetischen Zuschlagstoffe kann näherungsweise ein mittlerer Wert von 3 cm mit einer Bandbreite von etwa ± 2 cm angesetzt werden. Das Potenzial zu Zerkleinerungen bis hin zum Risiko des Eintrags in das Grundwasser wird angesprochen.
 - › Bei Zugabemengen der synthetischen Zuschlagstoffe von etwa 1 und 3 kg pro m² Tretschicht beträgt der Massenanteil des Zuschlagstoffes nur zwischen etwa 0,6 und 1,8 %. Das deutet bereits auf die besondere Problematik der versuchstechnischen Erfassung des Abrieb- und Zerfallverhaltens synthetischer Zuschlagstoffe hin (s. Kapitel 3, S. 53ff).
 - › Empfehlungen zum Einbau synthetischer Zuschlagstoffe in den Reitsand sind wenig konkret formuliert und genügen, auch durch fehlende Qualitätssicherungsmaßnahmen und Dokumentationen, nicht den erdbautechnischen Standards.
 - › Ebenfalls sind Pflegehinweise für Tretschichten mit synthetischen Zuschlagstoffen wenig konkret formuliert. Das gilt insbesondere für die einzusetzenden Bahnplaner.
 - › Ein nachträgliches Aufbringen von synthetischem Zuschlagstoff kann infolge der Beanspruchung oder des Materialaustrages erforderlich sein. Die Zeiträume variieren von 1 Jahr bis über 10 Jahre. Konkrete Mengenangaben liegen nicht vor.
- Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich folgende **Empfehlungen:**
- › Für die sportfunktionellen Parameter sind einheitliche Begriffsdefinitionen erforderlich. Denkbar ist hier eine Aufnahme in die Überarbeitung der FLL-Reitplatzempfehlung.
 - › Es müssen einheitliche Anforderungen an die Inhalte von Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen unter Bezugnahme auf geltende rechtliche Regelungen formuliert werden.
(Anmerkung: Betrachtungen zu rechtlichen Regelungen sind nicht Bestandteil dieses Forschungsprojektes.)
 - › Neben den reinen Produkteigenschaften synthetischer Zuschlagstoffe sind insbesondere Betrachtungen zu den kombinatorischen Wirkungen aller Stoffe und Belastungen bei dem Einsatzzweck als Tretschicht erforderlich.
 - › Die Abrieb- und Zerfallerscheinungen der synthetischen Zuschlagstoffe sind in Verbindung mit den eingesetzten Reitsanden zu quantifizieren und im Hinblick auf die Gesundheit der Pferde und Sportler sowie hinsichtlich des Austragsverhaltens aus den Plätzen und möglicher Umweltauswirkungen in der Umgebung zu bewerten.

- › Herstellende können sich aktiver einbringen, z. B. durch verbesserte Außendarstellungen, Beteiligung an Forschungsvorhaben zur Weiter-/Neuentwicklung von Zuschlagstoffen, ggf. Einrichtung einer Interessenvertretung.
- › Erdbautechnische Maßnahmen sind durch übliche Standards wie konkrete Einbauempfehlungen, Qualitätssicherungsmaßnahmen und Dokumentationen zu regeln.

Einhergehend mit den Empfehlungen sind weitergehende **Forschungsvorhaben** zu initiieren. Das gilt insbesondere für

- › die Prüfung des Reaktionsverhaltens von Tretschichten bei Belastung. Hier sind Art, Menge und Veränderungen möglicher Zuschlagstoffe von Bedeutung (s. auch Kapitel 1, S. 9ff),
- › die Bewertung der Auswirkungen der Abrieb- und Zerfallerscheinungen im Hinblick auf die Gesundheit der Pferde und Sportausübenden (s. auch Kapitel 5, S. 99ff),
- › die Bewertung möglicher Umweltauswirkungen durch Austrag von synthetischen Zuschlagstoffen (s. auch Kapitel 4, S. 89ff).

3 Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen

3.1 Einleitung

3.1.1 Problemstellung

Die Zuschlagstoffe werden durch die Nutzung des Reitplatzes einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt. Es ist bekannt, dass selbst Sandkörner aus Quarz unter Schlag- sowie Reibungsbelastung ihre Form verändern bzw. zerkleinert und zerrieben werden (Heinrich et al., 2010, S. 130 ff). Im Analogieschluss ist davon auszugehen, dass auch die Zuschlagstoffe in der Sandtretschicht diesem Prozess unterliegen.

Hinzu kommen, je nach Lage des Platzes, witterungsbedingte Faktoren wie Temperaturschwankungen, UV-Licht und Niederschlag, die ebenfalls einen Einfluss auf Form, Größe und Struktur der Zuschlagstoffe haben können.

Die folgende Abb. 1 macht den Unterschied der Begriffe Abrieb und Zerfall deutlich und stellt daraus resultierende Fragestellungen dar.

Beide Aspekte sind sehr komplex und werden im Rahmen dieses Vorhabens ausdrücklich als weiterführende Fragen benannt, jedoch nicht im Detail weiter bearbeitet.

In diesem Zusammenhang sei auch auf Kapitel 4 (S. 89ff) Emission von synthetischen Zuschlagstoffen aus dem Reitboden und Kapitel 5 (S. 99ff) Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier verwiesen.

Die Untersuchung der Frage nach Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen trägt somit aufgrund der hieraus resultierenden, weiterführenden Auswirkungen und Aspekte zur Bearbeitung der Gesamthematik des Forschungsprojektes „Ersatz von synthetischen Zuschlagstoffen durch biologische Zuschlagstoffe“ bei.

3.1.2 Ziel

Ziel ist es, Aussagen zum Abrieb und Zerfall von Zuschlagstoffen hinsichtlich von Größe, Form und Massenanteilen treffen zu können.

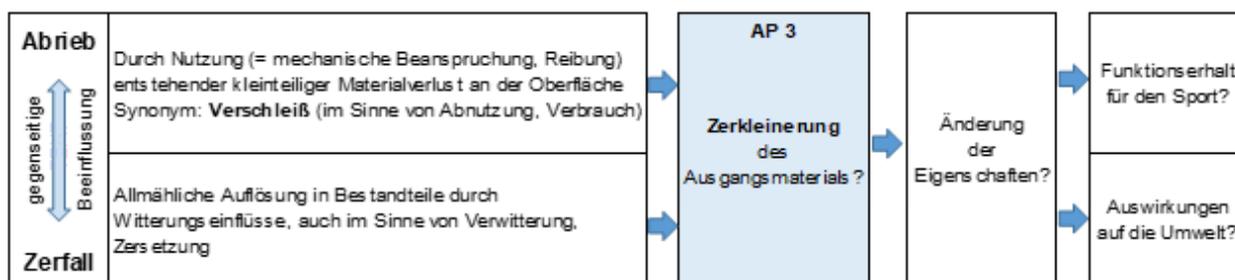


Abb. 1: Begriffsdefinitionen Abrieb und Zerfall

Größe, Form und Massenanteile dieser durch die oben genannten Faktoren zerkleinerten Zuschlagstoffe sind bisher nicht näher untersucht worden.

Es besteht die grundlegende Annahme, dass die Veränderung der Größe und Form auch eine Änderung der Eigenschaften der Zuschlagstoffe (in Verbundwirkung mit Sand) gegenüber denen des Ausgangsmaterials bewirkt.

Dies wiederum mündet in zwei Fragestellungen, die auch die Motivation bzw. den Anlass dieses Forschungsansatzes verdeutlichen. Zum einen, ob die Zuschlagstoffe hierdurch die gewünschte Funktion für den Reitsport noch erfüllen, zum anderen ob die – teilweise durch Zertifikate nachgewiesenen (Kapitel 2, S. 29ff) – unschädlichen Auswirkungen auf die Umwelt gleich bleiben.

Hierfür sind verschiedene Tretschichten mit unterschiedlichen mechanischen Belastungsgraden zu untersuchen.

Es sind somit Proben von Reitplätzen zu nehmen, die Aussagen bzw. einen Vergleich sowohl hinsichtlich der verschiedenen Zuschlagstoffe als auch in Bezug auf hohe und niedrige Belastung ermöglichen. Anhand dieser Proben sind durch Laborversuche Größe, Form und Massenanteile der zerkleinerten Zuschlagstoffe zu bestimmen und Veränderungen hinsichtlich des Ausgangsstoffes darzulegen.

Hierbei ist die Entwicklung eines geeigneten Untersuchungsablaufs explizit Bestandteil der Aufgabenstellung. Geeignet meint in diesem Zusammenhang, einen handwerklich handhabbaren, pragmatischen Ansatz zu finden, der

mit den üblichen Methoden eines bodenmechanischen Labors in akzeptablem Zeitaufwand durchgeführt werden kann.

Auf diese Weise wird eine Grundlage geschaffen, die zukünftig thematisch folgenden Fragestellungen (vgl. Abb. 1) bearbeiten zu können.

Eine detailliertere Unterscheidung in Abrieb und Zerfall wird nicht erfolgen, da sich diese gegenseitig beeinflussen, eine Differenzierung somit schwer möglich und, wie in der Einführung dargelegt, die Zerkleinerung des Materials der entscheidende Punkt für die weiteren Fragestellungen ist.

3.1.3 Vorgehensweise

Zunächst sind Reitplätze auszuwählen, die die oben genannten Kriterien erfüllen, und die Erlaubnis zur Probenahme für dieses Forschungsvorhaben ist einzuholen. Weiterhin sind möglichst viele zusätzliche Informationen beispielsweise zu der Bauweise und Nutzung der Plätze zu erfassen.

Auch wenn laut Forschungsbewilligung die Labor- und Felduntersuchungen allenfalls den Charakter von orientierenden Untersuchungen haben, wird zu Beginn eine möglichst breite Auswahl an Proben angestrebt, um eine ausreichende Grundlage für die Untersuchungen sowie später Auswahlmöglichkeiten im Labor zu haben.

Nach der Probenahme (Abschnitt 3.2) und einer ersten Inaugenscheinnahme der Proben im Labor ist ein Untersuchungsablauf für diese spezielle Aufgabenstellung zu entwickeln und zu bearbeiten. Hierzu werden bekannte genormte Versuche aus der Bodenmechanik und dem Erdbau als Grundlage verwendet. Teilweise sind diese aufgrund der besonderen Zusammensetzung der Proben aus mehreren Komponenten zu modifizieren bzw. ihre Eignung durch Vorversuche zu überprüfen.

Die Versuchsdarstellung bis hin zu den Ergebnissen erfolgt unter Abschnitt 3.3. Dies beginnt mit der allgemeinen Darstellung und Erläuterung der Laborversuche, gefolgt von den durchgeführten Versuchen an ausgewählten Proben. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden wertfrei dargestellt, anschließend hinsichtlich der Aufgabenstellung in Abschnitt 3.4 bewertet, diskutiert und offene Punkte aufgezeigt.

Abschließend folgen unter Abschnitt 3.5 ein Fazit und Ausblick mit weiterführenden Fragestellungen. Letzteres entspricht dem ausdrücklichen Wunsch des Projektbeirats, Wissensdefizite zu identifizieren und weitere Arbeitspakete bzw. Forschungsvorhaben zu benennen.

Im Anhang (S. 125ff) finden sich die detaillierten Ergebnisse der Vorversuche.

3.2 Probenahme auf Reitplätzen

Die stichpunktartigen Probenahmen der Sande mit Zuschlagstoffen sind am 1. Oktober 2020 auf insgesamt sechs Reitplätzen durchgeführt worden.

Der Aushub der Proben ist mittels einer Metallschaufel über die gesamte Mächtigkeit der jeweiligen Tretschichten erfolgt. Die Proben sind ins Labor für Tiefbau der Hochschule Osnabrück gebracht worden. Pro Probenahmepunkt liegen etwa drei Liter (ca. 2,5 kg feuchte Masse) vor. Auf die Auswahl der Probenahmepunkte der einzelnen Plätze wird weiter unten in diesem Kapitel detaillierter eingegangen.

Eine Übersicht der Reitplätze mit technischen Angaben zu Bau und Nutzung sowie der entnommenen Proben enthält Tab. 1 (S. 57).

Folgende Erläuterungen sind zu der Tabelle zu geben:

Die Informationen über die technischen Angaben zu Bau und Nutzung stammen von den Betriebsleitungen der Reitplätze. Diese sind teilweise unvollständig und lassen sich nicht weiter recherchieren.

Die entnommene Probenanzahl pro Platz differiert. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Nutzungsweise der Reitplätze. Es ist angedacht herauszufinden, ob schon innerhalb eines Reitplatzes Unterschiede der Nutzungsintensität von der Tretschicht ablesbar sind. Wo diese Unterscheidung möglich ist, werden je drei Proben aus augenscheinlich stärker belasteten Bereichen und drei aus weniger belasteten Bereichen entnommen. Starke Belastungen wären zum Beispiel vor und hinter Hindernissen zu erwarten oder auf einem Dressurplatz auf der Linie viel genutzter Hufschlagfiguren bzw. dem Hufschlag (Näheres in „Beispiel für eine Probenahme“, s. u.).

Tab. 1: Übersicht Probenahme auf Reitplätzen mit organischen und synthetischen Zuschlagstoffen

Reitplatz- bezeichnung	Bauweise	Baujahr	Nutzung	Nutzungsintensität / mechanische Belastung	Proben- anzahl	Proben- kürzel
SP	Trettschicht: Sand mit synthetischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 13 cm Trennschicht: Kiesgemisch aus Eifelgestein Tragschicht: Schotter mit Drainagegräben	ca. 2016	Springen	- Nutzung für Turniere (grüne Saison) - wechselnde Parcours - Belastungsintensitätsunterschiede nicht ersichtlich	3	SP 1 SP 2 SP 3
RP	Trettschicht: Sand mit synthetischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 14,5 cm Trennschicht: unbekannt Tragschicht: Schotter	keine Angabe	Dressur	- Nutzung für Turniere (grüne Saison) - Aufbau von Vierecken - Belastungsintensitätsunterschiede nicht ersichtlich	3	RP 1 RP 2 RP 3
AP	Trettschicht: Sand mit synthetischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 30 - 33 cm über Drainageröhren	keine Angabe	Springen Dressur	- Regelmäßige Nutzung - Häufiger Aufbau von Vierecken oder Parcours - Belastungsintensitätsunterschiede nicht ersichtlich	3	AP 1 AP 2 AP 3
DP	Trettschicht: Sand mit synthetischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 10 - 12 cm Tragschicht: Asphalt mit Drainageschlitzten	ca. 2016	Dressur	- Regelmäßige Nutzung - 3 Proben auf typischen Linien - 3 Proben auf niedrig frequentierten Flächen	6	DP N1 DP N2 DP N3 DP H1 DP H2 DP H3
VD	Trettschicht: Sand mit synthetischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 15,5 cm Tragschicht: Asphalt mit Drainageschlitzten	2020	Dressur Longieren		6	VD N1 VD N2 VD N3 VD H1 VD H2 VD H3
SH	Trettschicht: Sand mit organischem Zuschlagstoff Einbaustärke: 15 cm (Holz) Tragschicht: Hochofenschlacke	keine Angabe	Springen Dressur Longieren Volligieren		6	SH N1 SH N2 SH N3 SH H1 SH H2 SH H3

Auf den ersten drei Plätzen (SP, RP, AP) sind zum Zeitpunkt der Probenahme keine Belastungsintensitätsunterschiede auf den Flächen ersichtlich. Dies liegt zum einen an der geringen Nutzungsintensität, zum anderen wie beim Anstauplatz auch an der quadratischen Form sowie den unterschiedlichen Nutzungsarten, die keine offensichtlichen Wegeführungen erkennen lassen. Somit ist keine Differenzierung von hoch bzw. niedrig belasteten Probenahmepunkten möglich. Die Probenahme ist deshalb auf 3 Proben beschränkt.

Im Gegensatz dazu werden bei den folgenden drei Plätzen (DP, VD, SH) sechs Proben entnommen, weil hier typische Linienführungen erkennbar sind und folglich ein Rückschluss auf Belastungsintensitätsunterschiede gezogen werden kann. Es erfolgen somit jeweils drei Probenahmen auf den Linienführungen, die als hoch frequentiert/mechanisch belastet jeweils mit dem Kürzel H1 bis H3 bezeichnet, und drei Probenahmen an niedrig frequentierten Stellen neben diesen, die als N1 bis N3 benannt sind.

Beispiel für eine Probenahme

Die Vorgehensweise wird am Beispiel eines Dressurplatzes verdeutlicht. Die Darstellung erfolgt etwas ausführlicher, da sich viele der später durchgeführten Laborversuche auf einen solchen Platz beziehen.

Der Platz ist in dem Standardmaß 20 x 60 m angelegt. Auf einer Asphalttragschicht mit Drainageschlitzten ist eine Trettschicht aus Sand mit synthetischem Zuschlagstoff in einer Schichtdicke von 10 bis 12 cm vorhanden (Abb. 2).



Abb. 2: Trettschicht Dressurplatz



Abb. 3: Gerätschaften zur Probenahme

Hier werden vornehmlich Aufgaben geritten, die auf Turnieren abgefragt werden. Sie bestehen aus Hufschlagfiguren (einer vorgegebenen Linienführung) und Lektionen (Übungen wie zum Beispiel ein Wechsel der Gangart). Korrekte Linienführung und das Ausführen der Lektionen an den vorgegebenen Punkten sind ein wichtiges Kriterium zur Bewertung der gerittenen Aufgabe auf dem Turnier. Außerdem ist davon auszugehen, dass zum Üben der Aufgabe in der Regel nur ein Pferd auf dem Platz ist. Ein Verlassen des Hufschlags (die Außenbahn inner-

halb der Reitbahn) aufgrund von Gegenverkehr und damit die vermehrte Nutzung des zweiten Hufschlags (die Außenbahn um eine Pferdebreite nach innen versetzt) wird dadurch minimiert.

In Abb. 4 sind mit rot beispielhaft Hufschlagfiguren eingezeichnet, um die Auswahl der sechs Probenahmepunkte zu verdeutlichen. Deren Bemaßung erfolgte in der Reihenfolge: H1, N1, H2, N2, H3, N3.

Die Buchstaben außerhalb des Vierecks sind Bahnpunkte, die einer genauen Beschreibung der Hufschlagfiguren dienen. Die rote Außenlinie stellt den Hufschlag dar. Zudem wird die Fläche von zwei diagonalen roten Linien geteilt. Diese Linien verbinden die Bahnpunkte „M“ und „K“ sowie „H“ und „F“ und stellen die Hufschlagfigur „Durch-die-ganze-Bahn-wechseln“ dar. Diese wird oft gewählt, um die Hand, also die Richtung, zu wechseln. Der Kreuzungspunkt, genannt „X“, wird bei vielen Hufschlagfiguren überritten. Weiterhin ist in einigen Aufgaben die Lektion „Halten“ an diesem Punkt gefragt. Ein promptes Anhalten bringt vermehrt Kräfte in den Boden.

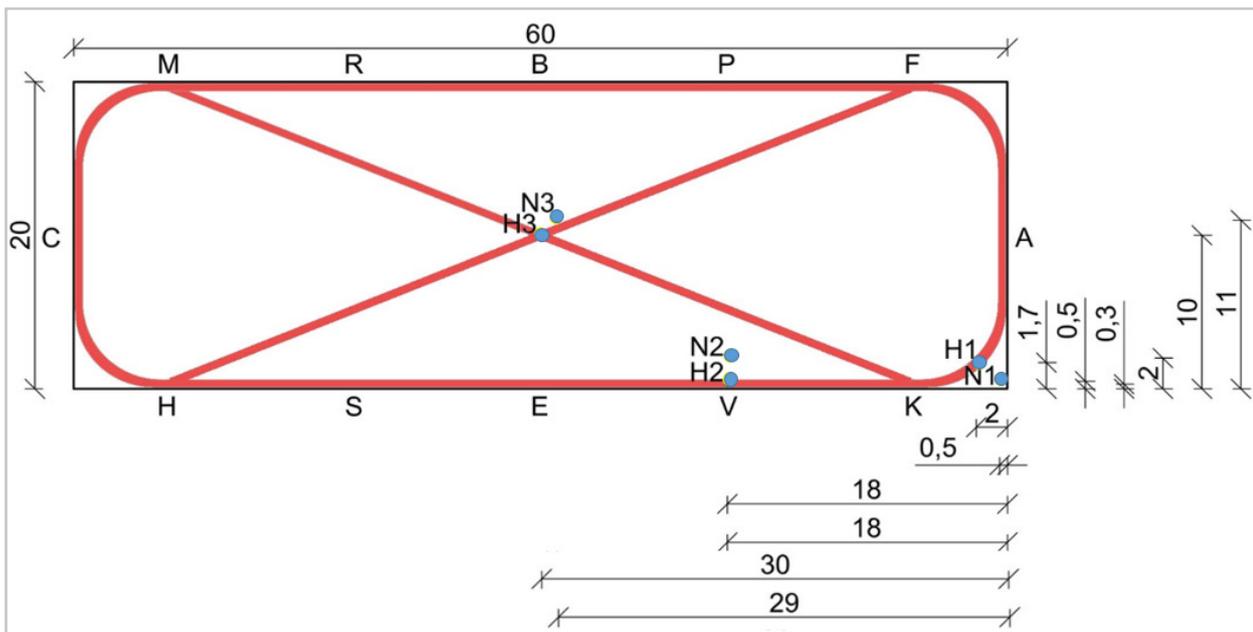


Abb. 4: Probeplan Dressurplatz (Angaben in [m], ohne Maßstab)

3.3 Laborversuche an Sanden mit organischen und synthetischen Zuschlagstoffen

3.3.1 Übersicht

Es werden die zwei grundsätzlich vorliegenden Arten von Proben betrachtet, deren Einzelkomponenten verschiedene chemische und physikalische Eigenschaften haben und somit verschiedene Untersuchungsabläufe bedingen:

- Sand mit organischem Zuschlagstoff (Holzhäcksel) und Sand mit synthetischem Zuschlagstoff (Vlies). Ersterer hat drei Bestandteile, den mineralischen (Sand), den organischen (Zuschlagstoff Holzhäcksel und natürlich vorkommendes Material, z. B. Laub, Pferdeäpfel) sowie Wasser. Bei Sand mit synthetischem Zuschlagstoff kommt ebendieser als „Kunststoff“ und somit vierter Bestandteil hinzu.
- Sand mit organischem Zuschlagstoff ist folglich das versuchstechnisch einfachere Material, da es nur aus drei verschiedenen Komponenten besteht. Deshalb wird nachfolgend unter Abschnitt 3.2 mit diesem begonnen. So können anhand dessen Versuchsprinzipien aufgezeigt und Grundlegendes erläutert werden. Darauf aufbauend werden anschließend unter Abschnitt 3.3 die komplexeren Versuchsabläufe bei Sand mit synthetischem Zuschlagstoff beschrieben.

In den Abschnitten hierzu werden jeweils diese Punkte bearbeitet:

- › Entwicklung des Untersuchungsablaufs – Darstellung und Erläuterung der Laborversuche
- › Darstellung der durchgeführten Versuche an ausgewählten Proben
- › Darstellung der Ergebnisse.

Einleitend sind zu den Versuchen folgende Hinweise gegeben:

Wie in der Beschreibung der Vorgehensweise erwähnt, werden bekannte genormte Versuche aus der Bodenmechanik und dem Erdbau als Grundlage verwendet. Deshalb werden diese nicht detailliert beschrieben, sondern auf die entsprechende Norm verwiesen, sofern im Rahmen des Untersuchungsablaufs keine Anpassungen hierzu notwendig sind.

Allerdings kommt die vorliegende Materialkonstellation der Proben in der Bodenmechanik üblicherweise nicht vor. Standardmäßig werden die mineralischen Bestandteile (Ton, Schluff, Sand, Kies) und ggf. der Bestandteil an natürlich vorkommender organischer Substanz untersucht. Demzufolge sind die genormten Versuche teilweise zu modifizieren bzw. ihre Eignung im angedachten Untersuchungsablauf durch Vorversuche zu prüfen und ggf. kritische Punkte darzulegen. Auch wenn der Arbeitsumfang der Vorversuche im Labor einen Großteil der Zeit in Anspruch genommen hat, erfolgt in diesem Kapitel nur eine Kurzdarstellung in Tabellenform, weil hinsichtlich der Ausgangsfragestellung vor allem das Ergebnis und dessen Bewertung für den Untersuchungsablauf bzw. das weitere Vorgehen relevant ist. Im Anhang dieses Kapitels (S. 125ff) finden sich die Untersuchungsergebnisse hierzu im Detail sowie Abbildungen zur Veranschaulichung.

Hinsichtlich der Darstellung der Versuche an ausgewählten Proben sei auf die Formulierung im Titel des Forschungsvorhabens „Sondierung“, und die Aussage des Projektbeirats verwiesen, dass Labor- und Felduntersuchungen allenfalls den Charakter von orientierenden Untersuchungen aufweisen können. Demzufolge sind nicht alle genommenen Proben im Labor dem Untersuchungsablauf unterzogen worden. Nach der Sichtung der Proben im Labor und dem Abgleich der bekannten technischen Rahmenbedingungen ist die Auswahl danach getroffen worden, welche erwartungsgemäß die zielführendsten Ergebnisse liefern würden. Die explizit bei Sand mit synthetischem Zuschlagstoff umfangreichen Vorversuche sind im Sinne der vorgenannten Formulierung als orientierende Untersuchungen einzustufen.

An dieser Stelle sei auch darauf verwiesen, dass von allen beprobten Plätzen keine „Nullproben“ vom Ausgangsmaterial vorhanden sind, weder von der Tretschicht(-mischung), noch von dem reinen jeweiligen Zuschlagstoff.

Dies bedeutet, dass nur ein Vergleich zwischen hoch und niedrig belasteten Punkten eines Platzes erfolgen kann, um als Ergebnis Aussagen zum Abrieb und Zerfall treffen zu können. Auch konkretere Daten zur Nutzungsintensität der Plätze sind nicht verfügbar, sodass die Ergebnisse allgemeinen Aussagecharakter haben, jedoch nicht in Bezug zu einer definierten mechanischen Belastung gesetzt werden können. Auf diese beiden vorgenannten Aspekte wird in der Diskussion weiter einzugehen sein. Um trotzdem Aussagen zur Zerkleinerung von synthetischen Zuschlagstoffen in Bezug auf Ausgangsmateri-

alien treffen zu können, werden zusätzlich zu den Untersuchungen im Labor der Hochschule Osnabrück Verschleißversuche durch das Prüflabor Morbach in Walsrode durchgeführt. Diese finden sich gesondert unter Abschnitt 3.3.3.4.

3.3.2 Sand mit organischem Zuschlagstoff

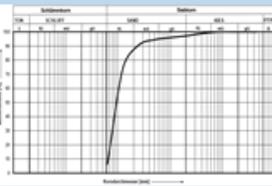
3.3.2.1 Entwicklung des Untersuchungsablaufs – Darstellung und Erläuterung der Laborversuche

Tab. 2 gibt einen Überblick über den Untersuchungsablauf und wird im Folgenden erläutert:

Arbeitsschritt 1 Probenahme

Diese ist unter Abschnitt 3.2 beschrieben.

Tab. 2: Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit organischem Zuschlagstoff

Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit organischem Zuschlagstoff				
	1	2	3	4
Arbeitsschritt	Probenahme der Tretschicht auf Reitplätzen 	Trocknung der Probe im Ofen bei 105 °C, Wasserentzug 	(Nass-)Siebung der Probe, somit Zerlegung der Ausgangsprobe in Teilproben mit durch die Siebe definierten Größen 	Verglühen der Probe und somit der Zuschlagstoffe und der organischen Bestandteile bei 550 °C (Sand bleibt erhalten) 
	Ergebnis	Probe von Tretschichtmaterial bestehend aus: - Sand - Zuschlagstoff Holzhäcksel - Natürlich vorkommende organische Bestandteile (z. B. Laub, Pferdeäpfel) - Wasser 	Trockene Probe, sie ist somit vorbereitet für die Siebung 	Körnungslinie (Darstellung der Massenanteile der Teilproben) 

Arbeitsschritt 2 Trocknung

Im Labor erfolgt die Trocknung der Proben bei 105°C bis zur Massenkonstanz (DIN EN ISO 17892-1). Der Wasserentzug dient der Vorbereitung der Probe für die weiteren Versuche, da für diese die Trockenmasse des Materials benötigt wird. Außerdem wird so eine Veränderung der organischen Bestandteile bei längerer Lagerung verhindert.

Arbeitsschritt 3 Siebung

Im nächsten Schritt wird die Probe durch (Nass-)Siebung in Teilproben mit unterschiedlicher Korngröße zerlegt (DIN EN ISO 17892-4). Das Ergebnis ist die Trockenmasse der einzelnen Teilproben; es kann somit die prozentuale Massenverteilung ermittelt werden. Die Darstellung des Versuchsergebnisses erfolgt in einer Körnungslinie. Die Auswahl der Siebe bestimmt hierbei den Detaillierungs- bzw. Genauigkeitsgrad des späteren Ergebnisses.

Für dieses Vorhaben wird der in der vorgenannten Norm empfohlene Siebsatz erweitert, um im Sandbereich präzisere Aussagen treffen und so der Fragestellung nach Abrieb und Zerfall nachgehen zu können. Es wird folgender Siebsatz (s. Abb. 5) gewählt. Die Zahlen geben das Siebraster in Millimeter an, die fett hervorgehobenen Angaben sind die zusätzlich zur Norm verwendeten Siebe:

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass durch

0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8
-------	-------------	--------------	-------------	-----	-------------	------------	------------	------	-------------	----------	---	----------	----------

Abb. 5: Übersicht Verwendung Siebsatz organischer Zuschlagstoff (Angaben in [mm])

die vom Kugelmodell der Sandkörner abweichende längliche Form der Holzhäcksel gewisse Ungenauigkeiten bei der Siebung auftreten können. Das Lochmaß des Siebrasters berücksichtigt den kleinsten Durchmesser. So können beispielsweise 5 mm lange Partikel auch durch ein 2 mm Sieb passen. In der Folge kann der Rückstand auf einem Sieb auch für jene Fraktion „zu große“ Partikel des Zuschlagstoffes enthalten.

Dieser Umstand ist später bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Arbeitsschritt 4 Verglühen

Um den Anteil der organischen Zuschlagstoffe in den Teilproben bestimmen zu können, werden diese bei 550 °C verglüht (DIN 18128). Hierbei werden die organischen Bestandteile der Probe verascht, der Sandanteil bleibt erhalten, da diese Temperatur keine Auswirkung auf die Masse der mineralischen Bestandteile hat. Durch die Rückrechnung der Massenanteile wird die anteilige Masse des Sandes und des organischen Zuschlagstoffs je Siebrückstand (Teilprobe) bestimmt. Somit können Aussagen zu deren Vorkommen und Verteilung getroffen sowie Schlussfolgerungen hinsichtlich Abrieb und Zerfall gezogen werden.

Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass auch die möglicherweise in der Tretschicht natürlich vorkommenden organischen Bestandteile wie Laub oder Pferdeäpfel durch das Verglühen veraschen und folglich in der Massenbilanz enthalten sein würden.

Deshalb sind bei der Probenahme die technischen Rahmenbedingungen zu dokumentieren, die Aussagen über die Lage oder Nutzung des Platzes treffen, um diesen Punkt später bei der Bewertung der Ergebnisse ansatzweise berücksichtigen zu können.

Für konkrete Aussagen hierzu wäre eine Mikroskopie der Proben notwendig.

Darauf wird bei dieser Art der Probe verzichtet, da der Aufwand als unverhältnismäßig zum Nutzen eingestuft wird. Dieser Gedanke wird bei der zweiten Probenart Sand mit synthetischem Zuschlagstoff (Vlies) weiterverfolgt.

3.3.2.2 Darstellung der durchgeführten Versuche an ausgewählten Proben

Der in einer Halle gelegene Platz SH ist der einzige mit organischen Zuschlagstoffen. Insofern ist hinsichtlich des Platzes kein Auswahlverfahren darzustellen.

Allerdings ist anzumerken, dass hier aufgrund der Lage im Innenraum und des regelmäßigen Abäppelns (Absammeln des Mistes von der Tretschicht) der Anteil an natürlich vorkommenden organischen Bestandteilen, der die Genauigkeit bzw. Aussagekraft des Ergebnisses des Glühverlustes negativ beeinflussen könnte, als gering eingeschätzt wird.

Aus den drei Probenpaaren SH N 1-3 und SH H 1-3 wird das Paar SH N3/H3 für die Laborversuche herangezogen. Nach Wasserentzug werden jeweils 200 g Trockenmasse entnommen. Diese Proben werden halbiert, sodass vier Teilproben SH N3 I, SH N3 II sowie SH H3 I, SH H3 II mit je 100 g vorliegen.

Dies entspricht der empfohlenen Mindestprobenmenge für die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung (Siebung) in Anlehnung an die entsprechende Norm. Sie richtet sich nach dem maßgeblichen Größtkorn der Probe. Hierbei wird entschieden, dass lediglich der mineralische Bestandteil (Sand < 2 mm) zu betrachten ist. Die Übertragung auf die Holzhäcksel hätte zu unverhältnismäßig großen Probemengen geführt. So wären beispielsweise bei 8 mm 400 g je Teilprobe nötig gewesen.

Von jedem Probenahmepunkt werden zwei Teilproben untersucht, um eine Vergleichsprobe zur Kontrolle bzw. Verstetigung des Ergebnisses zu haben.

Die vier Proben werden wie oben beschrieben zur Ermittlung der Korngrößenverteilung nass gesiebt, im Anschluss erfolgt die Bestimmung des Glühverlustes, um den Massenanteil der organischen Bestandteile zu bekommen. Tab. 3 gibt einen Überblick.

Tab. 3: Übersicht der Proben und durchgeführten Versuche an organischen Zuschlagstoffen

Versuch Probe	Siebung 14 Siebe von 0,063 bis 8 mm	Verglühen 15 Teilproben aus der Siebung
SH N3 I	+	+
SH N3 II	+	+
SH H3 I	+	+
SH H3 II	+	+

3.3.2.3 Darstellung der Ergebnisse

Arbeitsschritt 3 Siebung

Die Siebung der vier Teilproben ergibt die in Abb. 6 gezeigten Körnungslinien. Die roten Linien stellen die Teilproben der niedrig (SH N3 I und II), die blauen die der hoch (SH H3 I und II) belasteten Punkte dar.

Nach rechnerischer Zusammenführung der jeweiligen Teilproben ergeben sich diese Körnungslinien (Abb. 7) für SH N3 gesamt und SH H3 gesamt.

Arbeitsschritt 4 Verglühen

Die Bestimmung des Glühverlustes an den vier Teilproben ergibt die in Tab. 4 (Seite 64) enthaltenen Daten.

Die Ergebnisse sind prozentual in Bezug auf die einzelnen Siebgrößen (Siebrückstände) dargestellt und blau hinterlegt.

Abb. 8 (S. 65) zeigt die prozentuale Verteilung des Glühverlustes in Bezug auf die einzelnen Siebgrößen (Siebrückstände) in der Übersicht. Die Farbgebung entspricht denen der zugehörigen Körnungslinien. Hinweis: Die organischen Anteile größer 8 mm (bei SH N3 I nicht vorhanden) wirken sich aufgrund des geringen Massenanteils nicht auf die Körnungslinie aus (s. Abb. 6).

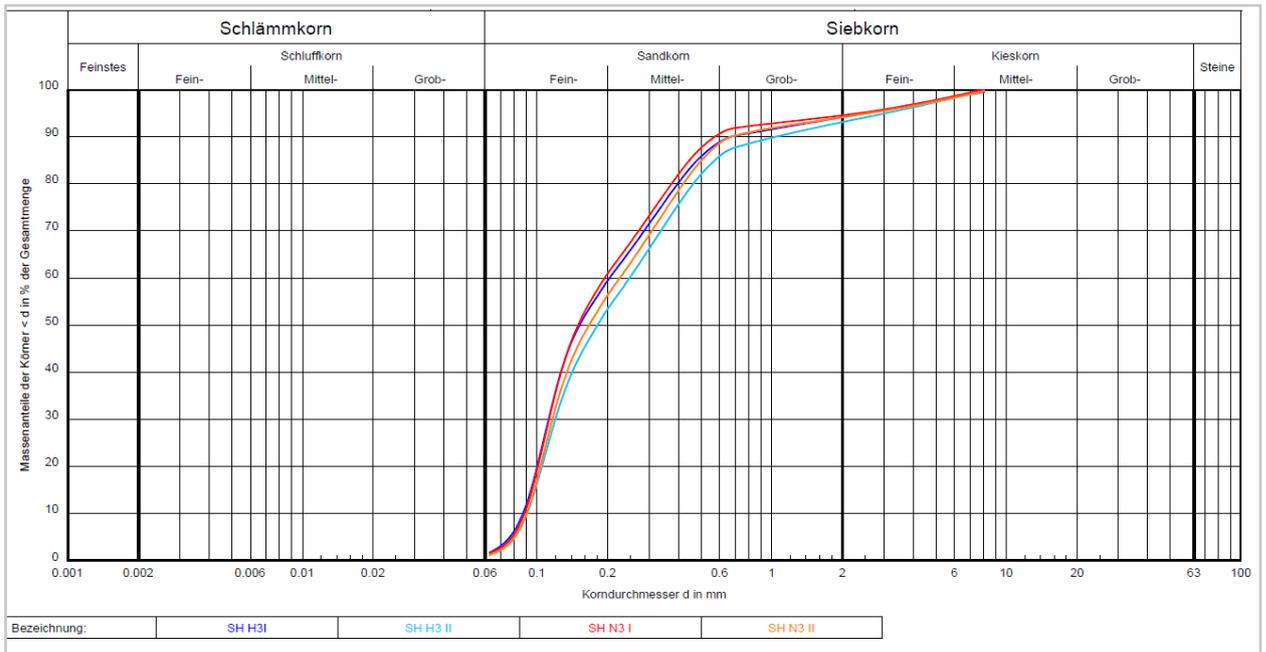


Abb. 6: Körnungslinien SH 3, Teilproben

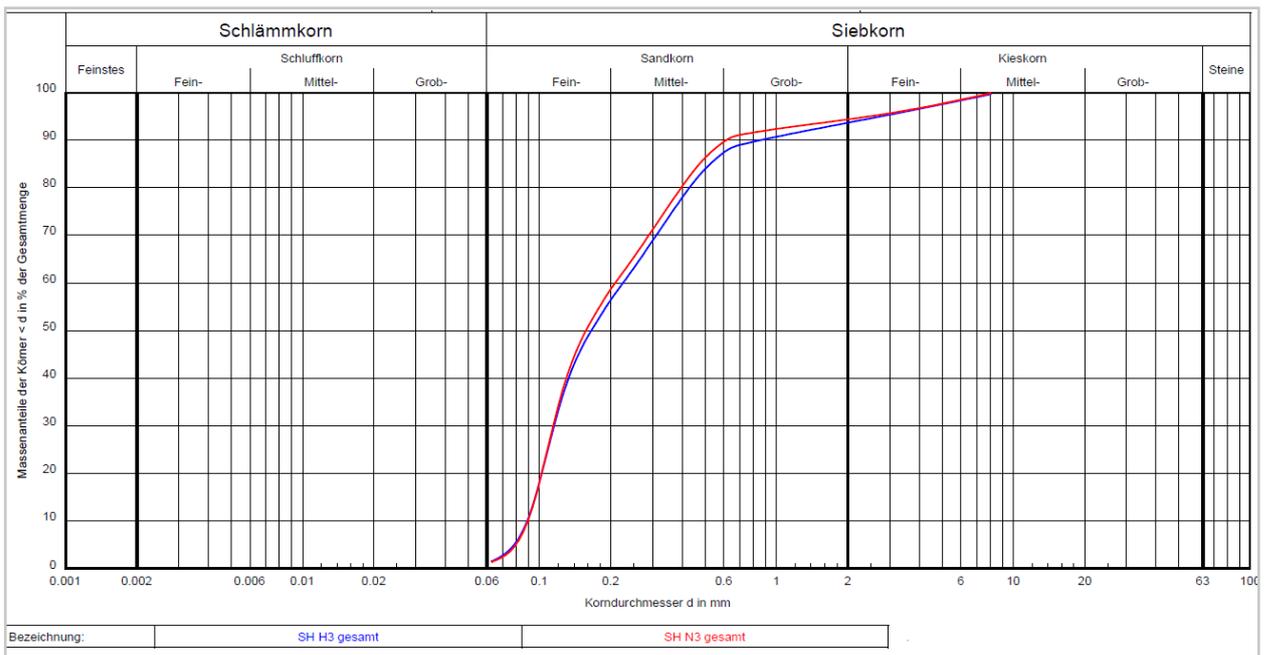


Abb. 7: Körnungslinien SH 3, Gesamtproben

Tab. 4: Glühverlust SH 3, Teilproben

Probenbezeichnung / Sieb: SH N3 I Alle Massenangaben in [g]	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust Δm_{gl}	0,124	0,040	0,301	0,227	0,061	0,106	0,246	0,125	0,170	0,067	0,287	1,057	1,688	2,748	-	7,248
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d	1,568	3,394	38,129	13,610	3,493	6,154	14,901	5,600	3,445	0,432	0,955	1,637	2,193	3,346	-	98,856
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	7,9%	1,2%	0,8%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	2,2%	4,9%	15,5%	30,0%	64,6%	76,9%	82,1%	-	7,3%

Probenbezeichnung / Sieb: SH N3 II Alle Massenangaben in [g]	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust Δm_{gl}	0,088	0,033	0,268	0,209	0,061	0,100	0,267	0,135	0,191	0,070	0,331	1,112	1,535	2,475	0,388	7,263
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d	0,997	2,862	35,241	12,539	3,904	6,155	15,977	6,348	4,352	0,655	1,511	2,058	2,114	3,148	0,437	98,298
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	8,8%	1,2%	0,8%	1,7%	1,6%	1,6%	1,7%	2,1%	4,4%	10,6%	21,9%	54,0%	72,6%	78,6%	88,8%	7,4%

Probenbezeichnung / Sieb: SH H3 I Alle Massenangaben in [g]	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust Δm_{gl}	0,195	0,057	0,326	0,220	0,069	0,113	0,261	0,128	0,184	0,078	0,311	1,269	1,925	1,845	0,511	7,492
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d	1,783	4,248	38,755	12,008	3,857	6,153	15,108	5,696	3,687	0,557	1,390	2,532	2,855	2,575	0,621	101,825
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	10,9%	1,3%	0,8%	1,8%	1,8%	1,8%	1,7%	2,2%	5,0%	14,0%	22,4%	50,1%	67,4%	71,7%	82,3%	7,4%

Probenbezeichnung / Sieb: SH H3 II Alle Massenangaben in [g]	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust Δm_{gl}	0,135	0,039	0,219	0,207	0,062	0,106	0,260	0,137	0,207	0,084	0,360	1,410	1,888	2,910	0,270	8,294
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d	1,382	3,281	32,404	13,331	3,868	6,480	16,105	6,496	4,778	0,815	2,082	3,122	2,859	3,590	0,320	100,913
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	9,8%	1,2%	0,7%	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%	2,1%	4,3%	10,3%	17,3%	45,2%	66,0%	81,1%	84,4%	8,2%

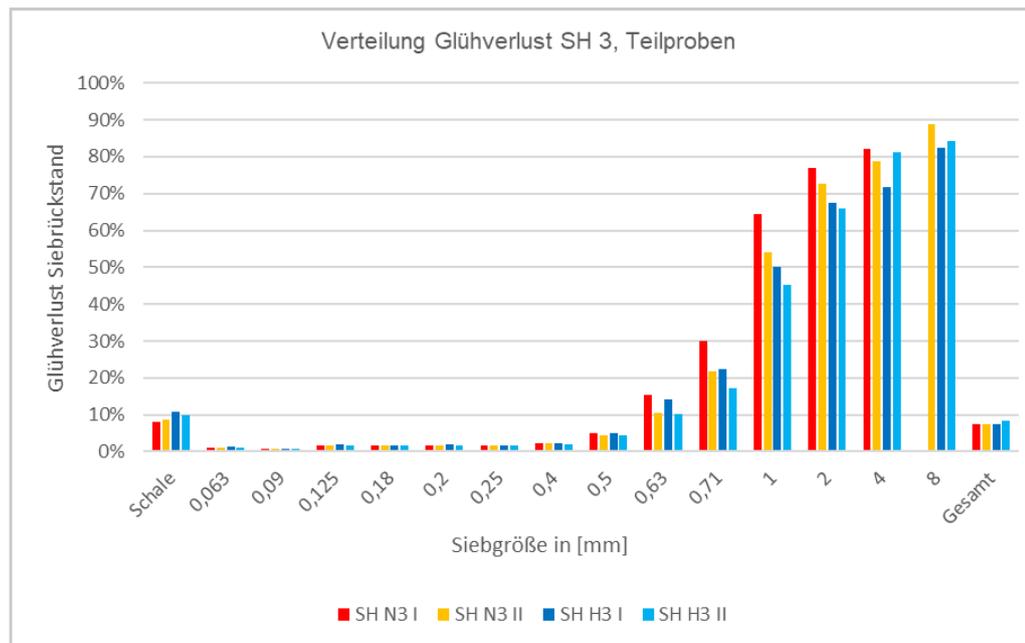


Abb. 8: Verteilung Glühverlust SH 3, Teilproben

3.3.3 Sand mit synthetischem Zuschlagstoff

3.3.3.1 Entwicklung des Untersuchungsablaufs – Darstellung und Erläuterung der Laborversuche

Tab. 5 (S. 66) gibt einen Überblick über den Untersuchungsablauf.

Arbeitsschritt 1 Probenahme

Diese ist unter Abschnitt 3.2 beschrieben.

Arbeitsschritt 2 Trocknung

Dieser Schritt wird analog zu Abschnitt 3.3.2 Sand mit organischem Zuschlagstoff durchgeführt.

Arbeitsschritt 3 Siebung

Hier sind zu der Beschreibung unter Abschnitt 3.3.2 folgende Punkte zu ergänzen:

Der Siebsatz ist verändert und besteht aus den in Abb. 9 aufgelisteten vier Sieben:

0,025	0,063	0,125	2
-------	-------	-------	---

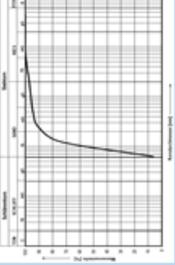
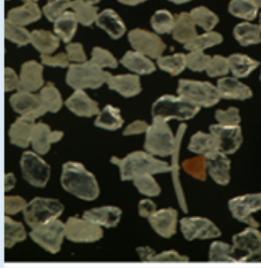
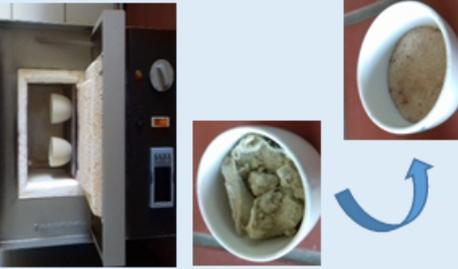
Abb. 9: Übersicht Verwendung Siebsatz synthetischer Zuschlagstoff (Angaben in mm)

Im Siebbereich größer 2 mm werden die sichtbaren Zuschlagstoffe erfasst und vom Sand getrennt. Im feinteiligen Bereich ist der Siebsatz um das 0,025 mm Sieb erweitert, um hier möglicherweise detailliertere Aussagen treffen zu können und damit das Vorhandensein des synthetischen Zuschlagstoffes zu prüfen. Dies ist allgemein in Hinblick auf die Mikroplastik-Thematik von Interesse, speziell sei hier mit Verweis auf Kapitel 5 (S. 99ff) die Problematik der Lungengängigkeit genannt, wo diese Größenordnung von Bedeutung sein könnte. Außerdem wird durch die weitere Unterteilung bei den feinen Sieben die Mikroskopie (Arbeitsschritt 4) besser vorbereitet.

Eine Vereinfachung des Siebsatzes ist auch aus dem Grund angestrebt, da die vorliegenden Proben aufgrund ihrer Zusammensetzung aus verschiedenen Materialien schwierig zu bearbeiten sind.

Die synthetischen Zuschlagstoffe, die möglicherweise vorkommenden organischen Bestandteile und der Sand bilden ein Materialgemisch, das sich nicht einfach trennen und in seine „Korngrößen“ zerlegen lässt. Eine Nasssiebung ist unabdingbar, da im trockenen Zustand Sand und Vlies aneinanderhaften bzw. ineinander verwoben sind.

Tab. 5: Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit synthetischem Zuschlagstoff
(Der rote Rahmen markiert die neu hinzukommenden Arbeitsschritte.)

Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit synthetischem Zuschlagstoff																
Arbeitschritt	<p>1</p> <p>Probenahme der Tretschicht auf Reitplätzen</p> 	<p>Ergebnis</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sand - Synthetischer Zuschlagstoff - Natürlich vorkommende organische Bestandteile (z. B. Laub, Pferdeäpfel) - Wasser 	2	<p>Trocknung der Probe im Ofen bei 105 °C, Wasserentzug</p> 	<p>Trockene Probe, sie ist somit vorbereitet für die Siebung</p> 	3	<p>(Mass-)Siebung der Probe, somit Zerlegung der Ausgangsprobe in Teilproben mit durch die Siebe definierten Größen</p> 	<p>Körnungslinie (Darstellung der Massenanteile der Teilproben). Material ist somit auch vorbereitet für Mikroskopie der Teilproben</p> 	4	<p>Mikroskopie der Teilproben, Prüfung auf Zuschlagstoffe in Anzahl und Form sowie organische Bestandteile</p> 	<p>Einschätzung des Anteils an Zuschlagstoffen und deren Form sowie an organischen Bestandteilen der Teilproben, "Kontrolle" für nachfolgende Massenermittlung</p>	5	<p>VARIANTE A Entzug der organischen Bestandteile mithilfe von H₂O₂ (Wasserstoffperoxid)</p>  <p>VARIANTE B Ansatz von Erfahrungswerten für den Massenanteil der organischen Bestandteile</p>	<p>VARIANTE A Teilprobe liegt ohne organische Bestandteile vor (Sand + Zuschlagstoff)</p> <p>VARIANTE B Teilprobe unverändert (Sand + Zuschlagstoff + organische Bestandteile)</p>	6	<p>Vergleichen der Probe und somit der Zuschlagstoffe (A) bzw. der Zuschlagstoffe und der organischen Bestandteile (B) bei 600 °C (Sand bleibt erhalten)</p>  <p>Durch Rückrechnung der Massenanteile Ermittlung des Massenanteils an Zuschlagstoffen je Teilprobe = Anteil an (Mikro-)Kunststoffen, Darstellung in Säulendiagrammen</p>

Als letzter Punkt sei an dieser Stelle wie bei den organischen Zuschlagstoffen darauf verwiesen, dass gewisse Ungenauigkeiten bei der Siebung auftreten können, da die Form vom Kugelmodell der Sandkörner abweicht. Dies ist bei den synthetischen Zuschlagstoffen aufgrund ihrer stark inhomogenen Form und des zudem auch weichen Materials in noch ausgeprägterem Maß der Fall. Dieser Umstand ist später bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Arbeitsschritt 4 Mikroskopie

An dieser Stelle wird zusätzlich zu üblichen bodenmechanischen Untersuchungen die Mikroskopie eingeführt. Dies hat mehrere Ziele.

Einerseits sollen Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Probe nach den verschiedenen Materialarten gewonnen werden. Wieviel synthetische Zuschlagstoffe und wieviel natürliches organisches Material (z. B. Laub, Pferdeäpfel) sind in der Probe sichtbar? Letztes wird für Arbeitsschritt 5 relevant und dort näher erläutert. Der optische Eindruck durch die Mikroskopie soll die nachfolgende Massenermittlung der Zuschlagstoffe und auch der organischen Bestandteile in gewissem Maß kontrollieren (Plausibilität) sowie in der Einordnung unterstützen.

Andererseits sollen Aussagen über die Form der Einzelbestandteile gewonnen werden. Dies ist für zwei Aspekte hinsichtlich der Fragestellung wichtig. Sind bei den Sandkörnern und den Zuschlagstoffen Unterschiede bei hoch und niedrig belasteten Probenahmepunkten zu erkennen, ist also der Abrieb bzw. Verschleiß sichtbar? Weiterhin spielt die Form der Vliespartikel (Schwebpartikel) bei der Frage nach der Einatembarkeit und Lungengängigkeit eine wichtige Rolle. Hierzu sei im Detail auf Kapitel 5 Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier verwiesen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Dichte der beprobten Materialbestandteile sehr unterschiedlich ist. Der Volumenanteil ist deutlich höher als der Massenanteil. Einen Eindruck hiervon vermittelt Abb. 23, die eine größere Tretschichtprobe zeigt.

Untersucht werden die einzelnen vorher durch Siebung getrennten Korngrößenbereiche mit entsprechenden Mikroskopen und Vergrößerungen. Eine Übersicht hierzu zeigt Tab. 6.

Tab. 6: *Verwendete Mikroskope und Vergrößerungen*

Korngröße	Vergrößerung	Mikroskop
kleiner 0,025 mm	250-500	Lichtmikroskop
0,025 mm bis 0,063 mm	120	Stereo-Zoom-Mikroskop
0,063 mm bis 0,125 mm	50	Stereo-Zoom-Mikroskop
0,125 mm bis 2,0 mm	25	Stereo-Zoom-Mikroskop

Im Verlauf der Untersuchungen stellt sich heraus, dass die Betrachtungen unter dem Lichtmikroskop im Rahmen dieses Projektes zu speziell bzw. aufwendig sind. Sie werden nicht weiterverfolgt.

Die Probenanteile größer als 2 mm werden nicht mikroskopiert, da diese größtenteils aus Vliesmaterial bestehen und mit bloßem Auge zu erkennen sind.

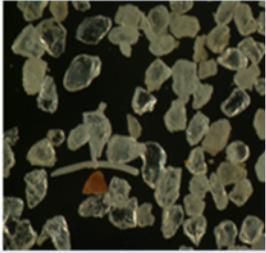
Wie in der Übersicht zu diesem Kapitel erwähnt, sind die Zusammensetzung der Probe aus drei verschiedenen Komponenten und zudem die Mikroskopie nicht Standard im Labor für Bodenmechanik und Erdbau. Aus diesem Grund werden hierzu Vorversuche notwendig, um die Eignung für den Untersuchungsablauf zu prüfen und Sicherheit im Verfahren zu gewinnen.

Es sind folgende Fragen zu klären bzw. Punkte abzuarbeiten:

- Sind die drei Komponenten Sand, organische Substanz und synthetischer Zuschlagstoff in der Mischprobe erkennbar?
- Referenzbilder von bekannten Einzelbestandteilen (Vlies, Pferdeäpfel) zur besseren Beurteilung der Mischprobe herstellen.
- Ist in der Form des Sandes bzw. der Zuschlagstoffe ein Unterschied zwischen hoch und niedrig belastet erkennbar (erste Einschätzung)?

Tab. 7 (S. 68) zeigt die Vorversuche in Kurzform auf. Hinsichtlich der Untersuchungsergebnisse im Detail sowie Abbildungen zur Veranschaulichung wird auf den Anhang (S. 125ff) verwiesen.

Tab. 7: Vorversuche (Vv) Mikroskopie

Mikroskopie		Vorversuche (Vv) Mikroskopie	
	4	Vv 4.1	Vv 4.2
Arbeitsschritt	Mikroskopie der Teilproben, Prüfung auf Zuschlagstoffe in Anzahl und Form sowie organische Bestandteile	Mikroskopie an 6 Teilproben (DP) in verschiedenen Größen: < 0,025 mm 0,025 - 0,063 mm 0,063 - 0,125 mm Gezieltes Suchen nach synthetischen Zuschlagstoffen	Mikroskopie an bekannten Einzelbestandteilen: Synthetischer Zuschlagstoff Pferdeäpfel
		- Sind die 3 Komponenten Sand, organische Bestandteile und synthetischer Zuschlagstoff erkennbar? - Ist in der Form des Sandes bzw. der Zuschlagstoffe ein Unterschied zwischen hoch und niedrig belasteten Proben festzustellen?	Referenzbilder für die bessere Beurteilung der Mischproben.
Ergebnis	Einschätzung des Anteils an Zuschlagstoffen und deren Form sowie an organischen Bestandteilen der Teilproben, "Kontrolle" für nachfolgende Massenermittlung	Es sind in allen Proben Partikel erkennbar, die als synthetische Zuschlagstoffe interpretiert werden können (s. Vv 4.2). Unsicherheit hinsichtlich der Identifizierung der organischen Substanz. Unterschied der Form aller Partikel bei verschiedener Belastung nicht feststellbar.	Einzelbestandteile der Zuschlagstoffe klar erkennbar. Die Pferdeäpfel liefern ein inhomogeneres Bild in Form und Struktur.
		Ein "Zählen" und somit eine grobe Mengenermittlung der möglichen synthetischen Zuschlagstoffe ist machbar. Ebenso eine Aussage zur Form. Hinsichtlich der organischen Bestandteile ist mehr Erfahrung erforderlich (s. Vv 4.2).	Gute Referenzbilder für synthetische Zuschlagstoffe. Hinsichtlich der Pferdeäpfel aufgrund der Verschiedenheit in Form und Struktur bedingt durch unterschiedliche "Ausgangsstoffe" keine eindeutigen Referenzbilder.
		Bewertung für Untersuchungsprogramm	

Das Ergebnis der Vorversuche ist zusammenfassend, dass die Mikroskopie zielführend im Versuchsablauf verwendet werden kann. Demzufolge werden an ausgewählten Proben entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

Arbeitsschritt 5 A Entzug der organischen Bestandteile mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂)

Dieser Schritt wird notwendig, weil die Tretschichten aus Sand und synthetischen Zuschlagstoffen über die Pferde, den Menschen oder andere Gegebenheiten wie Wetterverhältnisse mit organischen Stoffen wie Pferdeäpfel, Vegetationsresten etc. vermischt werden.

Würde die Probe nach Arbeitsschritt 4 direkt verglüht, würde das Ergebnis um diesen Anteil verfälscht werden, da die Massendifferenz sowohl die organischen Bestandteile als auch die synthetischen Zuschlagstoffe beinhalten würde. Deshalb besteht der Ansatz, die organischen Bestandteile vor dem Verglühen aus der Probe zu entfernen.

Hierzu soll das aus der Korngrößenbestimmung (DIN EN ISO 17892-4) bekannte Verfahren verwendet werden. Im Anhang B wird hier beschrieben, wie bei Bodenproben organische Anteile aus Humus (z. B. Laub) mit Wasserstoffperoxid vor der Analyse der Korngrößen entfernt werden können.

Im nächsten Arbeitsschritt 6 kann dann durch die Bestimmung des Glühverlustes der Massenanteil der synthetischen Zuschlagstoffe ermittelt werden. Somit wäre ein quantitativer Nachweis von synthetischen Zuschlagstoffen und organischen Bestandteilen in den Proben, unterteilt nach den in der Siebung getrennten verschiedenen Größen, möglich.

Eine Problematik hierbei ist, dass die Beständigkeit der synthetischen Zuschlagstoffe bzw. deren Ausgangsmaterialien auf Kunststoffbasis gegenüber Wasserstoffperoxid im Versuch nicht eindeutig ist. Hierzu gibt es auch teilweise unterschiedliche Angaben der Hersteller von Kunststoffen (Dinklage, 2020). Dieser Punkt wird durch die vorliegende Materialvielfalt der synthetischen Zuschlagstoffe noch erschwert.

Ist jedoch die Beständigkeit nicht ausreichend gegeben, ist das Ergebnis des Glühverlustes gegebenenfalls nicht aussagekräftig oder wird für jeden Zuschlagstoff neu zu interpretieren sein.

Zur Prüfung des angedachten Ansatzes werden somit auch hier aufgrund der speziellen Probenzusammensetzung Vorversuche notwendig.

Es sind folgende Fragen zu klären bzw. Punkte abzuarbeiten:

- Reagieren die Pferdeäpfel wie sonstige organische Substanz z. B. Laub und lösen sich in H_2O_2 auf?
- Sind die Zuschlagstoffe gegenüber H_2O_2 beständig?
- Funktioniert das Verfahren, wenn – wie bei den vorhandenen Mischproben – alle drei Bestandteile in der Probe vorliegen?

Tab. 8 zeigt wie bei Arbeitsschritt 4 die Vorversuche in Kurzform auf.

Das Ergebnis der Vorversuche ist, dass das Verfahren zwar theoretisch grundsätzlich möglich, jedoch mit Schwierigkeiten bzw. Ungenauigkeiten behaftet ist. Dies resultiert unter anderem aus der großen (unbekannten) Materialvielfalt der Zuschlagstoffe in Kombination mit der natürlichen Inhomogenität der organischen Substanz. Es ist schwierig zu standardisieren und zudem zeitaufwendig. Der Aufwand im Verhältnis zum Nutzen in Hinblick auf die Zielstellung ist fragwürdig. Demzufolge wird es im Rahmen dieses Vorhabens nicht weiterverfolgt.

Arbeitsschritt 5 B Ansatz von Erfahrungswerten für die organischen Bestandteile

Da die Versuche mit H_2O_2 wie zuvor erläutert nicht weiterverfolgt werden, wird als Alternative zu den H_2O_2 -Versuchen als pragmatischer Ansatz und somit im Sinne der Zielstellung, einen möglichst einfach handhabbaren Versuchsablauf zu entwickeln, die Variante 5 B „Ansatz von Erfahrungswerten für die organischen Bestandteile“ eingeführt.

Tab. 8: Vorversuche (Vv) Wasserstoffperoxid (H_2O_2)

H_2O_2		Vorversuche (Vv) H_2O_2	
5A		Vv 5A.1	Vv 5A.2
Arbeitsschritt	VARIANTE A Entzug der organischen Bestandteile mithilfe von H_2O_2 (Wasserstoffperoxid)	Test des Verfahrens an den Einzelkomponenten: 4 synthetische Zuschlagstoffe, 2 Proben von Pferdeäpfeln	Test des Verfahrens an 2 selbst zusammengestellten Mischproben (Sand, 2 synthetische Zuschlagstoffe, Pferdeäpfel), als 2. Schritt Glühverlustbestimmung.
		- Bleiben die synthetischen Zuschlagstoffe erhalten? - Reagieren die Pferdeäpfel (wie sonstige organische Substanz z. B. Laub) und lösen sich in H_2O_2 auf?	Funktioniert das Verfahren, wenn alle 3 Bestandteile in der Probe enthalten sind?
Ergebnis	VARIANTE A Teilprobe liegt ohne organische Bestandteile vor (Sand + Zuschlagstoff)	Die synthetischen Zuschlagstoffe scheinen teilweise beständig, es gibt jedoch Massenabweichungen von + 2,7 %, + 0,5 % (Zunahme) bis - 9,81 %, - 34,2 % (Abnahme). Die Pferdeäpfel lösen sich nicht vollständig, sondern zu ca. 88 % auf.	Die aus der Mischung bekannten Massenanteile der organischen Substanz werden zu ca. 95 % durch den Versuch entfernt. Das Verglühen der Zuschlagstoffe weist einen Wert von ca. 98 % bzw. eine Massenzunahme von ca. 0,5 % auf.
		Verfahren ist theoretisch grundsätzlich anwendbar, jedoch auf verschiedenen Ebenen mit Ungenauigkeiten behaftet (Ungleiche Reaktionen der synthetischen Zuschlagstoffe, Inhomogenität der organischen Bestandteile).	Verfahrenskombination grundsätzlich anwendbar, jedoch mit Ungenauigkeiten verbunden. Weitere Versuche zur Verifizierung wären notwendig.

Keine weitere Verfolgung im Forschungsvorhaben

Diese verfolgt den Gedanken, dass es gegebenenfalls aufgrund des geringen Vorkommens von organischen Bestandteilen in der Probe im Sinne der Fragestellung ausreichend ist, den Anteil nicht versuchstechnisch zu ermitteln, sondern Erfahrungswerte hierfür anzusetzen. Weiterhin besteht die Überlegung, dass die möglicherweise, jedoch fragliche, höhere Genauigkeit der Variante A nicht im Verhältnis zum Mehraufwand steht.

Die Frage nach der gewünschten bzw. erreichbaren Genauigkeit wird im Einzelfall die Verfahrenswahl entscheiden.

Die Erfahrungswerte können unterschiedlichen Ursprungs sein. Die Bandbreite liegt zwischen „Schätzen“ und der Durchführung von einfachen Versuchen. Die DIN 18128 zur Bestimmung des Glühverlustes macht beispielsweise für einen humosen Sand die Angabe von 4,1 %. Die Werte für Reitsande werden somit sicherlich unterhalb liegen. Genauer können sie durch Beprobung von Plätzen entstehen, wo keine Zuschlagstoffe verwendet werden bzw. idealerweise vor erstmaliger Zugabe des Zuschlagstoffes bei einem Referenzplatz.

Um hierzu eine erste Aussage treffen zu können, werden im Rahmen dieses Vorhabens zwei Vorversuche (Glühverlust Vv 6.2) mit Reitsanden ohne Zuschlagstoffe durchgeführt.

Arbeitsschritt 6 Verglühen

Das Verfahren ist vom Grundsatz her bereits im Abschnitt 3.3.2.1 Arbeitsschritt 4 Verglühen beschrieben worden.

Wird Variante 5 A verfolgt, wird die Probe nach Entzug der organischen Bestandteile verglüht. Der Glühverlust stellt somit den Massenanteil der synthetischen Zuschlagstoffe dar.

Bei Variante 5 B wird die noch vollständig erhaltene Probe verglüht. Der Glühverlust beinhaltet folglich die Massenanteile der organischen Bestandteile und der synthetischen Zuschlagstoffe. Durch Abzug des angesetzten Erfahrungswertes für das Vorhandensein von organischen Bestandteilen kann ein Massenanteil für die synthetischen Zuschlagstoffe angenommen werden. Hierbei ist zu dokumentieren, auf welcher Basis der Erfahrungswert beruht, um die Genauigkeit der Aussage einschätzen zu können.

Hinsichtlich dieses Arbeitsschrittes stellen sich Fragen zum Verglühverhalten der verschiedenen Zuschlagstoffe. Somit werden auch hier aufgrund der speziellen Probenkomponenten Vorversuche erforderlich.

Es sind folgende Fragen zu klären bzw. Punkte abzuarbeiten:

- Verglühen die vorliegenden Zuschlagstoffe und wenn ja zu gleichen Massenanteilen?
- Welche Temperaturen sind notwendig?
- Aus Arbeitsschritt 5 B: Wieviel organische Substanz ist in Reitsanden ohne Zuschlagstoffe enthalten? Ist eine pauschalisierende Aussage möglich?

Analog zu vorherigen Arbeitsschritten stellt Tab. 9 die Vorversuche in Kurzform dar.

Das Ergebnis ist zusammenfassend, dass das Verglühen zielführend im Versuchsablauf verwendet werden kann. Es bestehen zwar mögliche gewisse Ungenauigkeiten, die jedoch nicht als Ausschlusskriterium bewertet werden. Zusätzlich ist in einem Gespräch mit Petersen (2021, Hochschule Osnabrück, Fachgebiet Chemie) der Hinweis gekommen, dass es im Kunststoffbereich eine Norm zur Veraschung von Kunststoffen mittels Verglühen gibt (DIN EN ISO 3451-1). Dies unterstützt das gewählte Vorgehen. Die Einstiegstemperatur dort liegt bei 600 +/- 25 °C, diese wird somit auch bei den Versuchen an ausgewählten Proben verwendet.

3.3.3.2 Darstellung der durchgeführten Versuche an ausgewählten Proben

Für die Laboruntersuchungen wird der Platz DP, ein Dressurplatz, ausgewählt. Hier werden die Voraussetzungen, grundsätzlich Aussagen zu Abrieb und Zerfall der Zuschlagstoffe bzw. in den Ergebnissen Unterschiede zwischen niedrig und hoch frequentierten Punkten der Tretschicht feststellen zu können, als am besten angesehen.

Dies liegt zum einen darin begründet, dass dieser mit Baujahr 2016 der älteste Platz ist. Zum anderen wird aufgrund der im Abschnitt 3.2 beschriebenen Nutzung eine deutliche Differenzierung der Belastung als möglich erachtet.

Tab. 9: Vorversuche (Vv) Verglühen

Verglühen		Vorversuche (Vv) Verglühen	
Arbeitschritt	<p>6</p> <p>Verglühen der Probe und somit der Zuschlagstoffe (A) bzw. der Zuschlagstoffe und der organischen Bestandteile (B) bei 600 °C (Sand bleibt erhalten).</p> 	<p>Vv 6.1</p> <p>Glühverlust an 4 verschiedenen reinen synthetischen Zuschlagstoffen bei 550 °C, 700 °C, 800 °C.</p>	<p>Vv 6.2</p> <p>Glühverlust an 2 verschiedenen reinen Reitsanden (Außenplatz und Halle, separate Probenahme an zusätzlichen Plätzen) bei 550 °C, als Gesamtprobe und unterteilt nach verschiedenen Korngrößen.</p>
	<p>Ergebnis</p> <p>Durch Rückrechnung der Massenanteile Ermittlung des Massenanteils an Zuschlagstoffen je Teilprobe = Anteil an (Mikro-)Kunststoffen, Darstellung in Säulendiagrammen.</p>	<p>Fragestellungen / Ziele</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kann das Verfahren Glühverlustbestimmung für die synthetischen Zuschlagstoffe angewendet werden? - Verglühen alle Zuschlagstoffe gleich? - Welche Temperaturen sind notwendig? 	<p>Ergebnis</p> <p>3 der 4 Zuschlagstoffe verglühen bei 550 °C zu gerundet 99 % und mehr. 1 Zuschlagstoff, der augenscheinlich aus einem Materialmix besteht, nur zu 76 %. Auch die höheren Temperaturen führen nicht zu vollständigem Verglühen, nur zu 87 %.</p>
		<p>Bewertung für Untersuchungsprogramm</p> <p>Verfahren ist grundsätzlich anwendbar. Je nach erforderlicher Genauigkeit der Ergebnisse ist u. U. eine Beprobung des Ausgangsstoffes notwendig, um das Ergebnis des Massenverlustes konkreter interpretieren bzw. die Temperatur entsprechend einstellen zu können.</p>	<p>Bewertung für Untersuchungsprogramm</p> <p>Für pauschale Aussage mehr Untersuchungen notwendig. Bei Bestimmung des Glühverlustes in einer Mischprobe mit Zuschlagstoffen müsste ein natürlicher organischer Anteil mit berücksichtigt werden. Anhäufung des Materials in der Kornfraktion < 0,063 mm beachten.</p>

Von dem Platz werden alle sechs Gesamtproben DP N1-3 und DP H1-3 näher untersucht, um eine möglichst breite Datengrundlage für die Ergebnisse zu haben.

Aus den jeweiligen Gesamtproben werden nach erfolgtem Wasserentzug jeweils gut ca. 130 g Trockenmasse entnommen. Diese Teilproben werden im weiteren Versuchsablauf im Gegensatz zu den Proben mit organischen Zuschlagstoffen nicht weiter unterteilt, somit bleibt die Bezeichnung DP N1-3 und DP H1-3 erhalten und wird nicht weiter differenziert.

Die empfohlene Mindestmenge nach Norm wird hier um ein Drittel nach oben aufgerundet, um hinsichtlich der in diesem Bereich zu erwartenden geringen Massenanteile mehr Sicherheit zu bekommen.

Die sechs Proben werden durch Nasssiebung in jeweils fünf Teilproben zerlegt. So entstehen 30 Teilproben. Tab. 10 (S. 72) zeigt, welche Versuche an welchen Teilproben durchgeführt werden.

Hierzu sind folgende Erklärungen zu geben: Aufgrund des begrenzt zur Verfügung stehenden Zeitrahmens und der Ergebnisse aus den Vorversuchen werden die Proben nicht dem kompletten entwickelten Untersuchungsablauf unterzogen.

Explizit wird aus genannten Gründen sowie der Zielstellung nach einem versuchstechnisch einfachen Lösungsansatz die Variante 5 A im Rahmen dieses Vorhabens nicht weiterverfolgt. Für weitere Untersuchungen bzw. Erkenntnisse zu dieser Thematik sei auf die Masterarbeit von Moldrickx verwiesen, die Ende August 2021 abgeschlossen ist, auf die an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen wird (Moldrickx, 2021). Somit enthält die untenstehende Darstellung (Tab. 10) lediglich Arbeitsschritt 4 Mikroskopie und 6 Verglühen, da für Variante 5 B keine Versuche im eigentlichen Sinn notwendig sind bzw. hierzu auf die Vorversuche Vv 6.2 verwiesen wird.

Tab. 10: Übersicht der Proben und durchgeführten Versuche an synthetischen Zuschlagstoffen

Probe \ Größe	< 0,025 mm		0,025 bis 0,063 mm		0,063 bis 0,125 mm		0,125 bis 2,0 mm		> 2,0 mm	
	Mikroskopic	Ver-glühen	Mikroskopic	Ver-glühen	Mikroskopic	Ver-glühen	Mikroskopic	Ver-glühen	Mikroskopic	Ver-glühen
DP N1		+	+	+	+	+	+	+		+
DP N2		+	+	+	+	+	+	+		+
DP N3		+	+	+	+	+	+	+		+
DP H1		+	+	+	+	+	+	+		+
DP H2		+	+	+	+	+	+	+		+
DP H3		+	+	+	+	+	+	+		+

3.3.3.3 Darstellung der Ergebnisse

Arbeitsschritt 3 Siebung

Die Siebung der sechs Proben ergibt die in Abb. 10 und 11 gezeigten Körnungslinien. Die roten Linien stellen die niedrig (DP N1-3) und die blauen Linien die hoch (DP H1-3) belasteten Probenahmepunkte des Platzes dar.

Die Darstellung aller Körnungslinien in einem Diagramm ergibt Abb. 12.

Die Farbzuordnung der Linien zu den Proben ist gleich geblieben. Zur besseren Lesbarkeit wird ein vergrößerter Ausschnitt des Diagramms gezeigt.

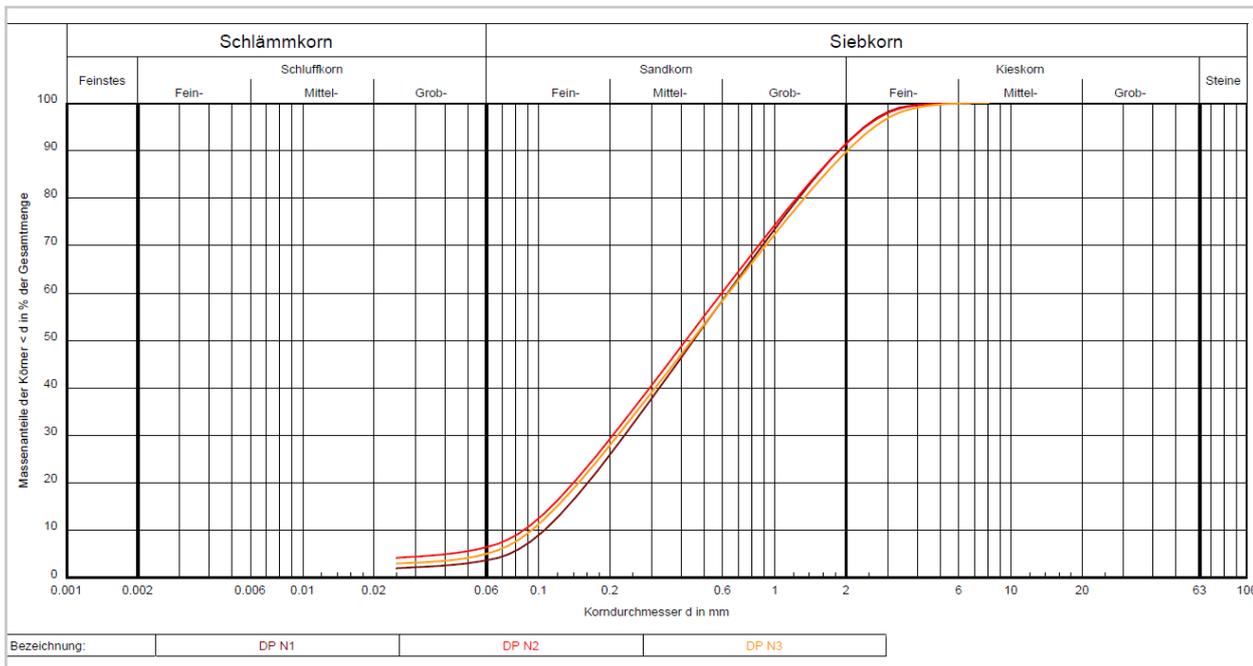


Abb. 10: Körnungslinien DP, Proben N1-3

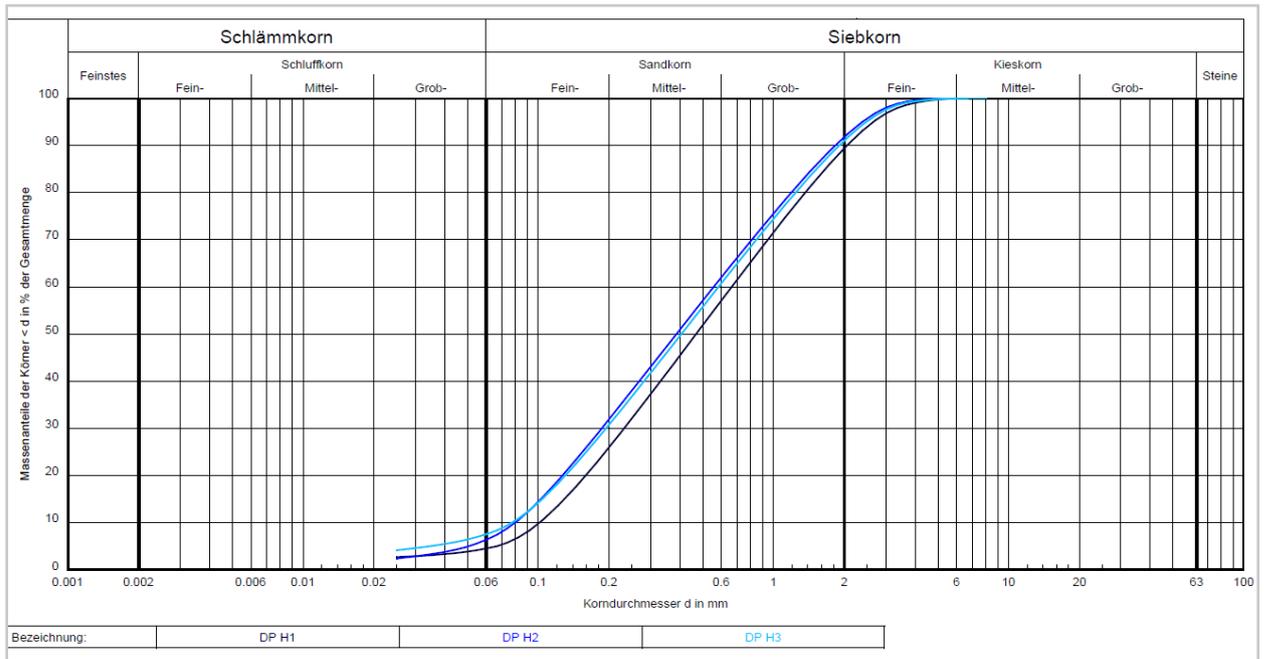


Abb. 11: Körnungslinien DP, Proben H1-3

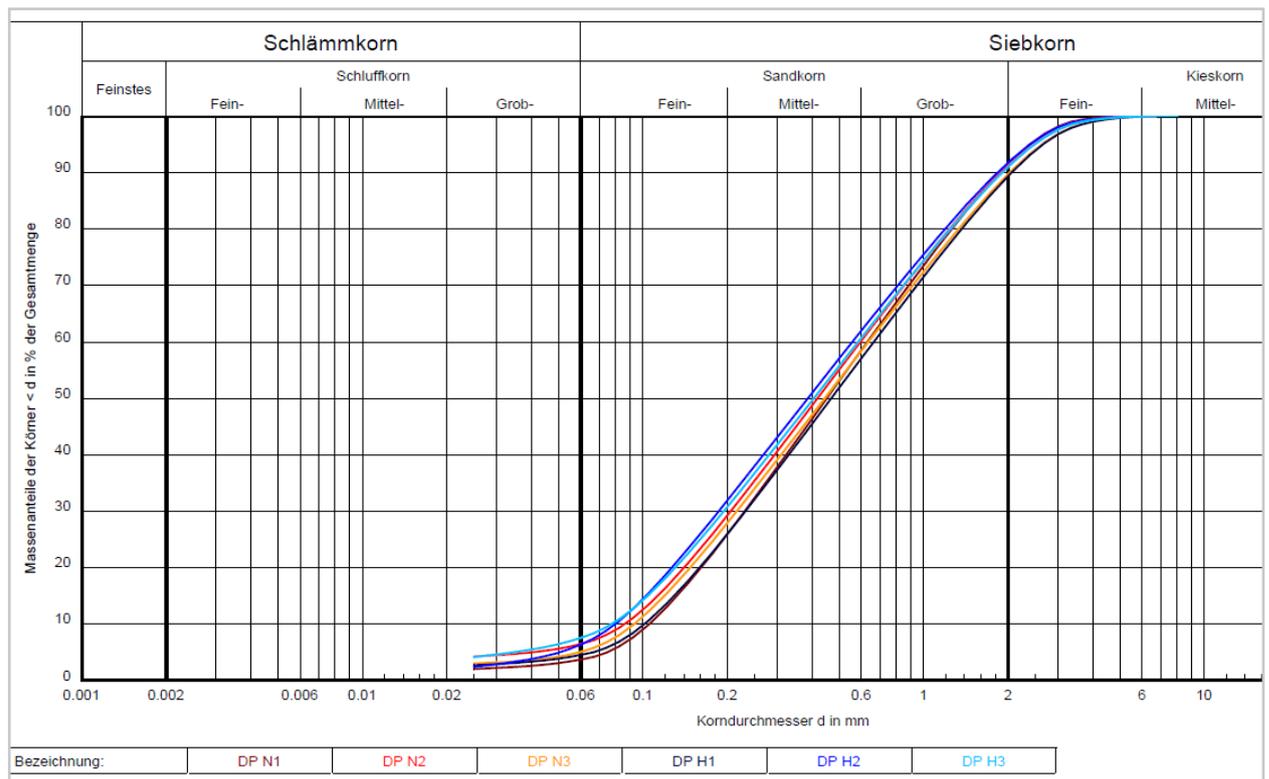


Abb. 12: Körnungslinien DP, Proben N1-3 und H1-3

Arbeitsschritt 4 Mikroskopie

Im Folgenden werden beispielhaft Aufnahmen der Mikroskopie der drei Korngrößenbereiche 0,025 mm bis 0,063 mm; 0,063 mm bis 0,125 mm; 0,125 mm bis 2,0 mm gezeigt.

Ausgewählt ist je ein Bild der niedrig und eins der hoch belasteten Proben (Abb. 13 + 14 (S. 75), 16 + 17 (S. 76), 19 + 20 (S. 77)). Der rote Rahmen markiert die Grenze der zufällig ausgezählten Fläche und verdeutlicht durch den Maßstab gleichzeitig die Größe. Partikel, die größtenteils innerhalb sind, werden erfasst.

Die blauen Pfeile weisen auf die fadenartigen Strukturen hin, die aufgrund ihrer Form, der glatten Struktur und der hellen bzw. durchsichtigen Färbung als Vliesfasern identifiziert werden können. Die blauen Kreise zeigen die Partikel, die aufgrund der unregelmäßigen Form und Struktur sowie der dunklen Färbung als organische Bestandteile benannt werden können.

Die Vliesfasern sind gut zu erkennen, bei den organischen Bestandteilen ist dies schwierig.

Sie sind teilweise erst bei einer hohen Bildschirmvergrößerung zu sehen bzw. zu identifizieren.

Die Ergebnisse der Auszählung finden sich unterhalb der Beispielbilder in grafischer Form (Abb. 15 (S. 75), 18 (S. 76), 21 (S. 77)). Die Angabe „_1“ bzw. „_2“ bezieht sich auf zwei Wiederholungen.

Von derselben Probe sind zwei zufällige Betrachtungen aus der Gesamtmenge durchgeführt.

Korngrößenbereich 0,125 mm bis 2,0 mm: Proben DP in 25-facher Vergrößerung aufgenommen.

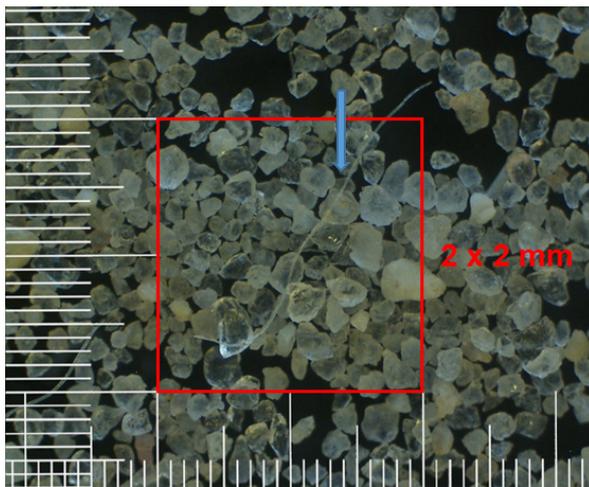


Abb. 13: DP Probe N3_1, Größe 0,125 mm-2,0 mm

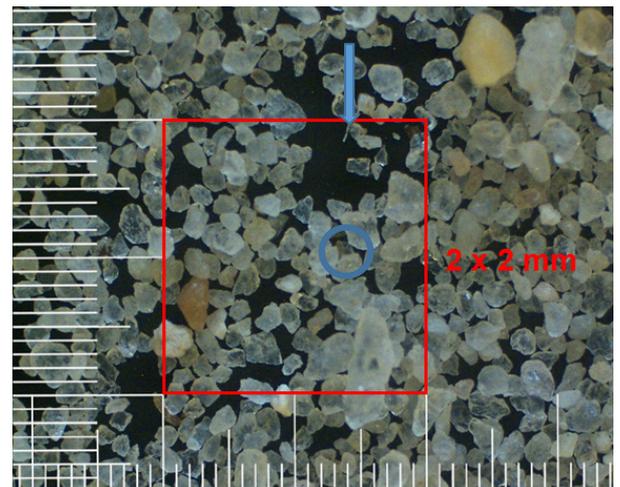


Abb. 14: DP Probe H2_1, Größe 0,125 mm-2,0 mm

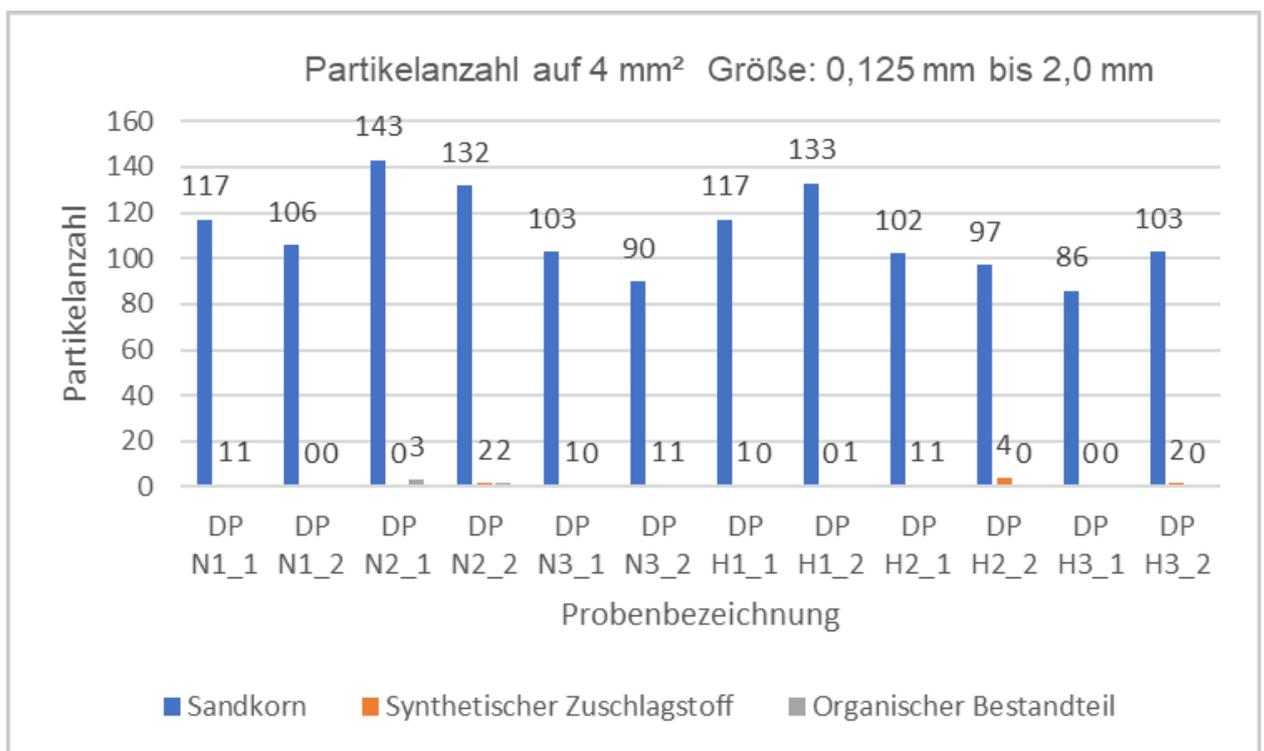


Abb. 15: Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,125 mm-2,0 mm

Korngrößenbereich 0,063 mm bis 0,125 mm: Proben DP in 50-facher Vergrößerung aufgenommen.

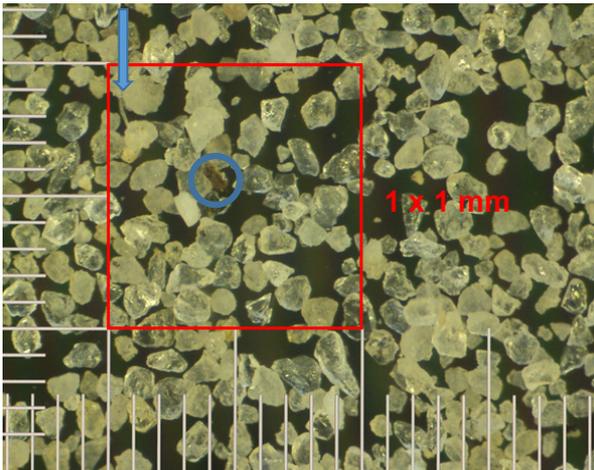


Abb. 16: DP Probe N3_1, Größe 0,063 mm-0,125 mm

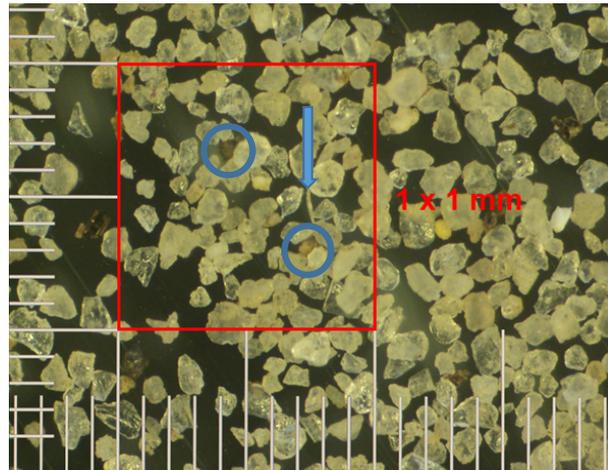


Abb. 17: DP Probe H1_2, Größe 0,063 mm-0,125 mm

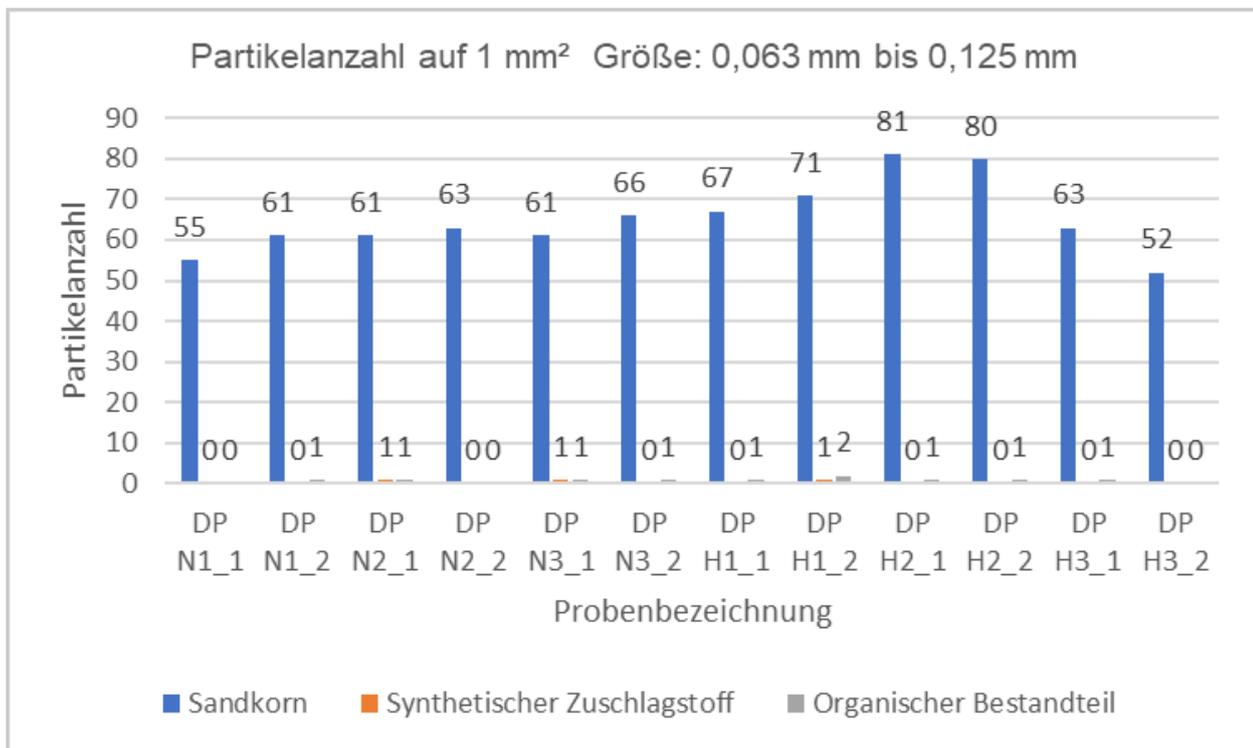


Abb. 18: Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,063 mm-0,125 mm

Korngrößenbereich 0,025 mm bis 0,063 mm: Proben DP in 120-facher Vergrößerung aufgenommen.

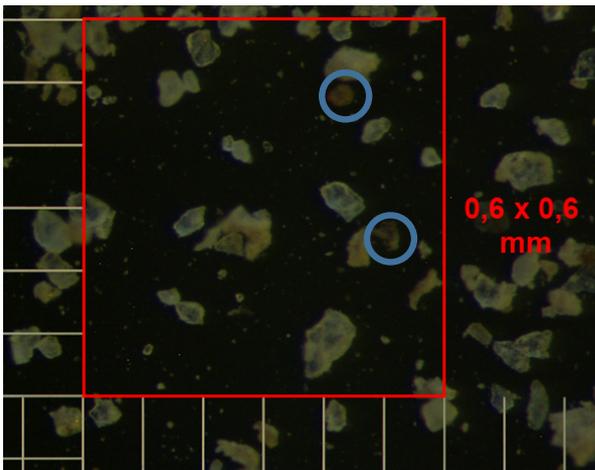


Abb. 19: DP Probe N2_2, Größe 0,025 mm-0,063 mm

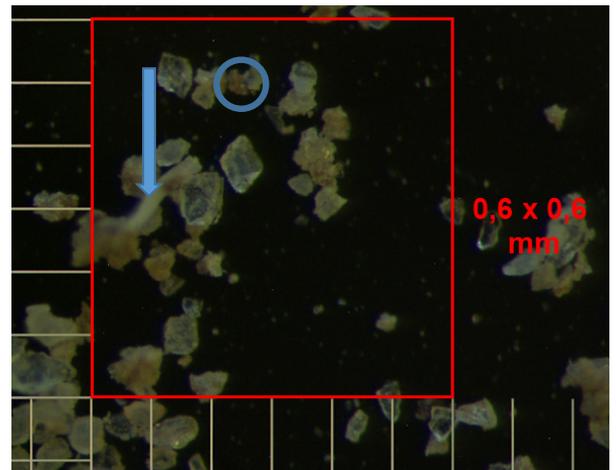


Abb. 20: DP Probe H2_1, Größe 0,025 mm-0,063 mm

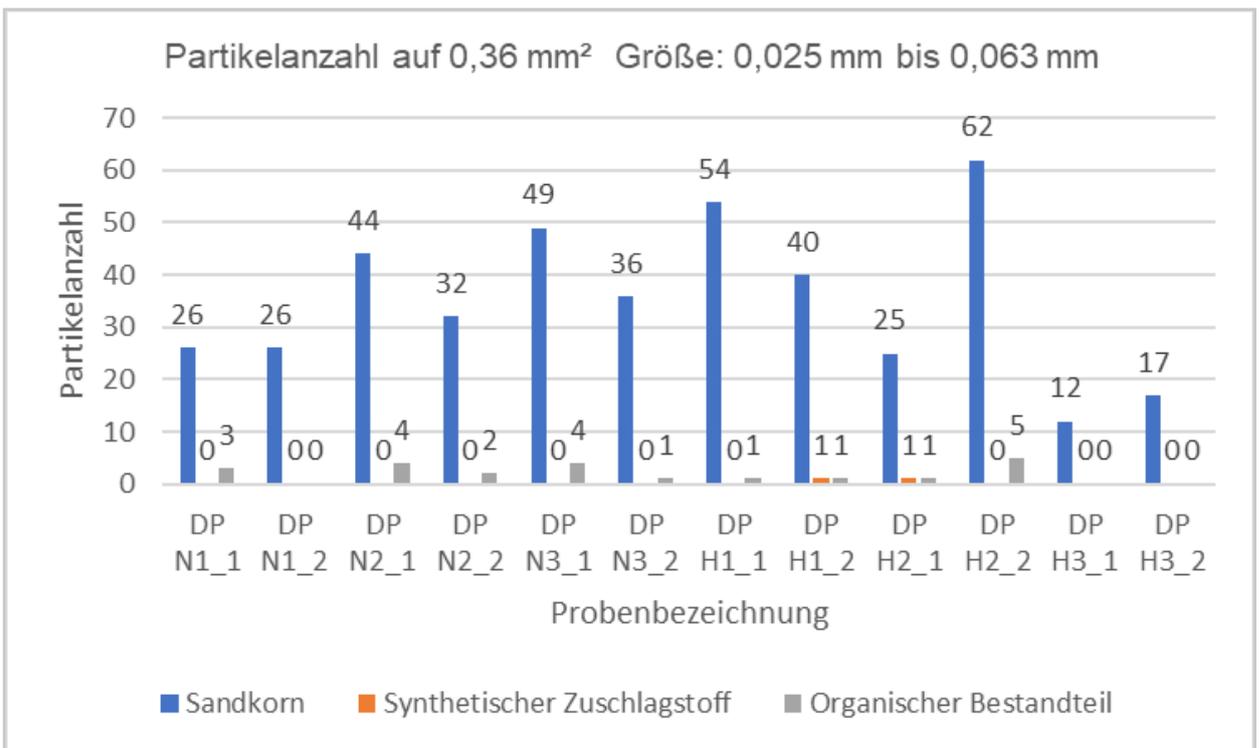


Abb. 21: Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,025 mm-0,063 mm

Arbeitsschritt 5B Ansatz von Erfahrungswerten für die organischen Bestandteile

Wie unter Abschnitt 3.3.3.1 zu diesem Punkt erläutert, wurden hierzu im Rahmen der Vorversuche zwei Reitsande ohne Zuschlagstoffe untersucht, um eine erste Grundlage für Erfahrungswerte zu bekommen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass natürlich vorkommende organische Bestandteile in den Proben vorhanden und somit im weiteren Versuchsablauf zu berücksichtigen sind. Die Ergebnisse hierzu sind der bereits erfolgten Darstellung in Tab. 9 und detaillierter dem Anhang unter Anlage 6 zu entnehmen.

Arbeitsschritt 6 Verglühen

Die Bestimmung des Glühverlustes an den sechs Teilproben ergibt die in Tab. 11 enthaltenen Daten.

Die Ergebnisse sind prozentual in Bezug auf die einzelnen Siebgrößen (Siebrückstände) dargestellt und blau hinterlegt.

Das Diagramm (Abb. 22) zeigt die prozentuale Verteilung des Glühverlustes in Bezug auf die einzelnen Siebgrößen (Siebrückstände) in der Übersicht. Die Farbgebung entspricht denen der zugehörigen Körnungslinien.

Hinweis:

Die hier ermittelten Glühverluste resultieren aus organischen und synthetischen Bestandteilen. Die Werte für die Gesamtprobe liegen zwischen 2,0 % und 2,4 % bei niedrig belasteten Bereichen und zwischen 2,5 % und 2,8 % bei hoch belasteten Bereichen. Um den rein synthetischen Anteil zu erfassen, müsste ein Erfahrungswert für den organischen Bestandteil gemäß Arbeitsschritt 5B abgezogen werden. Der Wert ist für diesen Platz nicht bekannt. In den Vorversuchen Vv 6.2 wurde für einen anderen Außenplatz ein organischer Bestandteil der Gesamtprobe von 1,0 % ermittelt.

Tab. 11: Glühverlust DP, Teilproben

Probenbezeichnung / Sieb:	DP H1	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,087	0,142	0,057	0,461	2,496	3,243
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		0,770	1,425	7,929	113,421	8,060	131,605
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		11,3%	10,0%	0,7%	0,4%	31,0%	2,5%

Probenbezeichnung / Sieb:	DP N1	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,037	0,058	0,028	0,274	2,864	3,259
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		0,267	1,187	7,922	121,747	3,376	134,499
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		13,9%	4,9%	0,3%	0,2%	84,8%	2,4%

Probenbezeichnung / Sieb:	DP H2	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,128	0,246	0,113	0,478	2,603	3,568
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		1,174	3,088	17,955	110,024	4,328	136,569
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		10,7%	7,9%	0,6%	0,4%	60,1%	2,6%

Probenbezeichnung / Sieb:	DP N2	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,115	0,080	0,043	0,352	1,950	2,540
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		1,091	1,448	10,459	108,625	4,092	125,715
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		10,5%	5,5%	0,4%	0,3%	47,7%	2,0%

Probenbezeichnung / Sieb:	DP H3	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,207	0,200	0,053	0,317	2,789	3,566
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		1,701	2,916	12,308	105,050	5,400	127,375
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		12,2%	6,9%	0,4%	0,3%	51,6%	2,8%

Probenbezeichnung / Sieb:	DP N3	Schale	0,025	0,063	0,125	2,0	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]							
Massenverlust Δm_{gl}		0,164	0,089	0,057	0,285	1,988	2,543
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		1,341	0,975	11,470	106,973	7,614	128,373
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$		12,2%	9,1%	0,5%	0,2%	25,8%	2,0%

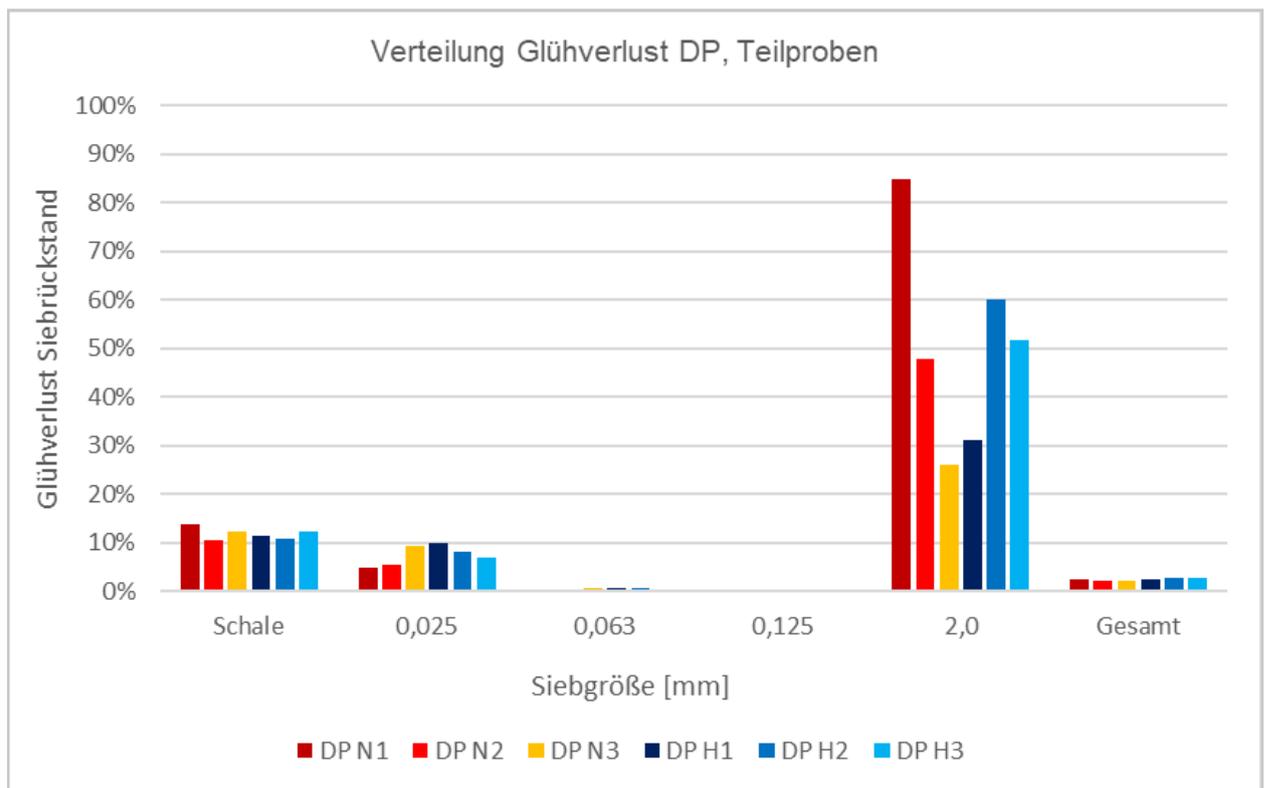


Abb. 22: Verteilung Glühverlust DP, Teilproben

3.3.3.4 Verschleißversuche des Prüflabors Morbach

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind zusätzlich zu den Untersuchungen im Labor für Tiefbau der Hochschule Osnabrück Verschleißversuche durch das Prüflabor Morbach aus Walsrode vorgesehen. Hiermit soll die mechanische Belastung der Tretschicht auf dem Reitplatz im Labor in zeitlich verkürzter Form simuliert werden. Sie werden an dieser Stelle als Exkurs separat dargestellt. Die Bewertung fließt in Abschnitt 3.4 Auswertung und Diskussion ein.

Die Verschleißversuche werden in Anlehnung an die DIN 18035-5 (Sportplätze – Tennenflächen) durchgeführt. Um die Verschleißbeständigkeit des Belages zu prüfen, werden die Proben durch eine rotierende Stahlplatte mechanisch belastet.

Für den Versuch werden je Probe ca. 1000 g für drei Teilversuche mit jeweils ca. 300 g verwendet. Abb. 23 zeigt das Ausgangsmaterial der Probe VD H3.

Vor dem eigentlichen Versuch sind die Proben gesiebt und mikroskopiert, um nach erfolgtem Verschleiß einen Vergleich zu haben. Die Mikroskopie erfolgt mit einem Stereo-Zoom-Mikroskop.

Die Proben werden zehn Minuten lang dem Verschleißvorgang ausgesetzt, anschließend gesiebt und in den verschiedenen Korngrößenbereichen mikroskopiert. Hierbei werden zufällig mehrfach Spatelspitzen aus der Probe eines Korngrößenbereiches genommen und auf den Objektträger des Mikroskops (ca. 25 mm x 75 mm) gegeben, bis die Fläche ausgefüllt ist.



Abb. 23: Ausgangsmaterial Verschleißversuche VD Probe H3

Das Prüflabor Morbach führt Untersuchungen an Proben des Platzes VD, einem Dressurplatz, und an einer Nullprobe aus eigenem Probenmaterial durch.

Verschleißversuche an Proben des Platzes VD

Dieser Platz ist ausgewählt, weil das Material dem des an der Hochschule untersuchten Platzes DP am ähnlichsten zu sein scheint. Die Versuche werden mit der niedrig (VD N3) und hoch (VD H3) belasteten Probe des Probennahmepunktes 3 durchgeführt, weil hiervon die größte Menge vorliegt.

Diese wird schrittweise nach Fäden des synthetischen Zuschlagstoffes (Kunststoffpartikel) durchsucht. Die Fäden auf dem Objektträger werden fotografiert.

Die Abb. 24 bis 29 zeigen ausgewählte Bilder der Proben nach dem Verschleißversuch in kleiner werdenden Korngrößenbereichen. Die blauen Pfeile weisen auf die Fäden der synthetischen Zuschlagsstoffe hin. Ein Maßstab oder eine Angabe zur Vergrößerung ist den Bildern nicht zuzuordnen, die angegebenen Korngrößen dienen hier der Größenordnung.

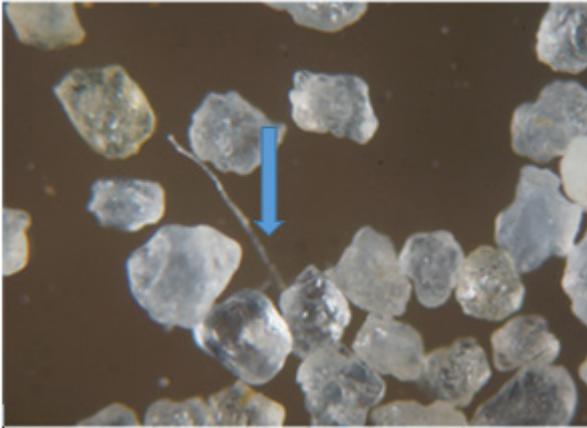


Abb. 24: VD Probe N3, Größe 0,2 mm-0,5 mm
(Morbach 2021, verändert d. Verf.)

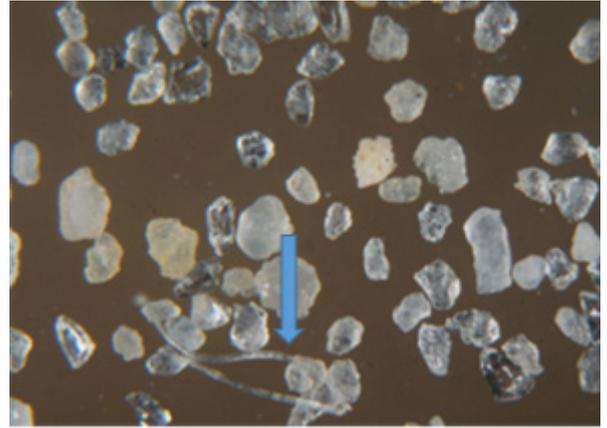


Abb. 25: VD Probe N3, Größe 0,125 mm-0,2 mm
(Morbach 2021, verändert d. Verf.)

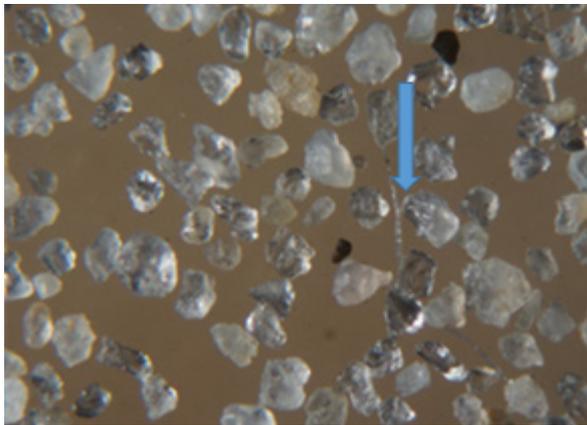


Abb. 26: VD Probe H3, Größe 0,09 mm-0,125 mm
(Morbach, 2021, verändert d. Verf.)

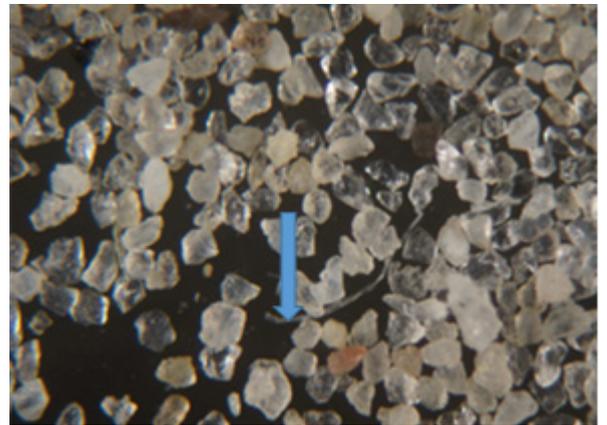


Abb. 27: VD Probe N3, Größe 0,063 mm-0,09 mm
(Morbach, 2021, verändert d. Verf.)

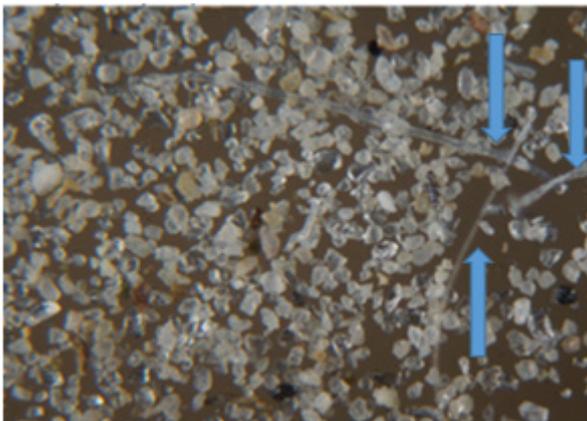


Abb. 28: VD Probe N3, Größe 0,025 mm-0,063 mm
(Morbach, 2021, verändert d. Verf.)

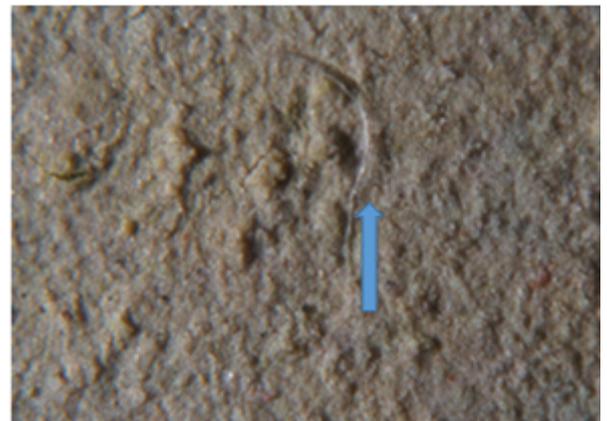


Abb. 29: VD Probe H3, Größe < 0,025 mm
(Morbach, 2021, verändert d. Verf.)

Die Grafik (Abb. 30) stellt die Auszählung der Mikroskopie nach Korngrößenbereichen dar. Es wird die entstandene Bildanzahl mit Kunststoffpartikeln auf dem Objektträger je Probe vor und nach dem Verschleißversuch abgebildet. Eine Berücksichtigung von mehreren Partikeln je Bild findet ausdrücklich nicht statt. Somit stehen die Zahlen für je mindestens ein aufgefundenen Partikel in dem jeweiligen Korngrößenbereich.

Sowohl der Massenanteil des Zuschlagstoffes als auch die Versuchsdauer sind im Vergleich zu der ersten Versuchsreihe erhöht worden, um den Effekt bzw. Kontrast zu verstärken. Es wird ein Versuch mit einer Probemenge von 350 g durchgeführt.

Sowohl vor als auch nach dem Verschleiß wird die Probe gesiebt und eine Körnungslinie erstellt. Das Ergebnis ist in Abb. 31 zu sehen.

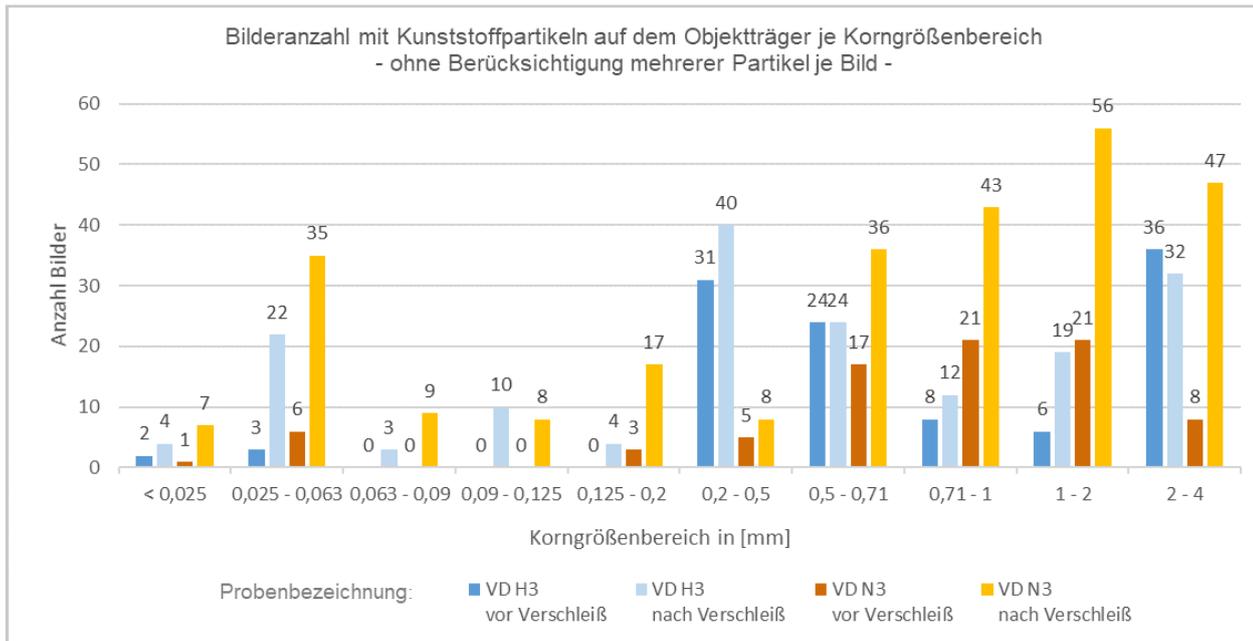


Abb. 30: Auszählung Mikroskopie VD nach Korngrößenbereichen

Verschleißversuche an einer Nullprobe

Hierfür werden als Ausgangsmaterialien ein Sand aus einem Nassabbau und ein fabrikneuer synthetischer Zuschlagstoff (Vlies) verwendet.

Die Mischung der beiden Materialien erfolgt mit 6 % Massenanteil des Zuschlagstoffes. Der Verschleißversuch mit dieser neu zusammengestellten Nullprobe läuft 30 Minuten.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass für die Nullprobe analog zum 1. Verschleißversuch ebenfalls die Mikroskopie durchgeführt werden soll. Die Ergebnisse liegen zum Zeitpunkt der Erstellung des Forschungsberichts noch nicht vor.

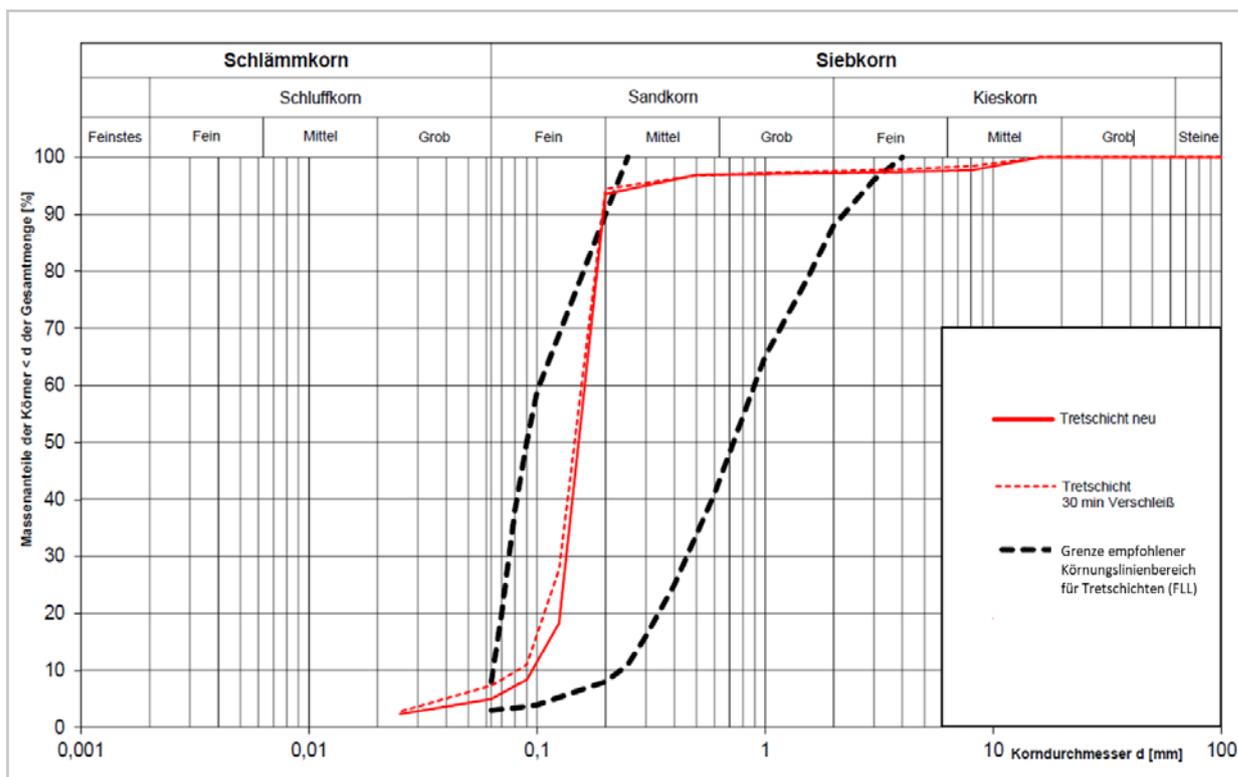


Abb. 31: Körnungslinien Nullprobe vor und nach Verschleißversuch (Morbach, 2021, verändert d. Verf.)

3.4 Auswertung und Diskussion

Sande mit organischen Zuschlagstoffen und Sande mit synthetischen Zuschlagstoffen werden gemeinsam betrachtet. Die einzelnen Arbeitsschritte werden separat ausgewertet und diskutiert.

Arbeitsschritt 3 Siebung

Betrachtet werden die Körnungslinien der Sande für die Probenahmen in der Halle, Platz SH, Abb. 6 (4 Körnungslinien) und Abb. 7 (2 Körnungslinien), und für die Probenahmen auf dem Platz DP, Abb. 12 (6 Körnungslinien). Für beide Sande sind Abweichungen zwischen den Körnungslinien in den Massenanteilen je Korndurchmesser von bis zu etwa 8 % festzustellen. Der Feinkornanteil (Ton und Schluff, $< 0,063$ mm) beträgt für alle Proben des Platzes SH etwa 2 % und für die Proben des Platzes DP zwischen 3 % und 8 %.

In Anbetracht der Probenanzahlen und des gegenüber Standardversuchen deutlich umfangreicheren Siebsatzes kann eine Tendenz zu bereichsweisen Materialveränderungen der Ausgangssande abgeleitet werden.

Zur abschließenden Beurteilung der vorliegenden Abweichungen in den Körnungslinien müssten allerdings die Korngrößenverteilungen der ursprünglich eingebauten Sande einschließlich möglicher Körnungsbandbreiten bekannt sein. Hierzu liegen den Platzbetreibern leider keine Analysen vor.

Im Folgenden wird betrachtet, ob die ermittelten Körnungslinien die vermutete Zuordnung der Probenahmestellen in niedrig und hoch belastete Bereiche widerspiegeln. Wenn dem so ist, müsste in hoch belasteten Bereichen eine Materialzerkleinerung erkennbar sein. Somit müssten die Körnungslinien der hoch belasteten Proben „über“ denen der niedrig belasteten Proben liegen.

Bei den Proben des Platzes DP liegen die Körnungslinien der hoch belasteten Proben DP H2 und H3 tatsächlich überwiegend „über“ den Körnungslinien der niedrig belasteten Proben DP N2 und DP N3. Bei den Proben DP H1 und DP N1 sind nur minimale Unterschiede erkennbar.

Bei den Proben des Platzes SH liegen die Körnungslinien bei hoher Belastung SH H3 geringfügig „unter“ denen bei niedriger Belastung SH N3. Eine belastungsabhängige Differenzierung in unterschiedlich zerkleinerte Körnungsbereiche ist daher nicht einheitlich messbar.

Die dennoch in diesen Versuchen festgestellten Tendenzen zu Materialveränderungen der Ausgangssande infolge Belastungen ermöglichen Hinweise zum Verhalten der Zuschlagstoffe. Sande mit hohem Quarzanteil sind sehr widerstandsfähig. Zerkleinerungsprozesse bei organischen und synthetischen Zuschlagstoffen sind daher sehr wahrscheinlich. Zur weiteren Untersuchung sind Verschleißuntersuchungen durchgeführt worden (Auswertung und Diskussion s. u.).

Arbeitsschritt 4 Mikroskopie

Es ist zunächst darauf hinzuweisen, dass die Ermittlung der Partikelanzahl durch teilweise „verklebtes“ Material erschwert wird. Trotz der durchgeführten Nasssiebung haften beispielsweise organische Bestandteile und Sandkörner aneinander. Dies führt unter dem Mikroskop zu Schwierigkeiten in der korrekten Bestimmung. Die aufgeführten Zahlen der Bestandteile beinhalten nur eindeutig identifizierte Materialien. Somit sind diese Angaben mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Hier könnte bei zukünftigen Versuchen im Nachgang zur Siebung die Behandlung der Proben im Ultraschallbad eine Möglichkeit sein, um die einzelnen Partikel besser voneinander zu trennen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass möglicherweise eine weitere und somit verfälschende Zerkleinerung der organischen und synthetischen Zuschlagstoffe stattfindet.

In dem größten (hier untersuchten) Korngrößenbereich von 0,125 mm bis 2 mm finden sich in allen Proben, allerdings nicht in allen Wiederholungen, Fäden des synthetischen Zuschlagstoffes. Die organischen Bestandteile sind ungleichmäßig verteilt und nicht überall sichtbar vorhanden. Im Korngrößenbereich zwischen 0,063 mm und 0,125 mm sind in drei Proben Fäden sichtbar. In den organischen Bestandteilen ist die Verteilung so unregelmäßig wie zuvor. Eine Unterscheidung zwischen niedrig und hoch belasteten Proben ist nicht erkennbar.

In dem kleinsten Korngrößenbereich von 0,025 mm bis 0,063 mm sind in nur zwei von zwölf Proben Fäden vorhanden, beide stammen aus hoch belastetem Material (DP H1_2 und DP H2_1). Organische Bestandteile nehmen gegenüber den vorherigen Korngrößenbereichen zu, sind jedoch weiterhin unregelmäßig verteilt.

Auch wenn in dieser Mikroskopie nur bei hoch belasteten Proben Fäden des synthetischen Zuschlagstoffes zu sehen sind, kann nicht daraus geschlossen werden, dass in niedrig belasteten Proben grundsätzlich keine Fäden vorliegen. Die Vorversuche (siehe Anlage 1, S. 135) hierzu haben gezeigt, dass bei gezieltem Suchen in allen Proben (Fläche einer Petrischale) solche Fäden gefunden werden können. Insofern wird anhand des vorliegenden Ergebnisses aus der zufälligen Betrachtung nicht auf einen eindeutigen Unterschied zwischen niedrig und hoch belasteten Proben geschlossen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass in allen Korngrößenbereichen sowohl Fäden der synthetischen Zuschlagstoffe als auch organische Bestandteile vorhanden sind.

Folgende Einschränkung ist jedoch zu diskutieren:

Die sichtbaren Fäden werden als synthetische Zuschlagstoffe interpretiert. Diese stammen zwar augenscheinlich und nach dem in Arbeitsschritt 3 diskutierten Analogieschluss von den Zuschlagstoffen, eine wissenschaftlich eindeutige Zuordnung zu diesen liegt jedoch nicht vor. Hierfür müssten diese Fäden mit dem Material des Ausgangsstoffes analytisch verglichen werden, um auszuschließen, dass es sich nicht um von außen durch Reiter oder Pferd eingetragenes synthetisches Material handelt. So könnten beispielsweise auch Fäden aus der Kleidung oder den Bandagen stammen. Gleiches gilt für den Aspekt, dass „Mikroplastik“ grundsätzlich bereits in der Umwelt vorhanden ist. Dies wird beispielsweise im aktuellen Bericht des Umweltbundesamtes „Kunststoffe in Böden – Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen“ (UBA, 2020, S. 1) festgestellt.

Zur Form der Partikel sind folgende Aussagen zu treffen:

In allen Proben sind so sowohl eckige als auch runde Sandkörner zu sehen. Ein Unterschied zwischen niedrig und hoch belasteten Proben ist aufgrund der Kornform nicht erkennbar.

Die synthetischen Zuschlagstoffe stellen sich als fadenförmig dar. Der Durchmesser liegt in allen Korngrößenbereichen zwischen ca. 0,01 mm und 0,02 mm. Die Länge variiert zwischen 0,1 mm und 0,5 mm in den zwei Korngrößenbereichen 0,025 mm bis 0,063 mm und 0,063 mm bis 0,125 mm, wobei der längste Faden mit 0,5 mm in einer Probe des Bereiches 0,025 mm bis 0,063 mm zu finden ist. In dem Korngrößenbereich von 0,125 mm bis 2 mm finden sich Fadenlängen zwischen ca. 0,3 mm und 2,4 mm. Aufgrund der länglichen Form liegen auch in kleinen Sieben Fasern größerer Länge vor, da diese bei der Nasssiegung senkrecht durch die Sieböffnungen gespült werden. Hieraus resultiert eine gewisse verfahrensbedingte Ungenauigkeit, auf die bereits in der Versuchsbeschreibung zur Siebung hingewiesen ist. Ein Unterschied zwischen niedrig und hoch belasteten Proben ist nicht erkennbar.

Die organischen Bestandteile sind sehr inhomogen. Dies ist aufgrund der Vorversuche (siehe Anlage 2, S. 136) zu erwarten gewesen und liegt sicherlich in den verschiedenen Ausgangsmaterialien, beispielsweise bei den Pferdeäpfeln, begründet. Auch hier ist kein Unterschied zwischen niedrig und hoch belasteten Proben ersichtlich.

Weiterführende Betrachtungen mit den Daten der Mikroskopie, wie beispielsweise die anteilige Hochrechnung der Zuschlagstoffe auf 1.000 Sandkörner und daraus folgend eine Berechnung auf Stückzahlen pro Kilogramm, sind an dieser Stelle aufgrund der geringen Datenlage nicht erfolgt. Dies wird als grundsätzlich nächster Schritt angesehen, um eine feste Bezugsgröße und somit eine Vergleichbarkeit auch mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten bzw. untersuchten Böden zu haben.

Wie schon bei der Siebung könnten auch bei der Mikroskopie mit Untersuchungen von Nullproben (Einbauzustand) weiterführende Erkenntnisse hinsichtlich der Zerkleinerung abgeleitet werden.

Arbeitsschritt 5B Ansatz von Erfahrungswerten für die organischen Bestandteile

Die Ergebnisse der Versuche an Sanden ohne Zuschlagstoffe (siehe Anlage 6, S. 143) zeigen, wie unterschiedlich der Anteil an natürlich vorkommenden organischen Bestandteilen sein kann. Der Außenplatz weist einen Glühverlust der Gesamtprobe von 1 % auf. Anteilig im Rückstand der Schale (< 0,063 mm) liegt der Glühverlust bei 7 % und bezogen auf die Trockenmasse der Gesamtprobe bei 0,44 %. Bei der Halle, wo ein Eintrag von Laub im Gegensatz zum Außenplatz ausgeschlossen werden kann, beträgt der Glühverlust der Gesamtprobe 2,2 %. Der anteilige Rückstand der Schale liegt bei 10,7 % und bezogen auf die Trockenmasse der Gesamtprobe bei 1,0 %. Damit befindet sich bei beiden Tretschichten fast die Hälfte der organischen Substanz in der Schale < 0,063 mm.

Die natürlich vorkommenden organischen Bestandteile bilden damit einen „Ungenauigkeitsfaktor“ (Hintergrundwert), wenn der Nachweis der planmäßig eingebauten synthetischen und organischen Zuschlagstoffe über den Glühverlust geführt wird, da ggf. auch natürlich vorkommende organische Bestandteile verglühen.

Es wird deutlich, dass der Glühverlust einer Gesamtprobe allein nur bedingt aussagekräftig ist. Es sind auch die organischen Bestandteile in den Schalen bzw. einzelnen Siebrückständen zu berücksichtigen. Im Analogieschluss ist davon auszugehen, dass auch bei Sanden mit Zuschlagstoffen eine ähnliche Verteilung von natürlich vorkommenden organischen Bestandteilen vorliegt.

Trotz der aufgeführten Ungenauigkeiten wird dieser Ansatz weiterhin als sinnvoll erachtet, weil bei Proben mit organischen Zuschlagstoffen stets diese Problematik vorhanden ist: Hier können die natürlich vorkommenden Bestandteile und die Zuschlagstoffe grundsätzlich nicht durch Wasserstoffperoxid voneinander getrennt werden, da beide gleich reagieren bzw. sich auflösen würden. Die Untersuchung weiterer Tretschichten könnte zu einem zuverlässigeren Erfahrungswert führen, der für natürlich vorkommende organische Bestandteile angenommen werden kann.

Arbeitsschritt 6 Verglühen

Der dargestellte durchschnittliche Glühverlust der Gesamtproben des Platzes SH (Tab. 4 (SH)) von 7,3 % bis 8,2 % bzw. Platzes DP (Tab. 11 (DP)) 2,0 % bis 2,8 % hat alleinstehend, analog zur vorherigen Untersuchung der natürlich vorkommenden organischen Bestandteile, keine Aussagekraft. Es ist eine Betrachtung der einzelnen Siebrückstände notwendig:

Die Ergebnisdiagramme der Glühversuche (Abb. 8 (SH), Abb. 22 (DP)) zeigen hierzu bei beiden untersuchten Zuschlagstoffen vereinfacht betrachtet die gleiche Tendenz auf:

Es finden sich in Bezug auf den jeweiligen Siebrückstand hohe Glühverluste in den größeren Siebgrößen (Korndurchmessern) und in den feinsten Bereichen.

Bei den größeren Siebgrößen ist dies auf das vorhandene Ausgangsmaterial der Zuschlagstoffe zurückzuführen. Der Anteil der (nicht verglühenden) Sandkörner in diesen Teilproben ist gering, da diese in der Regel < 2 mm sind.

Die anteilig hohen Werte in den feinsten Bereichen bei beiden Probenahmen stellen sich wie folgt dar: Bei dem Platz SH liegen die Glühverluste in den Rückständen der Schalen (< 0,063 mm) anteilig zwischen 7,9 % bzw. 10,9 %. Beim Platz DP betragen die anteiligen Glühverluste in den Rückständen der Schalen (< 0,025 mm) zwischen 10,5 % bzw. 13,9 % und die der Korndurchmesser von 0,025 mm bis 0,063 mm 4,9 % bis 10,0 %.

Diese Glühverluste werden als zerkleinertes Material des Ausgangsstoffes und somit als Nachweis von Abrieb und Zerfall interpretiert. Dabei kann auch ein Einfluss durch den Transport- und Einbauprozess der Zuschlagstoffe nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin ist, wie im vorherigen Arbeitsschritt beschrieben, der mögliche Anteil der natürlich vorkommenden organischen Substanz in diesen feinsten Bereichen zu berücksichtigen.

Beim Vergleich der niedrig und hoch belasteten Proben ist folgendes festzustellen:

Bei dem Platz SH findet sich bei den niedrig belasteten Proben prozentual etwas weniger Glühverlust als bei den hoch belasteten Proben. Die Glühverluste der niedrig belasteten Proben sind gegenüber den Glühverlusten der hoch

belasteten Proben bei den größeren Korndurchmessern größer und bei den kleineren Korndurchmessern kleiner. Hieraus kann ein bei den hoch belasteten Proben stärkerer Abrieb gegenüber niedrig belasteten abgeleitet werden. Dies lässt sich jedoch aufgrund der geringen Versuchsanzahl nur als eine erste Tendenz formulieren. Dieses Ergebnis spiegelt sich nicht in den vergleichsweise herangezogenen Körnungslinien des Sandes wieder (s. o.). Hier könnte allerdings auch die höhere Härte der Sandkörner eine Rolle spielen. Beim Platz DP ist ein eindeutiger Unterschied zwischen niedrig und hoch belasteten Proben nicht sichtbar. Der Unterschied ist möglicherweise auch darauf zurückzuführen, dass der Platz DP im Gegensatz zum Platz SH geschleppt war und durch diesen Pflegegang ein Materialausgleich stattgefunden hat.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Proben des Platzes SH nach dem Glühen eine rötliche Verfärbung aufweisen, die Struktur des verglühten Zuschlagstoffes (Holzhäcksel) noch klar erkennbar ist und dieser auch nach Massenanteilen nicht vollständig verglüht ist. Dies wird als ungewöhnlich eingestuft und deshalb näher untersucht. Die Darstellung und Auswertung hierzu findet sich in Kapitel 6 alternative, biobasierte Zuschlagstoffe, da es in Bezug auf die Fragestellung dort als relevant betrachtet wird.

Verschleißversuche (Prüflabor Morbach)

Die Auswertung der Mikroskopie der Proben des Platzes VD zeigt, dass nach dem künstlichen Verschleiß mehr Partikel des synthetischen Zuschlagstoffes zu finden sind als vorher und diese in allen Korngrößenbereichen vorhanden sind. Die Zerkleinerung aufgrund von mechanischer Belastung kann also im Versuch nachgestellt werden. Ein Unterschied in Bezug auf die verschiedenen Proben des Ausgangsmaterials (niedrig und hoch belastet) ist hierbei nicht zu erkennen.

Somit ist festzustellen, dass mit diesen Versuchen nicht nur der Nachweis von Partikeln des synthetischen Zuschlagstoffes in den Proben geführt wird, sondern ergänzend zu den Versuchen an der Hochschule gezeigt wird, dass diese durch Verschleiß zunehmen.

Die Körnungslinien der Nullprobe (Sand aus Nassabbau mit fabrikneuem synthetischem Zuschlagstoff) vor und nach Verschleiß zeigen eine Veränderung des Sandes in den Feinsand- und Grobschluffbereich. Dies wird deutlich, da die Linie nach dem Versuch in dem Diagramm (Abb. 31) über der vor dem Versuch liegt und folglich mehr Massenanteile im feineren Kornbereich hat. An diesen beiden Körnungslinien wird somit die Zerkleinerung des Sandes durch die mechanische Belastung sichtbar.

Die Veränderung der Massenanteile beinhaltet sowohl den Sand als auch den synthetischen Zuschlagstoff. Da letzterer jedoch nur einen Anteil von 6 % an der Gesamtmasse hat, bezieht sich die zuvor beschriebene sichtbare Zerkleinerung zunächst vor allem auf den Sand. Untersuchungen zu Veränderungen des synthetischen Zuschlagstoffes stehen noch aus.

Weiterhin können mit diesem Versuch Fremdeinflüsse wie eingetragene organische Bestandteile oder synthetische Fasern anderer Herkunft ausgeschlossen werden. Somit wird auch die unter Arbeitsschritt 4 Mikroskopie diskutierte Problematik der möglichen Fremdstoffe in jenen Proben relativiert.

3.5 Fazit und Ausblick

Das Ziel, mithilfe von orientierenden Versuchen erste Aussagen über Größe, Form und Massenanteile von zerkleinerten Zuschlagstoffen und somit über deren Abrieb und Zerfall treffen zu können, ist erreicht. Ein signifikanter Unterschied in den als niedrig und hoch definierten Probenahmepunkten ist nicht nachweisbar.

Der gewählte Versuchsablauf birgt aufgrund der Probenzusammensetzung Ungenauigkeiten, die bei der Bewertung bzw. Einordnung der Ergebnisse zu berücksichtigen sind. Im Rahmen dieses Vorhabens wird er für orientierende Versuche als ausreichend betrachtet. Weiterführende konkretere Fragestellungen erfordern gegebenenfalls andere Untersuchungsmethoden.

Für weitere Aussagen wäre es wünschenswert, Nullproben des eingebauten Materials zur Verfügung zu haben.

Auch konkrete Daten zur Nutzungsintensität der Plätze könnten weitere Erkenntnisse liefern, wenn diese in Bezug zur festgestellten Zer-

kleinerung gebracht würden. Hierfür wäre die Untersuchung von Tretschichten interessant, die sich bereits seit einiger Zeit in Nutzung befinden und von denen das „Null“-Material bekannt ist. Zudem wäre die Begleitung neu angelegter Reitplätze mit bekannten Ausgangsmaterialien, Pflegestandards und Nutzungsintensitäten über einige Jahre versuchstechnisch vielversprechend, um reale Daten über einen längeren Zeitraum zu bekommen. Hiermit könnten konkretere Aussagen über Abrieb und Zerfall von organischen und synthetischen Zuschlagstoffen gewonnen werden.

Da im Rahmen der Versuche die Zerkleinerung des Ausgangsmaterials nachgewiesen werden konnte, sollte in folgenden Versuchen auch überprüft werden, ob diese auch eine Veränderung der Eigenschaften (vgl. Abb. 1) nach sich zieht. Zentral ist hierbei zum einen die dauerhafte Funktionserfüllung für den Sport. Zum anderen müssen auch Auswirkungen auf die Umwelt ermittelt werden. Die Problematik der entstehenden Mikrokunststoffe ist in allen Lebensbereichen gegenwärtig und bislang unzureichend untersucht.

In diesem Zusammenhang sei darauf verwiesen, dass normierte Methoden zur Bestimmung von synthetischen Stoffen in Böden fehlen. Dies wird im Bericht des Umweltbundesamtes „Kunststoffe in Böden – Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen“ festgestellt (UBA, 2020, S. 11). Auch in der Fachzeitschrift Wasser und Abfall formulieren Chiffard et al. in ihrem Beitrag „Anreicherung von Plastikpartikeln in Auenböden“ (Chiffard et al., 2021, S. 31): „Quantifizierung und Identifizierung von Plastikpartikeln in Böden sind häufig sehr aufwendig und kaum standardisiert.“ Das Material für Zuschlagstoffe muss dementsprechend auch vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit sorgfältig geprüft werden.

Die Ergebnisse dieses Kapitels bilden eine erste Grundlage. Weitere Versuche zur Verfestigung der Datenlage sind wünschenswert.

Das Thema ist somit auf verschiedenen Ebenen eine komplexe Zukunftsaufgabe, zu deren Bearbeitung im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein kleiner Beitrag geleistet wird.

4 Emissionen von synthetischem Zuschlagstoff aus dem Reitboden – Analyse der Austragswege

4.1 Einleitung

4.1.1 Problemstellung

Reitplätze sind verschiedenen Einwirkungen ausgesetzt. Besonders auf Außenplätzen wirkt hier neben den Pferdehufen, Pflegemaschinen und unterschiedlichen manuellen Vorgängen auch das Wetter auf die Tretschicht ein.

Die Folge daraus ist ein Austrag von Tretschichtmaterial. Ist die Tretschicht mit Zuschlagstoffen aufbereitet, werden auch diese auf die umliegenden Flächen verteilt.

Synthetische Zuschlagstoffe werden je nach Lage der Reitanlage in einigen Fällen lediglich auf das befestigte Hofgelände, möglicherweise aber auch in die freie Landschaft ausgetragen.

Ferner werden Zuschlagstoffe zu einer Größe von 0,025 mm oder feiner zerrieben (vgl. Kapitel 3, S. 53ff), so dass eine Auswaschung in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden kann.

4.1.2 Ziele

In diesem Kapitel werden Informationen zu möglichen Austragswegen der Zuschlagstoffe in die Umwelt zusammengetragen. Außerdem wird angestrebt, die Folgen des Austrags aufzuzeigen.

Ebenso werden Überlegungen angestellt, den Austrag zu reduzieren.

4.1.3 Vorgehensweise

Zunächst wird der derzeitige Kenntnisstand zu Kunststoffen in der Luft und im Boden dargestellt. Gibt es bereits Untersuchungen zu Mengen oder auch zu den Folgen, die ausgetragene Kunststoffe mit sich bringen?

Darauf folgt eine Analyse möglicher Austragswege im Zusammenhang mit Gedanken zu diesbezüglichen Untersuchungsmethoden. Erste Untersuchungen finden bereits statt, das hier gewählte Vorgehen wird vorgestellt.

Daraufhin werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und Maßnahmen zu einer Reduzierung des Austrags dargelegt. Den Abschluss bildet das Fazit.

4.2 Auswirkungen durch den Austrag synthetischer Zuschlagstoffe aus der Tretschicht

4.2.1 Kunststoffe in der Luft

Im Zuge einer Konsortialstudie des Fraunhofer-Institutes für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) wurde festgestellt, dass „Verwehungen von Sport- und Spielplätzen“ auf Rang 5 der Hauptemittenten für primäres Mikroplastik liegen. Während der Gesamtaustrag dieser Gruppe mit 131,8 Gramm pro Person und Jahr [g/ (cap a)] ermittelt wurde, ist der Anteil von Reitplätzen mit 1,3 g/ (cap a) in dieser Gruppe auf Rang 3 angesiedelt. Zum Vergleich schlägt die Gruppe mit dem größten Austrag, der Abrieb von Reifen, mit 1.228,5 g/ (cap a) zu Buche (Bertling et al., 2018, S. 10 f).

Grundsätzlich ist die Staubpartikelkonzentration auf dem Reitplatz von dem Material, der Pflege und dem Alter der Tretschicht abhängig (Bulfin et al., 2019, S. 2). In Reithallen ist die Belastung durch Stäube größer und auch die Bewegung mehrerer Pferde zur gleichen Zeit führt zu einem vermehrten Staubaufkommen (Lühe et al., 2015, S. 73).

Bulfin et al. (2019) stellen in ihren Untersuchungen fest, dass die Partikelkonzentration der Feinstäube (PM10) auf Tretschichten aus einem Sand-Faser-Gemisch mehr als fünf Mal so hoch waren als die auf Sand oder auch Sand-Holz-Tretschichtgemischen gemessenen Werte (Bulfin et al., 2019, S. 2).

In einem Fachartikel zur Haltungsoptimierung wird grundsätzlich festgestellt:

„Die Atemwege sind mehr als alle anderen Organe die größte und empfindlichste Kontaktfläche für potenziell irritierende Substanzen aus der Luft. Daher können Lungenerkrankungen beim Pferd wie die chronisch obstruktive Bronchitis (COB) oder rezurrenente Atemwegserkrankung (RAO) und Inflammatory Air-

way Disease (IAD) direkt und indirekt durch die Inhalation von Staub verursacht werden.“

(Fugazzola & Ohnesorge, 2009, S. 164 vgl. Kapitel 5)

4.2.2 Kunststoffe im Boden

Die Problematik Kunststoffe in Böden auszutragen, besteht in der heutigen Zeit in nahezu allen Lebensbereichen. Über bereits vorhandene Mengen sind bislang noch keine genauen Angaben verfügbar, da auch hier noch geeignete Methoden zur Aufnahme und Prüfung gefunden werden müssen. Schwierig ist derzeit sowohl die Erfassung der Menge und Art vorhandener Anteile als auch die der Eintragswege (Mathews et al., 2021, S. 1).

Besonders kritisch ist die Verbreitung von Mikroplastik. Dieser Begriff ist international nicht einheitlich definiert.

„Im Allgemeinen versteht man darunter feste, wasserunlösliche Kunststoffpartikel oder Kunststofffasern, welche kleiner als 5 mm sind. [...] Partikelgrößen kleiner 1 µm werden auch Nano- plastik genannt. Die Größenangaben beziehen sich jeweils auf die größte räumliche Ausdehnung des Plastikpartikels“.

(UBA, 2020, S. 2)

Mikroplastik wird in primäres und sekundäres Mikroplastik unterschieden. Primäres Mikroplastik wird bereits in der Größenordnung produziert und findet zum Beispiel in Kosmetika Verwendung. Sekundäres Mikroplastik entsteht erst durch die Zerkleinerung des Materials (s. a. Kapitel 3, S. 53ff). Diese findet automatisch durch die Einflüsse der Nutzung oder auch aufgrund von Verwitterung statt (Bertling et al., 2018, S. 9). Aufgrund seiner Größe ist Mikroplastik aus mehreren Gründen problematisch. Es ist schwierig, das Vorhandensein zu erkennen bzw. die Menge zu bestimmen. Die Entsorgung ist dadurch kritisch, dass diese Kleinstpartikel von anderen Materialien getrennt werden müssen. Außerdem ist ein weiterer, schwerwiegender Punkt, dass Mikroplastik leicht von Lebewesen aufgenommen wird (UBA, 2020, S. 1).

Die Mikroplastikstoffe gelangen in das Bodengefüge, wo sie Schadstoffe an sich binden und von Bodenorganismen aufgenommen werden können.

Dort werden sie eingelagert, möglicherweise angereichert und können durch die Nahrungskette so auch in andere Tiere gelangen. Auf diese Weise „können Kunststoffe entlang von marinen und terrestrischen Nahrungsketten bis hin zum Menschen akkumulieren“ (UBA, 2020, S. 10). Mathews et al. (2021) geben ebenso zu bedenken, dass

„Über die Nahrungskette [...] Mikroplastik somit auch in höhere Lebewesen wie Mäuse und Vögel [gelangt]. Die Studien und Untersuchungen geben Anlass zur Sorge, dass langfristig Auswirkungen der Kunststoffe auf Bodenlebewesen und die Nahrungspyramide zu erwarten sind.“

(Mathews et al., 2021, S. 2)

Im Zuge der Fachtagung der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (UBA) zum Weltbodentag 2020 wurden erste Ergebnisse verschiedener Feldversuche präsentiert, die ergaben, dass Mikroplastik < 5 µm von Nematoden (Fadenwürmern) und Regenwürmern in den Magen-Darmtrakt aufgenommen wird. Eine hohe Konzentration von Mikroplastik bewirkt hier, dass sich die Reproduktion von Nematoden und Regenwürmern verringern kann (Kranert, 2020, S. 22). Auch auf aquatische Organismen sind bereits negative Auswirkungen nachgewiesen worden. Zurzeit laufen mehrere Forschungsprojekte zu diesem Thema, die möglicherweise mehr Klarheit bringen können. Es sind zum einen physikalische Schäden an Geweben und Membranen durch die Partikel selbst und zum anderen der Transport partikelgebundener Schadstoffe in Habitate und Organismen zu befürchten. (UBA, 2020, S. 9)

Problematisch für die Umwelt können auch additive Chemikalien für Kunststoffe wie Antioxidanten, Weichmacher, Flammenschutzmittel, Biozide, UV- und Wärmestabilisatoren werden. Es gibt Hinweise darauf, dass sich die aufgenommenen Partikel in den Geweben und Organen der Organismen anreichern.

Eine abschließende Bewertung der ökotoxischen Wirkung auf Bodenorganismen steht noch aus. (UBA, 2020, S. 9 f)

4.3 Austragswege

In Gesprächen mit dem Projektbeirat werden folgende mögliche Austragswege identifiziert:

1. Austrag durch Hufe
2. Austrag über Pflegegeräte, z. B. Bahnplaner
3. Austrag über Wind und Pferdehufe – sichtbare Stoffe in der Umgebung des Platzes
4. Austrag über die Luft
5. Materialtransport in tiefere Bodenschichten
6. Austrag in Randbereiche (bei Plätzen mit horizontaler Entwässerung)
7. Entsorgung

Im Folgenden werden die einzelnen Punkte erläutert.

4.3.1 Austrag durch Hufe

Mit den Pferdehufen verhält es sich ähnlich wie mit den tief profilierten Sohlen von Wanderschuhen. Der Untergrund drückt sich hinein und löst sich wieder bei Erschütterungen, die zum Beispiel beim Laufen auf Asphalt oder Pflaster auftreten, bei fortschreitender Trocknung des Materials oder er wird manuell entfernt. Wird der Reitplatz mit dem Pferd verlassen, ohne die Hufe auszukratzen, führt dies unweigerlich zu einem Austrag der Tretschicht. Wenn das Pferd direkt in den Stall gebracht wird, verteilt sich der in den Hufen befindliche Boden je nach Örtlichkeiten nur auf den befestigten Wegen oder dem Hof. Möglich ist aber auch, dass nach der Arbeit auf dem Platz noch eine Runde durch den Wald geritten wird und somit ein Austrag in die freie Landschaft erfolgen kann.

Grundsätzlich ist dieser Vorgang nicht problematisch, es sei denn für die Tretschicht werden synthetische Zuschlagstoffe verwendet.

In diesem Fall werden Kunststoffelemente verschiedener Größen, auch Mikrokunststoffe (s. a. Kapitel 3, S. 53ff), unkontrolliert verbreitet.

Den Austrag durch Hufe festzuhalten, wäre grundsätzlich unkompliziert. Alle Reitenden müssten beim Verlassen des Platzes die Hufe auskratzen und den Inhalt sorgfältig zusammentragen. Das gesammelte Material wird getrocknet, gewogen und nach Möglichkeit in seine Bestandteile aufgeschlüsselt.

4.3.2 Austrag über Pflegegeräte, z. B. Bahnplaner

Auch durch Pflegegeräte erfolgt ein Austrag. Der reine Sand haftet besonders in feuchtem Zustand an den Reifen und Geräteoberflächen, doch sind es hier vor allem auch die größeren Zuschlagstoffanteile, zum Beispiel Vliesstücke, die sich in den Ecken, in den Hohlräumen und an den Zinken der Geräte festsetzen. Die weitere Ausbreitung ist auch hier stark von den Örtlichkeiten abhängig. Ein manuelles Pflegegerät zur Hufschlagaufbereitung wird in der Regel in unmittelbarer Nähe des Reitplatzes aufbewahrt. Der Reitbodenplaner wird hingegen an ein Zugfahrzeug gehängt, einem kleinen Trecker o. Ä. und vor und nach der Nutzung zu seinem Stellplatz gebracht. Auf dem Weg und auf dem Stellplatz ist damit zu rechnen, dass das Material sich wieder löst und so verbreitet wird.

Nicht alles an den Pflegegeräten haftende Material wird verloren, der Großteil verbleibt sicherlich länger am Gerät. Daher würde ein Abfegen, also eine Aufnahme aller am Pflegegerät befindlichen Partikel, das Ergebnis verfälschen. Vermutlich wäre es zielführend, Wege und Stellplatz vor und nach jeder Nutzung zu fegen und so das Material zusammenzutragen. Auch hier sollte eine Differenzierung der Bestandteile vorgenommen werden, um den Kunststoffgehalt zu ermitteln.

4.3.3 Austrag über Wind und Pferde in Bewegung – sichtbare Stoffe in der Umgebung des Platzes

Des Weiteren können größere Kunststoffanteile in Form von Zuschlagstoffen auch durch Wind verbreitet werden.

Die Verwehungen von Reitplätzen werden bei mangelhafter Pflege stark begünstigt. Vor allem führt ein zu geringer Wassergehalt zu einer Entmischung von Sand und Zuschlagstoffen, wobei die leichteren Zuschlagstoffe an die Oberfläche wandern. Zudem sind leichtere Stoffe auch einfacher vom Wind zu erfassen. An windigen Tagen ist mit einer Kombination der bisher genannten Einflussgrößen zu rechnen. Die vom Pferdehuf oder Bahnplaner bereits ausgetragenen Tretschichtanteile erfahren dann vom Wind noch weitere Verbreitung.

Neben dem Wind sorgen auch die Pferde für eine Verbreitung sichtbarer Stoffe in die Umgebung des Reitplatzes. Durch die Bewegung der Pferde wird die Tretschicht von den Hufen aufgewirbelt oder aufgeworfen, insbesondere wenn die Pferde schnell galoppieren oder auch bocken. Dies kann dazu führen, dass das Material aus der Reitbahn geworfen wird.

Um den hier entstehenden Austrag zu quantifizieren, können benachbarte Flächen in verschiedenen Entfernungen zum Platz nach sichtbaren Stoffe abgesucht und diese erfasst werden.

4.3.4 Austrag über die Luft

Die in Kapitel 3 erlangten Erkenntnisse zur Zerkleinerung der synthetischen Zuschlagstoffe führen zu der Annahme, dass aus der Tretschicht stammende Mikrokunststoffe auch als Schwebpartikel in der Luft vorhanden sein können.

Um diese Annahme zu prüfen, könnte nach Fugazzola und Ohnesorge (2009) ein tragbares Laserfotometer von Nutzen sein. Dieses zeichnet Staubbelastungen in Echtzeit auf. Auf diese Weise werden durch die Messungen nicht nur die Mittelwerte erfasst, sondern auch Höchst- und Tiefstwerte aufgezeichnet. Zusätzlich sollte diesem Sampler ein Luftklassierer vorgeschaltet werden, der die Größe der Partikel erfasst. (Fugazzola & Ohnesorge, 2009, S. 164-165)

Spannend wäre hier auch eine Versuchsstrategie, die sich mit verschiedenen Ausgangssituationen befasst. Hier sollten nicht nur verschiedene Wassergehalte in der Tretschicht oder unterschiedliche Nutzungsintensitäten, sondern auch die Auswirkungen verschiedener Tretschichtmaterialien getestet werden.

4.3.5 Materialtransport in tiefere Bodenschichten

Ein weiterer Austrag von Mikrokunststoffen kann vor allem durch versickerndes Wasser erfolgen. Durch Regen oder die Bewässerung der Reitböden können die Partikel ausgeschwemmt werden.

4.3.6 Austrag in Randbereiche bei Plätzen mit horizontaler Entwässerung

Auf horizontal entwässernden Reitplätzen ist es möglich, dass Zuschlagstoffe mit dem abfließenden Wasser ausgespült werden.

Das Wasser wird hier in der Regel in Rinnen, Schächte oder eine andere Art von Vorflutern geleitet. Mithilfe von Filtern könnten hier die Zusammensetzung des Abflusses sowie Größen und Mengen der Kunststoffanteile ermittelt werden.

4.3.7 Entsorgung

Außerdem ist auch eine Ausbreitung durch nicht fachgerechte Entsorgung möglich. Theoretisch können ausgesiebte synthetische Zuschlagstoffe thermisch entsorgt oder möglicherweise auch zu einfachen Dämmstoffen aufbereitet werden, wie es bereits teilweise bei landwirtschaftlichen Folien durchgeführt wird (Dold, 2017, S. 55). Problematisch ist jedoch derzeit noch die Trennung von mineralischen Anteilen. Tretschichten aus wertvollen Quarzsanden müssen aufgrund der persistenten Kunststoffanteile in ihrer Gesamtheit als Abfall angesehen werden (Hansmann et al., 2020). Eine ungenügende Trennung kann dazu führen, dass bei einer weiteren Verwendung des Sandes nicht entfernte Mikrokunststoffe verbreitet werden.

Hansmann (2016, S. 9) begann bereits vor einigen Jahren mit der Entwicklung einer Maschine zur Trennung von Zuschlagstoffen und Sand. Der Prototyp konnte in einer noch geringen Dimensionierung einen Reinheitsgrad von 98 % erreichen. Die Erreichung der Marktreife einer solchen Maschine im industriellen Maßstab wird angestrebt (Hansmann et al., 2020).

4.4 Erste Untersuchungen

Bergkemper (2021) untersucht derzeit in seiner Bachelorarbeit den Austrag synthetischer Zuschlagstoffe.

Aufgenommen wird hier der Austrag durch Wind, Pflegegeräte, Pferde und Menschen sowie durch das Abäppeln.

Um den Austrag durch Wind zu erfassen, werden jeden Montag sieben Wochen lang die ausgetragenen synthetischen Zuschlagstoffe aufgesammelt. Am ersten Montag wird die Umgebung des Reitplatzes in Flächen unterteilt und alle Bereiche werden gesäubert. Dabei findet bereits die erste Bestandsaufnahme der vorhandenen Zuschlagstoffe statt. Diese werden den Bereichen zugeordnet, ihre Größe und Gesamtmasse erfasst. Auf diese Weise kann an den folgenden sechs Montagen der Austrag pro Woche überprüft werden. Mit Hilfe einer Wetterstation werden parallel Daten erhoben, die zur abschließenden Auswertung herangezogen werden.

Der Austrag durch Pflegegeräte wird hier anhand des Bahnplaners überprüft, der zum Schleppen des Platzes genutzt wird. Der Reitplatz wird im Untersuchungszeitraum dreimal geschleppt. Der Weg zum Reitplatz wird vorher gefegt, sodass nach dem Pflegevorgang vorhandenes Material diesem eindeutig zugeordnet werden kann. Die Zuschlagstoffe werden von Weg und Gerät gesammelt und ebenfalls nach Größen sortiert in Gewichtsanteilen festgehalten.

Um den Austrag durch Pferd und Menschen zu ermitteln, werden im Untersuchungszeitraum die Hufe der Pferde ausgekratzt, Kleidung und Schuhwerk werden abgebürstet. Auch hier wird das Material daraufhin aufgesammelt und erfasst. Außerdem findet eine Dokumentation der Platznutzung statt. Auf diese Weise kann der ermittelte Austrag auf die Nutzungsintensität bezogen werden.

Auch beim Abäppeln wird der Austrag erfasst. Die Pferdeäpfel, denen Sand und Zuschlagstoffe anhaften, werden hier von der Tretschicht in einen Behälter geharkt. Die Zuschlagstoffe werden händisch aussortiert, gereinigt, gemessen und gewogen.

4.5 Reduzierung des Austrags und Diskussion

Im Allgemeinen herrscht große Unsicherheit über die Erfassung sowie auch die Auswirkungen von Kunststoffen im Boden. Auch in der aktuellen Formulierung des derzeitigen Kenntnisstands vom Umweltbundesamt spiegelt sich großer Wissensbedarf wider:

„Neben den fehlenden normierten Methoden zur Bestimmung von Gehalten in Böden besteht Forschungsbedarf:

- *zum quantitativen Eintrag von Kunststoff über alle Pfade in den Boden,*
- *zum Verbleib von Kunststoffen in Böden und deren evtl. Abbau (Zeitachse, notwendige Umweltbedingungen),*
- *zum Filtervermögen von Böden,*
- *zum Verlagerungsverhalten in das Grundwasser,*
- *zum Abtrag von Mikrokunststoffpartikeln mit erodierten Böden und damit Einträge in Oberflächengewässer,*
- *zum Leachingverhalten (Auswaschung) von Schadstoffen, gebunden in/an Mikrokunststoffpartikeln, im Boden/in tiefere Bodenschichten und*
- *zur Interaktion von Mikrokunststoffen mit Schadstoffen im Boden.“*

(UBA, 2020, S. 11)

Langfristig betrachtet führt die Verbreitung persistenter, schwer abbaubarer Stoffe auch in kleinen Mengen zu einer Anreicherung im Boden, die problematische Konzentrationen erreichen kann. Vor diesem Hintergrund ist es schon im Sinne des „Vorsorgeprinzips“ notwendig, den unkontrollierten Austrag von Mikrokunststoff einzudämmen und nach Möglichkeit zu verhindern (Mathews et al., 2021, S. 2; Grathwohl et al., 2020, S. 7).

Zu diesem Zweck sollen im Folgenden bauliche Maßnahmen oder Verhaltensregeln für die Nutzer überlegt werden, die den Austrag der Zuschlagstoffe möglichst eindämmen oder sogar verhindern.

Grundsätzlich ist der Feuchtegehalt der Tretschicht eine wichtige Größe, um die Verbreitung in die Luft und durch Wind zu verhindern. Eine regelmäßige, gleichmäßige Befeuchtung ist am besten geeignet, um einen gleichmäßigen, kontinuierlichen Feuchtegrad in der Tretschicht zu erreichen (Rapp et al., 1991, S. 80).

Zudem kann Feinstaub in Reithallen effektiv entgegengewirkt werden. Dieser wird bereits durch Luftbewegungen aufgewirbelt, die von einem Pferd im Schritt ausgelöst werden. Auf diese Weise steigt die Luftbelastung aufgrund der durch höhere Geschwindigkeiten herbeigeführten Luftbewegungen deutlich, wenn Staubablagerungen und Staubbester nicht regelmäßig entfernt werden (Rapp et al., 1991, S. 80).

Um den Austrag durch Verwehungen oder auch die Bewegungen der Pferde in benachbarte Flächen (s. Abb. 1 u. 2) zu unterbinden, können verschiedene bauliche Maßnahmen durchgeführt werden. Hier wäre zum Beispiel eine hohe, feste Bande nützlich. Es wurde auch schon eine Umrandung mit einem feinmaschigen Drahtgitter versehen. Diese Variante birgt jedoch auch Risiken. Ein Pferd könnte austreten und mit dem Hufeisen im Draht hängen bleiben. Die möglicherweise daraus resultierenden Verletzungen könnten erheblich sein. Eine massive Einfassung ist zwar teurer, dafür aber für alle Nutzer sicher.

Alternativ ist auch die Installation eines Windfangnetzes in einigen Metern Entfernung denkbar. Der Austrag durch die Hufe kann mit relativ wenig Aufwand eingegrenzt werden. Das Auskratzen der Pferdehufe bei Verlassen der Reitbahn mit anschließendem Fegen verschafft hier Abhilfe.



Abb. 1: Zuschlagstoffaustrag von einem Reitplatz



Abb. 2: Synthetische Zuschlagstoffe, Blätter und Zweige auf einem Waldweg in unmittelbarer Nähe eines Reitplatzes

4.6 Fazit

Zuschlagstoffe oder deren Bestandteile werden auf unterschiedlichen Wegen ausgetragen. Derzeit herrscht auf dem gesamten Gebiet rund um den Austrag von Mikrokunststoffen aufgrund von anthropogenen Strukturen ein Wissensdefizit. So sind auch die Folgen der Belastung für die Umwelt und damit auch auf die aller Organismen nicht ausreichend geklärt.

Des Weiteren gibt es keine klaren Aussagen über Mengen oder Art ausgetragener Kunststoffe und auch für die Entsorgung wurden noch keine befriedigenden Methoden entwickelt.

Die angeregten und zum Teil laufenden Untersuchungen können über Hochrechnungen Anhaltspunkte über den Austrag von Tretschichten auf Monate oder Jahre geben. In jedem Fall spielen die örtlichen Randbedingungen eine wichtige Rolle (z. B. Windeinfluss). Bei einigen Austragungsarten sind die Zuschlagstoffe nur ein Teil des Materialaustrags. Hier müssten für eine getrennte mengenmäßige Erfassung Untersuchungsmethoden nach Kapitel 3 angewendet werden.

Grundsätzlich sollte, schon vor dem Hintergrund des Vorsorgeprinzips, der unkontrollierte Austrag durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich unterbunden werden.

5 Gesundheitliche Auswirkungen auf Mensch und Tier

5.1 Einleitung

5.1.1 Problemstellung

Das tägliche Training von Reitenden und Pferd findet in aller Regel auf dem Reitplatz oder in der Reithalle statt. Daher hat der Zustand dieser Plätze große Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier.

Wie in Kapitel 1 (S. 9ff) dargestellt, liegen unterschiedliche Erkenntnisse zu Verletzungen des Bewegungsapparates des Pferdes in Zusammenhang mit Tretschichteigenschaften vor.

Außerdem stellt sich die Frage, ob eine erhöhte Staubentwicklung durch Trockenheit oder mangelhafte Belüftung bestimmte Erkrankungen der Atemwege mit sich bringt. Die in Kapitel 3 (S. 53ff) nachgewiesene Zerkleinerung der Tretschichtbestandteile weist daraufhin, dass auch aus den synthetischen Zuschlagstoffen Schwebpartikel in der Luft vorhanden sein können.

5.1.2 Ziel

Mit Hilfe der Einschätzung von Experten soll eruiert werden, inwiefern eine Gefährdung von Mensch und Tier vorliegen könnte. Dabei sollen sowohl Risiken für den Bewegungsapparat des Pferdes als auch für die Atemwege von Pferd und Reitenden Berücksichtigung finden.

5.1.3 Vorgehensweise

Zunächst wurden Fragebögen erstellt, um einen zielführenden Gesprächsverlauf vorzubereiten. Daraufhin wurden Medizinerinnen und Mediziner aus dem Human- und Veterinärbereich angeschrieben und ihr Interesse an der Mitwirkung erfragt. Bei positiver Rückmeldung wurde der Fragebogen verschickt und um Terminvorschläge für ein digitales Treffen gebeten (Abschnitt 5.2).

Die Inhalte der Gespräche werden als Antworten zu den Fragestellungen zusammengefasst (Abschnitt 5.3).

Auf die Darstellung der Gespräche folgt eine Diskussion zu den gewonnenen Erkenntnissen (Abschnitt 5.4) und ein Fazit (Abschnitt 5.5).

5.2 Vorbereitung

In Vorbereitung auf die Expertengespräche werden zwei Fragebögen erstellt.

Ein Fragebogen richtet sich an Fachleute der Humanmedizin (Anlage 1, S. 145), die sich speziell mit Lungenkrankheiten oder Staubbelastungen der menschlichen Atemwege beschäftigen. Diese werden gebeten, eine fundierte Einschätzung über die Belastungsintensität von reitbodenbezogenen Stäuben, möglicherweise auch im Hinblick auf den Einfluss textiler Bestandteile, auf die Gesundheit abzugeben.

Der zweite Fragebogen zielt auf das Wissen der Tiermedizinerinnen bzw. -mediziner ab (Anlage 2, S. 146). Es soll in Erfahrung gebracht werden, ob Zusammenhänge von Verletzungen des Bewegungsapparates mit den Bodenverhältnissen auf dem Reitplatz in Verbindung gebracht werden können. Außerdem stellt sich auch hier die Frage, ob möglicherweise Atemwegserkrankungen auf spezielle Stäube von Reitplätzen zurückzuführen sind.

Die Fragebögen wurden im Projektbeirat intensiv diskutiert und Änderungsvorschläge eingearbeitet. Ebenso wurden von diesem drei Veterinärmediziner zur Befragung empfohlen. Alle waren dankenswerterweise zu ausführlichen Gesprächen bereit. Aufgrund der Corona-Pandemie musste von persönlichen Treffen abgesehen werden, es fanden Videokonferenzen statt.

Des Weiteren wurden noch Humanmedizinerinnen bzw. -mediziner gesucht, deren fachlicher Fokus auf Atemwegserkrankungen liegt. Leider ist es nicht gelungen, den Kontakt zu einer Person dieses Fachgebietes herzustellen.

Hier zeigt sich die Problematik, dass dieser Personenkreis besonders in die Bekämpfung und Erforschung des Coronavirus einbezogen ist und daher keine Kapazitäten für anderweitige Themengebiete hat.

5.3 Ergebnisse Veterinärmedizin

Im Folgenden werden die Fragen auf der Grundlage der Gesprächsprotokolle beantwortet. Die Aussagen werden im Fließtext zusammengestellt, wobei die Urheber (Befragte) mit den Buchstaben A, B oder C jeweils zu Beginn der inhaltlichen Zitate genannt werden. Diese werden teilweise aus Gründen der Anonymisierung gekürzt, jedoch weder ergänzt noch bewertet.

5.3.1 Sind Ihnen Krankheitsbilder bekannt, die auf die Reitböden zurückzuführen sind?

Hinweis

Im Gespräch wird festgestellt, dass diese erste Frage des Fragenkataloges immer im Zusammenhang mit der zweiten Frage beantwortet wird. Daher werden die Antworten im Folgenden unter Abschnitt 5.3.2 zusammengefasst.

5.3.2 Auf welche Eigenschaften des Reitbodens sind diese zurückzuführen?

Mit dem Hauptaugenmerk auf den Bewegungsapparat führt A aus, dass ein zu harter, zu wenig federnder Boden zu große Kräfte auf die Gelenke, Sehnen und Bänder des Pferdes abgibt (Basisprinzip). Zu harter Boden führe außerdem zu Problemen am palmaren Fußapparat, früher Hufrollensystem genannt, infolge des zu harten „Impacts“. Risse in der oberflächlichen und tiefen Beugesehne seien ebenfalls auf zu harten Boden zurückzuführen.

Überdies habe es den Anschein, dass bei zu wenig nachgiebigem Boden vermehrt zum Beispiel Fesselträgerschäden auftreten, weil ein ständiges Auffangen der Bewegung durch die Sehnen notwendig sei.

Außerdem würden Tretschichten, die nicht über die ausreichende Scherfestigkeit verfügen, zum Ausrutschen, zu wenig Kontrolle über die eigenen Bewegungen führen.

Zu griffiger Boden birge hingegen die Gefahr in Drehbewegungen traumatische Verletzungen hervorzurufen. Außerdem können durch dauerhafte, starke Beanspruchung Verschleißerkrankungen die Folge sein. So sei ein tägliches Training auf nicht optimalen Bodenverhältnissen sicherlich von Nachteil für den Bewegungsmechanismus eines Pferdes.

Eine Zeit lang seien häufig Pferde zu sehen gewesen, an deren Hufen ein Stück der Zehenspitze abgeschliffen war. Dies sei ausschließlich zu beobachten gewesen, wenn die Pferde nicht beschlagen waren. Da viele Pferde nur an den Vorderhufen Eisen haben, trat dieser Befund häufiger an den Hinterbeinen auf. Diese Form von Abrieb ließe sich nur durch die Einwirkung der Tretschicht erklären. Dieses Phänomen sei allerdings schon lange nicht mehr zu beobachten. Deshalb sei zu vermuten, dass es sich hier möglicherweise um eine Art von Tretschicht/Zuschlagstoff gehandelt hat, die/der heute nicht mehr verwendet werde.

B sieht die Möglichkeit, dass das Auftreten von Equinem Asthma seit 1994 mit der Verbreitung von Zuschlagstoffen zusammenhängt. Diese früher eher selten auftretende Krankheit könne immer häufiger beobachtet werden.

C stellt klar, dass das Equine Asthma im Wesentlichen auf Inhalation von Stäuben beruht. Zuschlagstoffe sowie auch getrocknete Pferdeäpfel, wenn diese in zunehmender Menge vorhanden seien, führen zu Stäuben. Pferde bilden eine eher unspezifische Überempfindlichkeitsreaktion aus, wobei die Abgrenzung zur spezifischen allergischen Reaktion nicht näher untersucht sei. Daher bestehe die Vermutung, dass Equines Asthma nicht nur aus der Reaktion auf Pilzsporen und Bakterien herrühre, sondern auch durch Staub von Silikaten oder anderen Partikeln aus der Umgebung hervorgerufen werden könne.

Untersuchungen von Rennpferden zeigen anschaulich die Auswirkungen einer schmutzigen, staubigen Rennstrecke. So könne man bei einer Endoskopie kurz nach dem Rennen feststellen, dass das Sekret auf den Schleimhäuten der oberen Atemwege und in der Luftröhre schmutzig schwärzlich verfärbt sei, was auf eine erhebliche, inhalative Belastung durch Rennbahnstäube hindeute.

5.3.3 Spielen synthetische Zuschlagstoffe eine Rolle? Wenn ja, welche?

A ist der Meinung, dass Zuschlagstoffe definitiv eine Rolle spielen können. Vliese und Fasern gäben dem Boden mehr Festigkeit und verringerten die Rutschfähigkeit. Die Schwierigkeit liege darin, das richtige Mischungsverhältnis für die jeweilige Nutzung zu finden.

Bei einem hohen Anteil an Vlies bestehe ein höheres Risiko des Verkittens der einzelnen Teile, die sich dann zu größeren Platten zusammenschließen würden. Der Einfluss auf die Scherfestigkeit durch die Zuschlagstoffe würde auf diese Weise stark erhöht. Pflege sei das *A* und *O* für den Boden. Es sei notwendig, regelmäßig zu wässern. Gerade Böden mit Vliesanteil bräuchten viel Wasser, außerdem müsse häufig geschleppt werden.

Sowohl bei Holzhäckseln als auch bei den synthetischen Zuschlagstoffen spiele der Mengenanteil ebenso wie auch die Größe der Zuschlagstoffe eine Rolle. Große Materialstücke erhöhen den Grip, die Scherfestigkeit, deutlich, stoppen mehr.

Die Erfahrungen mit Holzhäckseln im Sand zeigen, dass die Tretschicht eine geringere Friktion hat, jedoch durchaus auch abbremst. Die Nutzerproblematik liege in erster Linie im Kompostieren und der damit verringerten Haltbarkeit. Gesundheitlich sei dieser Vorgang wohl unproblematisch, wobei langfristig durch das Kompostieren möglicherweise mit ungesunden Gasen zu rechnen sei. Dies spiele sicherlich auf Außenplätzen keine Rolle.

Bezüglich der Auswirkungen auf die Atemwege berichtet *B* von einer Entdeckung, die 2005 mit Hilfe der Lungenspülung gemacht wurde. Es wurden Faseranteile gefunden, die wenig strukturiert und scharfkantig waren.

Der Ursprung war fraglich, doch ihr Erscheinungsbild ähnelte stark den aus der Humanmedizin bekannten Nanoplastikpartikeln (Heu und Stroh erscheinen im Gegensatz dazu mit Struktur und Septen (Scheidewänden)).

Die Partikel seien jedoch nicht näher untersucht worden, sodass leider keine genaue Charakterisierung möglich sei. Zuschlagstoffe dürften nicht mehr aus dem Plastikbereich kommen. Es sei auch zu bedenken, dass es zu Rechtsstreitigkeiten über die Auslösung des Equinen Asthmas in Zusammenhang mit staubigen Reitböden und Plastikzuschlagstoffen kommen werde.

5.3.4 Gibt es Unterschiede in den Beeinträchtigungen in den Disziplinen Dressur und Springen?

A gibt zu überlegen, dass der Bewegungsablauf disziplinspezifisch unterschiedlich ist und daher auch die jeweiligen Krankheitsbilder differieren.

Ein Dressurpferd werde mehr auf Kraft, ein Springpferd mehr auf Agilität geritten. Auch das Training sei im Springsport mehr auf Geschwindigkeit, abrupte Bewegungsänderungen und schnelle Drehungen ausgelegt. Ein Springpferd werde auch auf Kraft trainiert. Aber der Springsport sei eine Kombination von Ausdauer, Kraft, Agilität, Geschwindigkeit und schnellem Schalten. In der Dressur hingegen seien die Bewegungen eher statisch, krafteinwirkend.

Auf Turnieren, wo Dressur und Springen auf dem gleichen Platz absolviert wird, werde der Boden vor dem Springen noch einmal gewässert. Hier müsse er weniger federn als in der Dressur, bei der langsamere Aktion-/Reaktionsabfolgen auftreten. Wenn das Dressurpferd sich auf die Hinterhand setze, müsse die Krafteinwirkung auf die hinteren Fesselträger reduziert werden. Beim Springen müsse zum Abfußen eine schnelle Reaktionskraft geboten werden und nicht auch noch die Elastizität überwunden werden. Das Dressurpferd benötige mehr Elastizität und Absorption, das Springpferd deutlich weniger.

In Profiställen sei der Boden in Springställen deutlich härter als im Dressurstall. Auf dem Turnier sei ein möglichst perfekter Boden erstrebenswert. Bei der täglichen Arbeit müsse jedoch auch das Korrigieren von abnormalen kleinen Kräften trainiert werden.

Core Strength, Körperspannung, solle trainiert werden. Auf geordnetem, perfektem Boden werde diese Fähigkeit immer geringer. Zur Gesunderhaltung der Pferde sei daher auch die

Bewegung auf unterschiedlichen Böden wichtig. C überlegt, dass die Staubbelastung beim Springen niedriger sein könnte, da es auch auf Rasen stattfindet. Wird jedoch in Betracht gezogen, dass der Zuschlagstoffanteil in der Trettschicht im Springen sicherlich höher ist, da dort eine größere Härte angestrebt wird, könnte hierdurch eine erhöhte Belastung durch synthetische Stäube auftreten. Dieser Ansatz werde bei gut präparierten Trettschichten allerdings vermutlich neutralisiert, da der erhöhte Wassergehalt, der für die erhöhte Festigkeit der Trettschicht im Springen angestrebt wird, Staubpartikel binde.

B erwartet, dass das Pferd seine Nase in der Dressur in der Regel tiefer hält als im Springen und somit sicherlich einer höheren Staubbelastung ausgesetzt ist. In Untersuchungen werde der Staub nur auf Reiterhöhe gemessen. Das auf niedrigerer Distanz zum Boden vermutlich höhere Aufkommen in Höhe der Pferdenase sollte bei derartigen Untersuchungen zukünftig Berücksichtigung finden. Es würden bereits Untersuchungen mit deutlich höheren Staubkonzentrationen vorliegen, wenn die Pferde in unmittelbarer Nähe der Messstelle geritten würden.

5.3.5 Können Erkrankungen der Atemwege auch durch ein erhöhtes Staubaufkommen auf den Reitplätzen hervorgerufen werden? Wenn ja, wie schätzen Sie diesen Auslöser in Relation zum Staubaufkommen im Stall oder in der sonstigen Umwelt des Pferdes ein?

Laut A sei zu erwarten, dass auch ein staubiger Boden zu Atemwegserkrankungen führe: Staub führe zu Husten, also zu einer Reizung der Atemwege. Durch diese Reizung stünden den Bakterien und Viren die Eintrittspforten offen.

C legt dar, dass Pferde mitunter 23 Stunden am Tag im Stall stehen. Auch bei der Einstreu und der Fütterung entstehe eine hohe Staubbelastung. Die Zeit der Bewegung ist im Vergleich gering. Es sei möglich, dass der Einfluss der Reitplatzbedingungen bei Pferden aus einer Offenstallhaltung höher ist, da sie aus dem Haltungssystem heraus weniger belastet sind.

Vor allem aus Stroh und Heu entstandene Stäube gelten als Risikofaktoren für chronische Atemwegserkrankungen. Wenn Hallenstaub zum Beispiel pilzbelastet oder kotverschmutzt sei, könne ein hohes Risiko für eine chronische Lungenerkrankung entstehen, vor allem, wenn der Staub nicht durch Feuchtigkeit gebunden sei.

Auch wenn die Pferde sich nur vergleichsweise kurzzeitig in Reithallen befinden, atmen sie nach Angaben von *B* dort aufgrund der körperlichen Anstrengungen eine erheblich gesteigerte Luftmenge ein. Im Stall sei die Inhalation aber in einer Ruhephase, d. h. die Ventilation erfolge nur im oberen Drittel der Lunge. In der Reithalle, wenn das Pferd aufgewärmt ist, erfolge die Ventilation der ganzen Lunge. Es benötige also eine viel kürzere Zeit, um mehr Staub einzuatmen.

Hierzu gibt *C* zu bedenken, dass es zu den Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Luftraten und der Art, Menge und Lokalisation einer Partikeldeposition beim Pferd bisher kaum Studien gebe. Große Atemzugvolumina bei Belastung könnten dazu führen, dass es, auf die Luftmenge bezogen, bei hoher Strömungsgeschwindigkeit zu einer verminderten Partikeldeposition in den großen Atemwegen und andererseits zu einer erhöhten Deposition in den tiefen Atemwegen und im Alveolarbereich komme.

Zum Staubaufkommen im Stall gebe es laut *A* viele Erfahrungen. Früher sei auf den alten Höfen das Strohlager in der Regel über den Stallungen untergebracht gewesen. Dort seien vermehrt Atemwegserkrankungen, bis hin zur Dämpfigkeit, aufgetreten. Allergene und Staubbestandteile hätten auf Dauer einen großen Einfluss auf die Atemwege. Vor allem seien Stroh und Heu als Auslöser von Krankheiten geläufig. Dahingegen sei kein Stall mit vermehrten Atemwegserkrankungen im Zusammenhang mit zu staubigem Boden bekannt.

Zu Belastungen durch Stäube in Reithallen sind *C* nur zwei Untersuchungen bekannt. 1991 seien durch Rapp et al. Messungen bezüglich des Aufkommens von Pilzsporen in Reithallen durchgeführt worden.

Hier sei festgestellt worden, dass die Belastung stark ansteigt, wenn in den Reithallen eine Durchmischung der Reitböden mit Pferdeäpfeln stattfindet. Außerdem habe Bulfin (2019) eine

Studie veröffentlicht, in der eine Silikatstaubbelastung von Stallangestellten festgestellt wurde. Dort sei eine Studie zitiert, in der ein Zusammenhang zwischen Silikatstäuben und Lungenkrebs hergestellt wird. Forschungen am Pferd könnten sogar Rückschlüsse auf die Belastung der Mitarbeiter ermöglichen.

5.3.6 Ist bekannt, welche Art von Stäuben besonders gefährlich sind (Material / Größe)?

C stellt fest, dass die Zusammenhänge bei Heu und Stroh bekannt seien, weitere Untersuchungen allerdings fehlen würden. Die Partikelgröße habe einen entscheidenden Einfluss, ob ein Partikel deponiert werde. Partikel $> 5 \mu\text{m}$ würden sich überwiegend in den oberen Atemwegen ablagern. Sie verbleiben im Rachenraum und in der Nase. Besonders Partikel im Größenbereich zwischen 5 und $1 \mu\text{m}$ gelangen in den Alveolarbereich, also in die tiefen Atemwege, und lagern sich dort ab. Daher werde diese Partikelgröße auch bei der Entwicklung von Inhalationssystemen angestrebt. Partikel $< 1 \mu\text{m}$ würden exhalieren, wenn diese Partikel in einer Schwebephase verbleiben. Andererseits könne es auch zu einer Resorption dieser Ultrafeinpartikel über das respiratorische Epithel mit systemischer Verteilung in andere Organe kommen.

Wichtig sei hier laut *B* auch das Verhältnis von Länge zu Durchmesser, da die Schwebbarkeit und auch die Einatembarkeit von diesem Verhältnis abhängen. Je dünner der Durchmesser, desto höher sei die Schwebbarkeit der Partikel. Ein Partikel mit einem Durchmesser von $0,1 \mu\text{m}$ und einer ungefähren Länge von $5 \mu\text{m}$ verbleibe 5 Stunden lang in Schwebephase. Je dünner der Durchmesser ist, desto länger schweben auch die Staubpartikel.

C gibt zu bedenken, dass der Gesamtdurchmesser der luftführenden Atemwege in Richtung der Alveolen immer größer werde und sich dadurch die Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft im Bereich der kleinsten Bronchiolen und Alveolen stark vermindere. Der Bronchialbaum sei bei Pferd und Mensch dahingehend sehr ähnlich. Neben der Partikelgröße habe auch diese Strömungsgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Partikeldeposition.

Möglich sei, dass die Menge der sich ablagern- den Partikel nicht parallel mit der Menge der Atemluft ansteige. Eine Untersuchung durch eine Lungenzintigraphie in Belastung sei praktisch nicht durchzuführen.

Es sei davon auszugehen, dass inhalierte Staubpartikel im gesamten Atmungstrakt zu entzündlichen Reaktionen an den Schleimhäuten mit vermehrter Sekretbildung und zellulären Reaktionen führen können. (vgl. Kapitel 3, S. 53ff).

B weist darauf hin, dass Instrumente darauf ausgelegt seien, die Stäube entsprechend ihrer Größe zu messen. Es wäre sinnvoll, Untersuchungen zum Anteil der lungengängigen Partikel im Staub durchzuführen. Zu bedenken sei auch, dass Mikro- und Nanoplastik durch Mikro- und Makrophagen im Lungenschleim nicht abbaubar sei.

A gibt den Hinweis, dass möglicherweise vorhandene Untersuchungen von Menschen auf das Pferd übertragbar sein könnten. Staubpartikel hätten immer negative Auswirkungen.

5.3.6.1 Haben Sie Erfahrungen betreffend der Stäube von synthetischen Zuschlagstoffen?

B liegen Aufnahmen von aktiven Makrophagen (Zellkerne aus den tiefen Atemwegen) mit unterschiedlichen Einschlüssen vor, wobei die Bestimmung am Bild durch Erfahrungswerte erfolge. Die Partikel seien nicht näher untersucht worden. Ein kantiger, strukturloser, evtl. sogar durchsichtiger Partikel werde als Plastik gedeutet. Auch unterschiedliche Färbungen sprechen für unterschiedlich dünne, verfärbte Schichten eines Plastikelementes.

Eingeschlossene Partikel biologischer Natur seien an fransigem Faserende zu erkennen.

Ein septiertes (gekammertes) Segment sei typisch für ein Staubpartikel von Heu und Stroh mit Struktur, und auch eine Pilzspore sei an deutlichen Strukturen erkennbar.

Makrophagen würden zu Fremdkörperriesenzellen, wenn sie Fremdkörper phagoziert (aufgenommen) haben und können dann einen Durchmesser von 100-300 µm erreichen.

Auf den im Gespräch gezeigten Bildern sei eine 100-150 µm große Fremdkörperriesenzelle zu sehen, deren eingeschlossener Partikel ca. 20 µm im Durchmesser misst.

Das Vorhandensein des Partikels in einem Makrophagen beweise die Lungengängigkeit. Aufgrund des Längen-/Dickenverhältnisses sei der Partikel einatembar. Je dünner der Partikel, desto eher könne er mit dem Luftstrom eingeatmet werden.

5.3.6.2 Lassen sich die Staubpartikel durch den Lungenspezialisten auseinanderhalten bzw. getrennt bewerten?

B erläutert, dass Sporen und Bakterien grundsätzlich unterscheidbar seien und es mit Hilfe einer Lungenlavage auch möglich sei, die eingeatmeten Partikel in der Spülflüssigkeit zu finden und zu differenzieren.

Ein grundlegender Unterschied zwischen organischen Stoffen und Mikroplastik liege darin, dass Mikroplastik nicht abgebaut werden könne. Je mehr nicht abbaubare Stoffe vorhanden seien, umso länger dauere die Besserung im Krankheitsfall. Ist Mikroplastik in den Zellen vorhanden, müsse die Epithelzelle erneuert werden und die abgestorbene Zelle könne ausgehustet werden. Wenn sich die Kunststoffpartikel allerdings im Interstitium (Stützgewebe zwischen Alveolen) der Lunge befinden, können sie nicht ausgehustet werden.

Um die Belastung der Pferde durch die einzelnen Bestandteile der Tretschicht erkennen und bewerten zu können, wäre es laut *C* möglich, die Pferde nach der Belastung in der Reithalle zu untersuchen und eine Endoskopie durchzuführen. Bei einer anschließenden Endoskopie könne man sowohl Sekret aus der Luftröhre als auch, im Rahmen einer bronchioalveolären Lavage (BAL), eine Spülprobe aus den tiefen Lungenarealen gewinnen und die Zellarten und Zellmengen bestimmen. Bekannt sei, dass mit zunehmender Staubbelastung insbesondere die Anzahl an neutrophilen Granulozyten in der BAL zunähme. Zudem käme es zu charakteristischen Veränderungen an den Alveolarmakrophagen (z. B. schaumige Makrophagen, Riesenzellen), die ggf. Partikel in tiefen Lungenarealen inkorporieren. So könne das Vorhandensein einer Pilzspore im Zytoplasma eines Makrophagen ggf. auf eine erhöhte, inhalative Belastung mit Heu- und Strohstäuben hinweisen.

5.3.6.3 Sind evtl. einschlägige Untersuchungen bekannt?

C und B geben an, dass es keine Studien zum Pferd gebe bezüglich der Frage, ob Zuschlagstoffe oder Silikate Krankheiten verursachen. Es sei jedoch davon auszugehen, dass jede höhere Konzentration von Staubpartikeln mit $< 5 \mu\text{m}$ Partikeldurchmesser in der Einatemluft zu Entzündungen im Atmungstrakt führen könne. B ist lediglich eine Studie mit schwangeren Frauen bekannt. Hier konnte nachgewiesen werden, dass Plastikpartikel bis in den Fötus hinein weitergegeben wurden.

5.3.7 Wenn Staubbelastungen auf Reitplätzen ein Risikofaktor sind, was sollte getan werden, um die Staubbelastung zu verringern?

C stellt fest, dass der Boden feucht gehalten werden muss. Dies geschehe durch ausreichendes Besprengen, aber auch ein Ebbe-Flutsystem sei sehr empfehlenswert.

Laut B sei jedoch zu beachten, dass trotz der bewässerten Schicht alveoläre Stäube noch messbar seien, auch wenn sie nicht in kritischen Mengen vorhanden sind. Wichtig sei, genügend Zeit nach dem Bewässern zu lassen, damit der Boden ausreichend durchfeuchtet ist.

Neben der Bewässerung könne auch Ventilation eine Reduktion herbeiführen. In Schweden würden Untersuchungen durchgeführt, bei denen spezielle Ventilatoren zur Verbesserung der Luft eingebaut wurden.

Zur Kontrolle würde die Regeneration der Pferdelungen mit einer alveolaren Lavage untersucht. Nach 2 bis 3 Wochen konnte bereits eine Verbesserung festgestellt werden (Vgl. Wälinder et al., 2011, S. 264).

5.3.8 Kennen Sie Personen, die wir Ihrer Meinung nach zu diesem Thema noch ansprechen sollten?

Befragter C schlägt vor, Reithallenherstellende zu befragen.

Befragter B bietet an, eine Kollegin zu fragen, die an der Uni Utrecht über Reitböden, Staubkonzentrationen und Zusammensetzung der Stäube forscht.

Befragter A nennt Roepstorff und Hernlund als geeignete Gesprächspartner, da sie schon viele Untersuchungen zu Reitböden durchgeführt hätten. Ebenso sollten Reiterinnen und Reiter befragt werden. Auch stehe er für weitere Fragen gerne zur Verfügung. Er habe viele Kontaktpersonen, die er ansprechen könne.

[Anmerkung d. Verf.: Roepstorff und Hernlund werden in Kapitel 1 mehrfach zitiert. Lars Roepstorff ist schwedischer Wissenschaftler und Veterinär an der *Swedish University of Agricultural Sciences* (SLU) in Uppsala. Er ist spezialisiert auf die Eigenschaften von Tretschichten, das Zusammenspiel von Pferd und Reitenden und die objektive Bestimmung von Lahmheiten (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 5). Elin Hernlund arbeitet im Rahmen einer FEI-Studie zum Thema Springtraining, Verletzungen und Tretschichten ebenfalls an der *Swedish University of Agricultural Sciences* (SLU) und hat auch ein wissenschaftliches Interesse an dem Zusammenspiel von Pferd und Reitenden und der objektiven Bestimmung von Lahmheiten beim Pferd (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 5).]

5.4 Diskussion

5.4.1 Auswirkungen auf die Atemwege

Das Equine Asthma ist heute stark verbreitet (Befragter B). Dies ist auch auf das Pferdemanagement und die Haltungsformen zurückzuführen. Diese bedingen, dass das Pferd nur begrenzte Bewegungszeiträume hat und sich die meiste Zeit im Stall und nicht an der frischen Luft aufhält (Fugazzola & Ohnesorge, 2009, S. 164).

In der von Befragtem C in Abschnitt 5.3.5 angeführten Studie von Rapp et al. (1991) wird die Verunreinigung der Luft anhand der auftretenden Pilzsporen gemessen. Die Belastung der Luft durch Pilzsporen war beim Einstreuen im Stall am höchsten. Die Belastung der Reithallenluft konnte zu Stoßzeiten die der Stallluft außerhalb der Arbeitszeiten erreichen.

Höchstwerte wurden in der Reithalle immer dann erreicht, wenn viele Pferde gleichzeitig bewegt wurden, der Boden nicht ausreichend durchfeuchtet war oder auch, wenn viele Staubnester vorhanden waren, die durch die Bewegung der Luft durch die Pferde aufgewirbelt werden konnten (Rapp et al., 1991, S. 80-81).

Rapp et al. kommen zu dem Schluss, dass ein Turnierpferd beim täglichen Training ca. ein Drittel der täglichen Atemluft aufnimmt. Dies ist durch die erhöhte Atemfrequenz und darin begründet, dass das Pferd in Belastung das gesamte Lungenvolumen nutzt, während in der Ruhephase nur das obere Drittel der Lunge verwendet wird (vgl. Abschnitt 5.3.5 Befragter C). Der Luftbedarf liegt demnach bei einer 90-minütigen Trainingseinheit ungefähr bei 45.000 Litern, während in der verbleibenden Zeit im Stall 81.000 Liter Luft eingeatmet werden. Diesen Erkenntnissen nach machen *„die Luftverhältnisse in den Reitbahnen rund ein Drittel des Gesamteinflusses durch die Atemluft“* aus (Rapp et al., 1991, S. 75).

Reitsande zeichnen sich in der Regel durch einen hohen Quarzanteil aus (vgl. Kapitel 1, S. 9ff). Besonders Quarzsand benötigt viel Wasser, um die Staubeentwicklung zu minimieren. Dies ist vor allem wichtig, da die feinen Partikel die Atemwege schädigen können (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 53).

Grundsätzlich ist festzustellen:

„Quarzstaub wird als fibrogener Staub bezeichnet, da er vorwiegend Schädigungen durch Gewebeeränderungen verursacht. Der Kontakt des A-Staubs mit den Alveolen verursacht eine komplizierte Wirkungskette, die zur Bildung von Bindegewebe im Lungenzwischengewebe führt. Durch die Veränderung kommt es zu einer Beeinträchtigung der Lungenstruktur, der Bronchien und der Gefäße, da die Elastizität des Lungengewebes abnimmt.“
(Breithaupt, 2011, S. 30)

Laut Mattenkott und Höfert (2009, S. 128) ist der Begriff A-Staub, „Alveolengängiger Staub“, mit der im Umweltschutz verwendeten Staubkategorie PM₄ vergleichbar. Die hier gemeinten Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq 4 \mu\text{m}$ werden auch „Quarzfeinstaub“ genannt.

In den von C angeführten Untersuchungen von Bulfin et al. (2019, S. 5) wurde die Konzentration von lungengängigem kristallinen Quarzstaub auf Reitplätzen gemessen. Durchschnittlich wurden $0,02 \text{ mg/m}^3$ erfasst. Waren die Tretschichten nicht ausreichend bewässert, stieg die Konzentration auf $0,09 \text{ mg/m}^3$. Die EU-Richtlinie über Karzinogene und Mutagene hat den zulässigen Höchstwert bei $0,1 \text{ mg/m}^3$ festgelegt, das amerikanische *National Institute for Occupational Safety & Health* (US NIOSH) hingegen empfiehlt eine Höchstgrenze von $0,05 \text{ mg/m}^3$.

In einer dem Interview folgenden E-Mail fügte C neben den beiden genannten noch eine Studie von Lühe et al. (2015) an. Hier wird festgestellt, dass die Staubbelastungen der Luft in Reithallen während des Reitens ansteigen. Überdies spielt auch das Tretschichtmaterial, die Verbindung zum Stalltrakt und die Jahreszeit eine Rolle. Hier wird allerdings vermutet, dass der Einfluss durch die Jahreszeit möglicherweise auf veränderte Bewässerungspraktiken zurückzuführen sein könnte (Lühe et al., 2015, S. 73).

Interessant sind an dieser Stelle auch Studien an Nagern, denen Nanofasern künstlich in die Lunge eingesetzt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Toxizität und die Kanzerogenität der Fasern von der Menge, der Größe und der Haltbarkeit der Fasern abhängen (Beth-Hübner, 2010 zit. n. Breithaupt, 2011, S. 32). Besonders die dünnen langen lungengängigen Fasern mit einem Durchmesser von weniger als $1 \mu\text{m}$ und einer Länge von mehr als $5 \mu\text{m}$ besitzen das höchste kanzerogene Risiko (Breithaupt, 2011, S. 31-32).

Ebenfalls wird das Risiko für das Pferd eine stärkere Entzündung des Lungengewebes zu erleiden dadurch erhöht, dass sich verschiedene Allergene im lungengängigen Staub befinden. Die Fraktionierung einer Staubsuspension führte demnach zu der Erkenntnis, dass die Inhalation einer einzelnen Fraktion bei den Pferden eine signifikant geringere Reaktion auslöste als die Inhalation von drei verschiedenen Fraktionen gleichzeitig (Pirie et al., 2002 zit. n. Fugazzola & Ohnesorge, S. 166).

In diesem Zusammenhang ist davon auszugehen, dass die Stäube einer Tretschicht problematischer werden können, umso mehr verschiedene Materialien im Tretschichtgemisch verwendet werden.

Dieses sollte bei der Überlegung berücksichtigt werden, welche Zuschlagstoffe oder sogar welche Auswahl an Zuschlagstoffen in die Tretschicht eingebracht werden.

5.4.2 Auswirkungen auf den Bewegungsapparat

Die Auswirkungen verschiedener Bodeneigenschaften sind bereits in Kapitel 1 (S. 9ff) erörtert.

5.5 Fazit

Die in der Diskussion zusammengetragenen Beiträge aus der Literatur ergänzen die Aussagen der beiden Atemwegsspezialisten C und B. Außerdem untermauern sie die Relevanz dieser Überlegungen.

Die bereits in Kapitel 1 zusammengetragenen Erkenntnisse stützen die Aussagen von Befragtem A.

Im Gespräch mit letzterem wurde deutlich, dass der Fragebogen stark auf die Gewinnung von Informationen bezüglich der Risiken für die Atemwege durch mögliche Staubentwicklung ausgelegt ist. Für weitere Interviews sollte überlegt werden, den Fragenkatalog individueller auf die Schwerpunkte der Gesprächspersonen abzustimmen.

Alle drei Veterinäre nutzten zum Ende des Gespräches die Gelegenheit ein Schlusswort zu formulieren:

So formulierte Befragter B die Bitte, dass das Hauptaugenmerk auf biogene abbaubare Stoffe gelegt werden sollte. Die Kunststoffverwendung werde mit Sicherheit zu Gerichtsstreitigkeiten führen. Auch für die gesellschaftliche Zustimmung und Toleranz sowie die Korrektheit werde das notwendig.

Befragter C kann sich gut vorstellen, bei einem zukünftigen Forschungsprojekt mit einem Projektteam der HS Osnabrück zusammen zu arbeiten. Es wäre durchaus praktikabel, eine Doktorandin oder einen Doktoranden mit Forschungsaufgaben zu betrauen. Wenn die Pferdebesitzer sich einverstanden erklärten, könnten Proben gewonnen, untersucht und ausgewertet werden. Mithilfe einer Bronchoskopie und einer Lungenlavage würden Fremdpartikel in der

Lunge identifiziert.

Befragter A bekräftigt, dass der Reitboden ein sehr wichtiges Thema ist. Um Tierschutz zu betreiben, müsse der Boden Berücksichtigung finden!

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass umfangreiche epidemiologische Studien zu allen Teilbereichen der Pferdehaltung erstrebenswert sind. Dies betrifft sowohl den Lebensalltag, die Trainingsbedingungen und die Pflege als auch die Bestandteile und den Aufbau des täglichen Trainings. Aufgrund der daraus zu gewinnenden Erkenntnisse können akute und chronische Verletzungen möglicherweise mit Einflussfaktoren in Verbindung gebracht (Hobbs et al., 2014, S. 31) und Verbesserungen erzielt werden.

6 Alternative, biobasierte Zuschlagstoffe

6.1 Einleitung

6.1.1 Problemstellung

Die Verwendung von Zuschlagstoffen in Trittschichten führt, unabhängig von der Art der Zuschlagstoffe, zu deren Austrag (s. Kapitel 4, S. 89ff) sowie deren Abrieb und Zerfall (s. Kapitel 3, S. 53ff).

Handelt es sich um synthetische Zuschlagstoffe, geht hiermit ein Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt einher. Zusätzlich gibt es möglicherweise Schwierigkeiten bei einer fachgerechten Entsorgung im Zuge eines Austauschs oder Rückbaus der Trittschicht.

Wie in Kapitel 1 (S. 9ff) dargelegt, ist ein kompletter Verzicht auf Zuschlagstoffe im Spitzensport schwer möglich, da durch sie die idealen sportfunktionellen Eigenschaften der Trittschicht auch bei nicht optimal geeigneten Sanden erreicht werden können.

Im Zuge der derzeitigen Diskussion um die Vermeidung von Mikroplastik und Nachhaltigkeit von Baustoffen wird folglich nach alternativen, biobasierten Zuschlagstoffen gesucht, die die Funktion hinsichtlich der sportfunktionellen Eigenschaften ebenfalls erfüllen.

Der Begriff alternativ meint in diesem Zusammenhang zwei Aspekte gegenüber den synthetischen Zuschlagstoffen. Das Material soll zum einen aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen oder hergestellt werden und zum anderen biologisch abbaubar sein. Beide Aspekte bedienen den Nachhaltigkeitsgedanken und würden zu einer Vermeidung von Mikroplastik im Reitsport beitragen.

6.1.2 Ziel

Ziel dieses Kapitels ist es, eine Übersicht über den derzeitigen Sachstand zu alternativen, biobasierten Zuschlagstoffen zusammenzustellen und die Thematik unter verschiedenen Aspekten zu betrachten. Hiermit soll ein Beitrag zur Diskussion der Nachhaltigkeit von Zuschlagstoffen geleistet werden.

6.1.3 Vorgehensweise

Zunächst werden unter Abschnitt 6.2 zwei Arten von biobasierten Zuschlagstoffen, die organischen Zuschlagstoffe und die Biokunststoffe, definiert und erläutert. Abschnitt 6.3 zeigt die Ergebnisse der Umfrage (Kapitel 2, S. 29ff) bezüglich dieser auf. Weiterhin sind die Erkenntnisse aus einer Auswahl an Literatur sowie einem Gespräch mit Fachleuten der Hochschule Osnabrück zu dieser Thematik zusammengestellt. Ergänzend hierzu sind im Labor für Tiefbau der Hochschule Osnabrück orientierende Versuche durchgeführt worden (Abschnitt 6.4). Anschließend folgen eine Diskussion (Abschnitt 6.5) sowie ein Fazit und Ausblick (Abschnitt 6.6).

6.2 Arten von biobasierten Zuschlagstoffen

Es erfolgt eine grundsätzliche Unterscheidung von biobasierten Zuschlagstoffen in organische Zuschlagstoffe und Biokunststoffe.

6.2.1 Organische Zuschlagstoffe

Diese bestehen aus natürlich nachwachsenden Rohstoffen (i. d. R. Pflanzen) und unterliegen unbehandelt einem natürlichen Abbauprozess. Zu den organischen Zuschlagstoffen gehören z. B. Holzhäcksel aus Weichholz und Bambusfasern. Eine „künstliche Herstellung“ des Ausgangsmaterials erfolgt im Gegensatz zu den Biokunststoffen nicht, eine Behandlung bzw. Verarbeitung des Rohstoffes ist jedoch nicht ausgeschlossen. So kann den Rohstoffen beispielsweise mit Hilfe von Chemikalien eine längere Haltbarkeit impliziert werden.

6.2.2 Biokunststoffe

Es ist eine Abgrenzung der Biokunststoffe zu den konventionellen (synthetischen) Kunststoffen vorzunehmen (s. Abb. 1).

Bei Biokunststoffen (Biopolymere) ist hinsichtlich der

- › Rohstoffbasis, nachwachsend (biobasiert) oder fossil, und der
- › biologischen Abbaubarkeit, gegeben oder nicht gegeben,

zu unterscheiden.

Der synthetische Kunststoff „D“ verfügt über eine fossile Rohstoffbasis und ist nicht biologisch abbaubar.

Die Biokunststoffe werden in drei Arten gegliedert (Beier, 2009, S. 4; Dominginghaus et al., 2012, S. 1312):

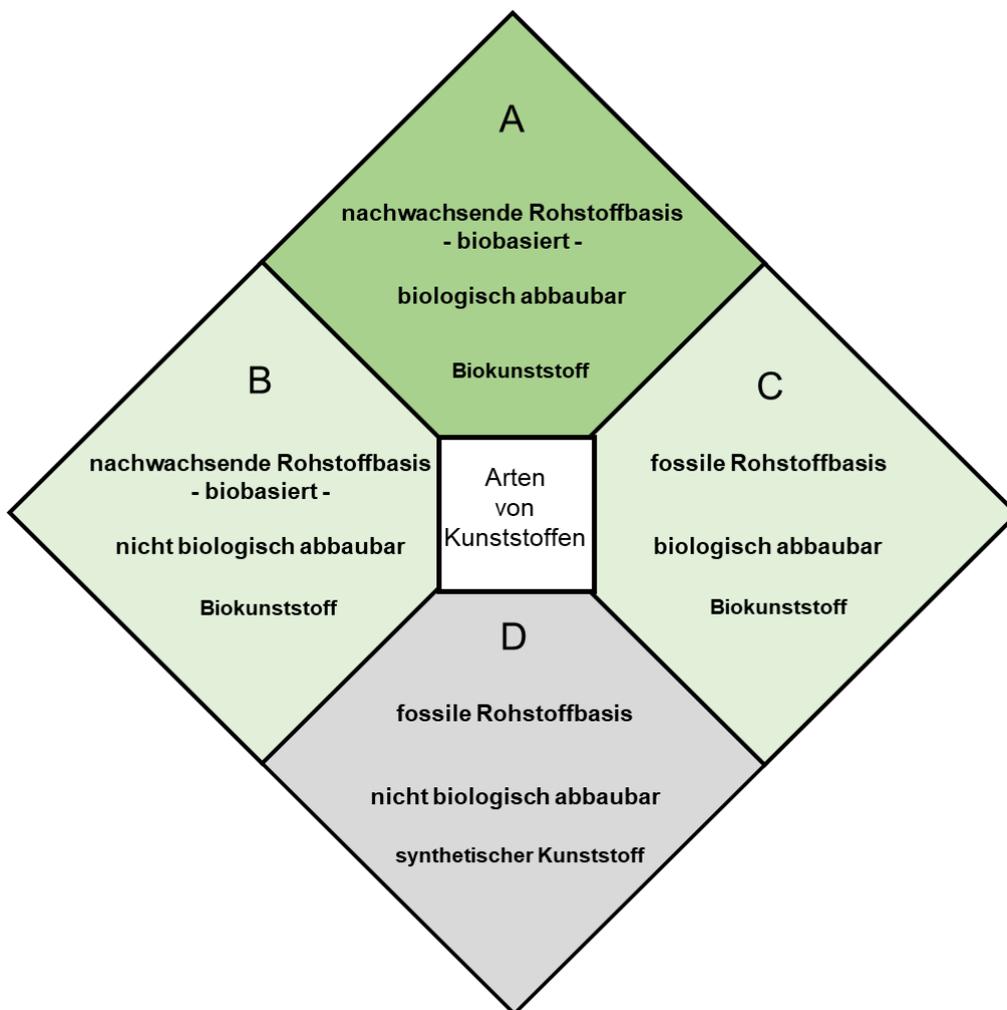


Abb. 1: Arten von Kunststoffen (UBA, 2018, S. 14, verändert d. Verf.)

- A Biologisch abbaubare, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende, synthetisierte Polymere,
z. B. Polylactide (PLA), Polyhydroxyfettsäuren (PHB, PHV)
- B Nicht biologisch abbaubare, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende Polymere,
z. B. Bio-PE, Bio-PP, Bio-PUR
- C Biologisch abbaubare Biopolymere auf fossiler Basis,
z. B. Polyvenylalkohole, Polycaprolactone und Polyester.

Um Materialien als biobasiert betiteln zu können, müssen diese jedoch nicht vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sein. Es genügt nach gängiger Normung ein Anteil von 20 %, um eine entsprechende Bezeichnung zu vergeben (Bertling et al., 2018, S. 44).

Es ist erstrebenswert, einen geeigneten Zuschlagstoff zu finden oder möglicherweise zu entwickeln, der der Art „A“ der Biokunststoffe angehört. Ein biobasierter und gleichzeitig biologisch abbaubarer Zuschlagstoff wird als nachhaltig angesehen, weil keine fossilen Rohstoffe verbraucht werden. Zudem kann die Abbaubarkeit den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt reduzieren, zusätzlich entstehen ggf. Vorteile bei der Entsorgung. Bei den Arten „B“ und „C“ entfällt jeweils einer der beiden Punkte.

Auf das oben beispielhaft für die Art „A“ der Biokunststoffe genannte Material Polylactid (PLA) wird hier kurz näher eingegangen. PLA wird auch als Polymilchsäure bezeichnet. Sie ist ein Polyester, welcher aus Milchsäure hergestellt (polymerisiert) wird. Die Milchsäureproduktion wiederum erfolgt größtenteils durch die Nutzung von Maisstärke. PLA findet in den letzten Jahren zunehmend als Faserwerkstoff Verwendung (Beier, 2009, S. 4).

Somit ist PLA für die Nutzung als Zuschlagstoff interessant.

Biologische Abbaubarkeit

In der Diskussion um Biokunststoffe werden die Begriffe biologische Abbaubarkeit, Kompostierbarkeit und bodenabbaubarer Kunststoff nebeneinander verwendet. Sie sind jedoch nicht synonym zu nutzen und werden deshalb hier kurz definiert und erläutert:

Biologische Abbaubarkeit bedeutet, dass ein organisches Material oder eine chemische Verbindung durch Mikroorganismen in einzelne Bestandteile zerlegt wird. Bei aeroben Verhältnissen entstehen unter Bildung neuer Biomasse Kohlendioxid, Wasser und Mineralsalze anderer vorhandener Elemente. Unter anaeroben Bedingungen werden Kohlendioxid, Methan, Mineralsalze und Biomasse produziert (DIN EN 13432, S. 5).

Dementsprechend wird die biologische Abbaubarkeit eines Materials durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dies sind beispielsweise die chemische und physikalische Zusammensetzung sowie die Partikelgröße. Je kleiner ein Partikel, desto größer ist die relative Oberfläche und somit auch die mögliche biologische Abbaubarkeit. Außerdem ist der Abbau abhängig von den Umgebungsbedingungen (Bodeneigenschaften bzw. Verhältnisse in der Abfallbehandlungsanlage, s. u.), in denen er stattfindet (Emadian et al. 2017 zit. n. UBA, 2020, S. 7).

Der biologische Abbau kann entweder im Boden oder in der Abfallbehandlungs- bzw. Kompostierungsanlage stattfinden. Die Bedingungen und Kriterien sind für Kunststoffe in verschiedenen Normen wie folgt festgelegt:

▪ Bodenabbaubarer Kunststoff

In der DIN EN 17033 werden die Anforderungen für den Einsatz von abbaubaren Mulchfolien aus Kunststoff in der Landwirtschaft und im Gartenbau festgelegt. Hiernach ist ein zufriedenstellender Grad des Abbaus im Boden erreicht, wenn nach 730 Tagen und bei Temperaturen von vorzugsweise 25 °C das Material zu mehr als 90 % zersetzt ist. (DIN EN 17033, S. 11)

▪ Kompostierbarkeit

Die Kompostierbarkeit von Kunststoff ist in der DIN EN 13432 definiert. Sie bezieht sich auf die Behandlung des (Verpackungs-)Materials in kommunalen oder industriellen Abfallbehandlungsanlagen. Die biologische Abbaubarkeit ist hierbei nur ein Kennwert von mehreren. Nach der vorgenannten Norm müssen 90 % der Masse innerhalb von 180 Tagen umgewandelt werden, dies ist in aeroben Abbauteests nachzuweisen. Ein weiterer Kennwert ist die physikalische Zerlegung (Desintegration) der Kunststoffe in

kleine Einzelbestandteile. Hier dürfen nach 12 Wochen Kompostierung höchstens 10 % der Ausgangstrockenmasse des Materials größer 2 mm (Siebrückstand) vorhanden sein. (DIN EN 13432, S. 9 ff)

6.3 Einsatz von biobasierten Zuschlagstoffen in Tretschichten

6.3.1 Organische Zuschlagstoffe

Zusammenfassende Auswertung von Kapitel 2

In der Umfrage sind insgesamt 10 organische Zuschlagstoffe aufgeführt. Die Verteilung zeigt Abb. 2.

Folgende Aussagen werden in der Umfrage zu organischen Zuschlagstoffen getroffen:

- › Mikro hackschnitzel (bis 30 mm) aus Weichholz erhöhen die Elastizität und die Wasserspeicherkapazität, der Boden friert weniger schnell ein. Zudem wirken sie gelenkschonend. Da es sich um ein Naturprodukt handelt, muss die Tretschicht aufgrund des Abbauprozesses regelmäßig 1 x pro Jahr aufgefüllt bzw. alle 6 bis 7 Jahre erneuert werden. Das Material ist dann kein Sondermüll, sondern recyclebar.

- › Holzspäne zerfallen nach 5 bis 6 Jahren. Eine andere Aussage ist, dass Holzspäne aus spezieller Absiebung nach 8 Jahren komplett ausgetauscht werden müssen.
- › Holz ist aufgrund des Staubes und des Pilzwachstums ungeeignet, es hat mehr Schadstoffe als PU.
- › Jute ist recht teuer in der Aufbereitung.
- › Für Jute werden Haltbarkeiten von 2 bis 7 Jahren angegeben.
- › Jute (recycelte alte Kaffeebohnsäcke) ist durch den Transport weniger ökologisch als Vlies.
- › Zu Hanffasern und Schafwolle (mit 3 % Bindemittel) werden keine weiteren Aussagen getroffen.

Ergänzend zu diesen Aussagen werden folgende Aspekte im Projektbeirat diskutiert:

- › Die häufig als Zuschlagstoff verwendeten Holzhäcksel weisen vorteilhafte Eigenschaften auf, wie die Begünstigung von Trittfestigkeit, Struktur und Wasserbindung.

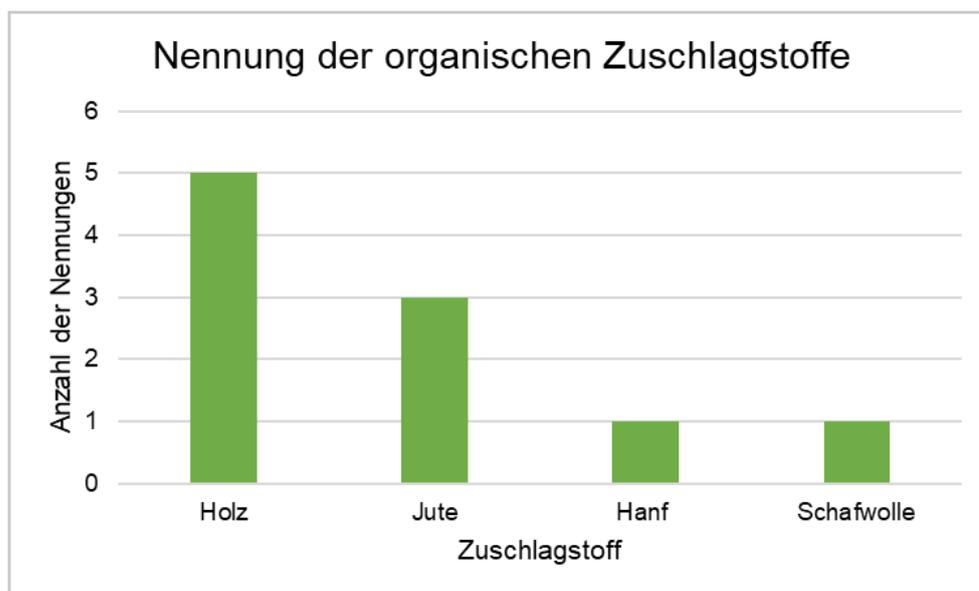


Abb. 2: Nennung der organischen Zuschlagstoffe

- › Es bestehen Bedenken hinsichtlich der Wasserbeständigkeit und Dauerhaftigkeit, dies gilt aber auch für die Biokunststoffe. Außerdem ist bei organischen Zuschlagstoffen zusätzlich ein Schimmelbefall mit entsprechendem Risiko für Mensch und Tier nicht auszuschließen.

6.3.2 Biokunststoffe

Zusammenfassende Auswertung von Kapitel 2

In der Umfrage werden insgesamt fünfmal Biokunststoffe als Zuschlagstoffe genannt. Hierbei ist nicht eindeutig zu klären, ob verschiedene Bezeichnungen auch jeweils unterschiedliche Materialien bedeuten oder ob es sich teilweise um die gleichen handelt. Es werden folgende Aussagen getroffen:

- › Ein Produkt, als „Faser“ benannt, verbessert die Scherfestigkeit. Je nach Pflege muss nach 2 bis 5 Jahren neuer Zuschlagstoff aufgetragen werden.
- › Ein als biokompostierbar bezeichnetes Vlies hält nur ein halbes Jahr.
- › Fasern aus Maisstärke halten 6 bis 7 Jahre.
- › Zu einem Viskosevlies aus Zellstoff (Naturfaser mit 1 bis 2 % Kunststofffaser) werden keine weiteren Angaben gemacht.
- › Biokunststoff-Fasern halten bei optimaler Pflege 5 bis 7 Jahre.

Fachgespräch Biokunststoff

In einem Gespräch mit Petersen und Susoff (2021, Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik) ergeben sich folgende Erkenntnisse zur Eignung von Biokunststoffen der Art „A“:

Zur Definition des Begriffes Biokunststoff erfolgt der Hinweis, dass auch ein nur zu 30 % nicht petrochemisch hergestellter Kunststoff bereits als Biokunststoff bezeichnet wird.

Wenn als Vorteil dieser Zuschlagstoffe eine biologische Abbaubarkeit (Kompostierbarkeit) gewünscht ist, muss als Nachteil der Verlust anderer Eigenschaften in Kauf genommen werden.

So verändern PLA (und andere Kunststoffe) am sogenannten Glasübergangspunkt ihre Struktur. Dieser ist stoffspezifisch und liegt für PLA bei ca. 60 °C. Die Veränderung der physikalischen Eigenschaften wird für die sportfunktionellen Eigenschaften der Tretschicht von Bedeutung sein.

Weiterhin wird hinsichtlich der Kompostierbarkeit verdeutlicht, dass diese aufgrund der zu erreichenden Temperatur nur bei industriellen Anlagen gegeben ist. Ein Abbau bei Gartenkompostierung wird ausgeschlossen.

Allerdings ist es durchaus möglich, Biokunststoffe herzustellen, die beispielsweise 100 Jahre stabil bleiben. Dies würde jedoch ein Hauptargument für die Nutzung von Biokunststoffen, die biologische Abbaubarkeit, entfallen lassen.

Abschließend wird der Gedanke geäußert, dass es grundsätzlich möglich ist, einen Biokunststoff speziell für die Verwendung als Zuschlagstoff in Tretschichten zu entwickeln. Ziel wäre eine maximale Funktionalität bei bestmöglicher Ökobilanz. Hierfür müssten die Anforderungen an den Biokunststoff klar definiert werden.

6.4 Laborversuche an biobasierten Zuschlagstoffen

6.4.1 Organische Zuschlagstoffe

Glühversuche an Reitsanden mit Holzhäckseln als Zuschlagstoff

In Kapitel 3 (S. 53ff) ist im Abschnitt 3.4 bei Arbeitsschritt 6 Verglühen darauf verwiesen worden, dass die Ergebnisse der Versuche bei dem Platz SH als ungewöhnlich eingestuft und deshalb näher untersucht werden. Die Darstellung und Auswertung hierzu finden sich in diesem Kapitel, da sie in Bezug auf die Fragestellung nach alternativen, biobasierten Zuschlagstoffen relevant sind. So stellt sich in diesem Zusammenhang beispielsweise die Frage nach der möglichen Behandlung bzw. Imprägnierung von organischen Zuschlagstoffen.

Tab. 1 ist ein Auszug aus Tab. 4 des Kapitels 3 mit den Ergebnissen des ersten Glühversuches nach DIN 18128 bei 550 °C der Probe SH H3 II.

Tab. 1: Ergebnisse Glühversuche Probe SH H3 II bei 550 °C

Probenbezeichnung / Sieb: SH H3 II Alle Massenangaben in [g] 550 °C	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust Δm_{gl}	0,135	0,039	0,219	0,207	0,062	0,106	0,260	0,137	0,207	0,084	0,360	1,410	1,888	2,910	0,270	8,294
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d	1,382	3,281	32,404	13,331	3,868	6,480	16,105	6,496	4,778	0,815	2,082	3,122	2,859	3,590	0,320	100,913
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	9,8%	1,2%	0,7%	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%	2,1%	4,3%	10,3%	17,3%	45,2%	66,0%	81,1%	84,4%	8,2%

Sie zeigt, dass der anteilige Glühverlust in Bezug auf die einzelnen Siebgrößen (Siebrückstände) bei den Sieben von 2 mm bis 8 mm Lochdurchmesser bei 66 % bis 84,4 % liegt.

Dies entspricht nicht den Erwartungen. In diesen Teilproben sind vor dem Glühen augenscheinlich nur Holzhäcksel vorhanden, da die Sandkörner kleiner als 2 mm sind. Somit müsste der Glühverlust bei diesen Proben nahezu 100 % betragen. Zudem ist die Struktur des verglühten Zuschlagstoffes (Holzhäcksel) noch klar erkennbar und es liegt eine rote Färbung vor. Auch diese Punkte werden als ungewöhnlich eingestuft.

Um zu diesem Ergebnis weitere Aussagen treffen bzw. es interpretieren zu können, werden zusätzliche Versuche durchgeführt.

Zunächst wird die ursprünglich bei 550 °C geglühte Probe SH H3 II zusätzlich über einen Zeitraum von 24 Stunden bei 800 °C geglüht, um durch die höhere Temperatur mögliche Veränderungen feststellen zu können. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt.

Die Prozentangaben der Glühverluste zeigen hier die Differenz zwischen den Versuchen bei 550 °C und 800 °C. Es wird deutlich, dass bei der höheren Temperatur kein wesentlich höherer Glühverlust erreicht wird, auch die Struktur der Holzhäcksel ist weiterhin zu erkennen, die rötliche Färbung hat sich intensiviert.

In Abb. 3 ist das Ausgangsmaterial der SH Proben zu sehen. Abb. 4 zeigt eine Teilprobe (SH H3 II 2 mm-4 mm) nach dem Glühversuch bei 550 °C.

Der Unterschied in der Färbung wird in Abb. 5 (S. 115) sichtbar, wo auf der linken Seite des Bildes Teilproben (SH H3 II) zu sehen sind, die bei 800 °C geglüht sind und die eine intensive rote Färbung aufweisen.



Abb. 3: Ausgangsmaterial SH (Gesamtmenge der Probenahme)



Abb. 4: Teilprobe SH H3 II 2 mm-4 mm nach Glühversuch 550 °C

Tab. 2: Ergebnisse Glühversuche Probe SH H3 II bei 800 °C (nach 550 °C)

Probenbezeichnung / Sieb: SH H3 II Alle Massenangaben in [g] 800 °C	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	4	8	Gesamt (Summe)
Massenverlust (550 °C - 800 °C) Δm_{gl}	0,021	0,006	0,035	0,023	0,009	0,013	0,021	0,011	0,010	0,009	0,009	0,015	0,010	0,012	0,002	0,206
Trockenmasse der Probe vor dem 800 °C Glühen m_d	1,247	3,242	32,185	13,124	3,806	6,374	15,845	6,359	4,571	0,731	1,722	1,712	0,971	0,680	0,050	92,619
Glühverlust [%] $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	1,7%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	1,2%	0,5%	0,9%	1,0%	1,8%	3,2%	0,2%



Abb. 5: Teilproben nach Glühversuch, SH H3 II (links 800 °C), SH H3 I (rechts 550 °C)

Auf der rechten Bildseite stehen zum Vergleich andere Teilproben des Platzes (SH H3 I), die nur bei 550 °C gegläht sind.

Weiterhin wird ein Glühversuch an einem anderen Reitsand mit neu eingebauten Holzhäckseln als Zuschlagstoff durchgeführt, damit Vergleichswerte zu denen des Platzes SH vorliegen.

Dies erfolgt in vereinfachter Form. Das Material ist vorab nicht durch Siebung in Teilproben einzelner Korngrößen zerlegt, da im Vergleich zum ersten Versuch lediglich das grundsätzliche Glühverhalten beurteilt werden soll. Es werden hierfür eine Probe A der Zuschlagstoffmischung und eine Probe B mit explizit herausgesuchten, augenscheinlich reinen Holzhäckseln bei 550 °C vergläht. Abb. 6 zeigt das Ausgangsmaterial, Abb. 7 die Proben nach dem Glühen.



Abb. 6: Ausgangsmaterial Reitsand mit Holzhäcksel (Gesamtmenge der Probenahme)



Abb. 7: Proben A (links) und B (rechts) nach dem Glühen

Das Bild der Proben nach dem Glühen entspricht den ursprünglichen Erwartungen:

Bei Probe A (Zuschlagstoffmischung) ist der Sand hellbraun, Überreste der Holzhäcksel sind in Farbe und Struktur nicht sichtbar. Der Glühverlust in Bezug auf die Massenanteile der Zuschlagstoffmischung beträgt 9,2 %. Dies entspricht in etwa dem Wert der Proben des Platzes SH, hier liegt der Glühverlust der Gesamtprobe bei 8,2 %. Da es sich hier um das durchschnittliche Gesamtergebnis handelt, ist dieser Wert hinsichtlich der Betrachtung der Zuschlagstoffe nicht aussagekräftig, er wird hier der Vollständigkeit halber mit angegeben.

Probe B besteht nach dem Glühen aus weißer Asche, die Holzstruktur des Ausgangsmaterials ist nicht mehr zu erkennen. Der Glühverlust beträgt 93,3 % und liegt somit deutlich höher als bei den oben genannten entsprechenden Werten der SH3 II Proben in den Größen von 2 mm bis 8 mm. Die augenscheinliche organische Substanz (Holzhäcksel) ist somit fast vollständig vergläht.

Elementanalyse

Als letzter Schritt werden die Rückstände aus den zuvor beschriebenen Versuchen im Labor für Bodenschutz und -sanierung der Hochschule Osnabrück einer Elementanalyse mittels TXRF (Totalreflektionsröntgenfluoreszenzspektrometrie) unterzogen, um Informationen über die Einzelbestandteile der Proben nach dem Glühen zu bekommen. Hierbei müsste es sich folglich um die anorganischen Bestandteile handeln, die den nicht verglähten Massenanteil bedingen.

Für diese Bestimmung der einzelnen chemischen Bestandteile werden zwei Proben verwendet: Eine der bei 550 °C geglühten Probe SH H3 I, eine weitere der bei 800 °C geglühten Probe SH H3 II. Um genügend Probematerial zu haben, werden jeweils die Teilproben von 0,71 mm bis 4 mm wieder zusammengefügt. Somit ist auch mit einem Anteil an Sand (vor allem Quarz bzw. Siliziumdioxid) in der Elementanalyse zu rechnen.

Die Untersuchung der Proben ergibt, dass in den Glührückständen, neben den zu erwartenden hohen Anteilen von Quarz sowie Erdalkaloiden, ein hoher Eisenanteil vorhanden ist, der die rostrote Färbung bedingt. Dieser könnte aus dem natürlich vorkommenden Mineral Ilmenit stammen. Auffällig ist der Chromgehalt der Probe SH H3 II. Hier ist einerseits eine natürliche geogene Quelle möglich. Andererseits ist auch ein anthropogener Einfluss beispielsweise durch Imprägnierung des Holzes denkbar. Der Ursprung der Inhaltsstoffe kann mittels einer Elementanalyse an Glührückständen jedoch nicht geklärt werden, die Aussagen zu den Mineralien sind deshalb lediglich Vermutungen (Dinklage, 2021).

6.4.2 Biokunststoffe

Eigene Versuche zur Temperaturbeständigkeit

Biokunststoffe haben in Bezug auf die Nutzung als Zuschlagstoffe in Tretschichten die Pro-

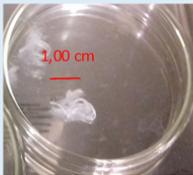
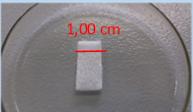
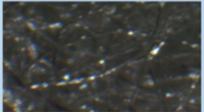
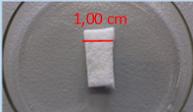
blematik, dass sie möglicherweise nicht ausreichend temperaturbeständig sind und somit ihre Funktion nicht mehr erfüllen. Hierauf verweisen beispielsweise Baur et al., die Verwendung liege im Temperaturbereich von -10° C bis +40° C (Baur et al., 2013, S. 655).

Deshalb werden folgende Biokunststoffe der Art „A“ im Klimaschrank einem ersten orientierenden Versuch zur Temperaturbeständigkeit unterzogen:

- ▶ PLA-Fasern, Materialprobe eines Zuschlagstoffes (aus der Umfrage des Kapitel 2, Nr. A7)
- ▶ Vlies 1, 300 g/m², externe Materialprobe eines Geotextils ohne explizite Verwendung als Zuschlagstoff
- ▶ Vlies 2, 1.200 g/m², externe Materialprobe eines Geotextils ohne explizite Verwendung als Zuschlagstoff.

Die Materialproben werden zunächst bei Raumtemperatur betrachtet und sowohl ohne als auch in 10-facher Vergrößerung unter dem Mikroskop aufgenommen. Anschließend erfolgt die Versuchsreihe im Klimaschrank. Die Proben werden für 2 Stunden folgenden Temperaturen ausgesetzt, die die mögliche natürliche Temperaturspanne auf einem Reitplatz abbilden: -20 °C, -10 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C Tab. 3 zeigt die Versuche in der Übersicht.

Tab. 3: Übersicht Versuche Temperaturbeständigkeit im Klimaschrank

Alternative, biobasierte Zuschlagstoffe: Übersicht Versuche zur Temperaturbeständigkeit im Klimaschrank						
Nullprobe - Raumtemperatur		- 20 °C	- 10 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Fasern	ohne Vergrößerung aufgenommen	mit 10-facher Vergrößerung aufgenommen		keine optische Veränderung zur Nullprobe		Probe schrumpft augenscheinlich zusammen, in der Vergrößerung ist ein Verdrehen der einzelnen Fasern sichtbar sowie eine Verdichtung des Faserverbundes
						
Vlies 1				keine optische Veränderung zur Nullprobe		
Vlies 2				keine optische Veränderung zur Nullprobe		

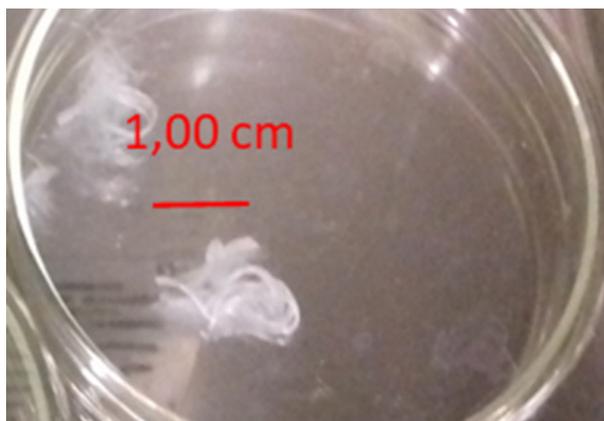


Abb. 8: PLA-Faser Nullprobe, Raumtemperatur ohne Vergrößerung aufgenommen

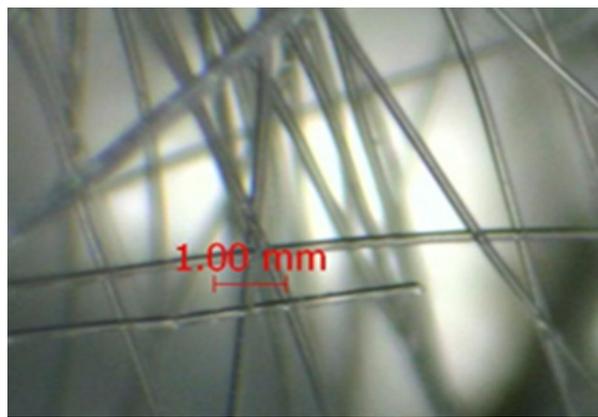


Abb. 9: PLA-Faser Nullprobe, Raumtemperatur mit 10-facher Vergrößerung aufgenommen

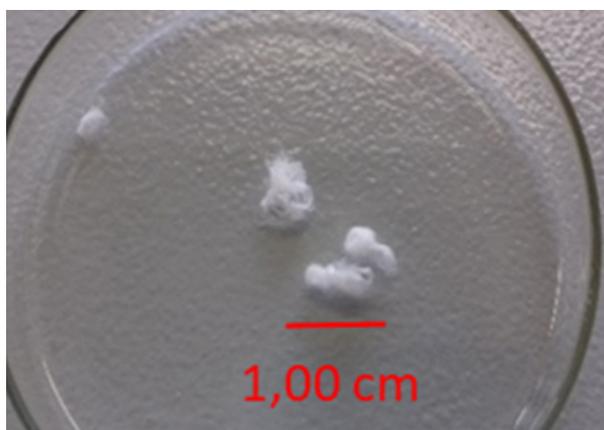


Abb. 10: PLA-Faser nach 2 Std. bei 60 °C ohne Vergrößerung aufgenommen

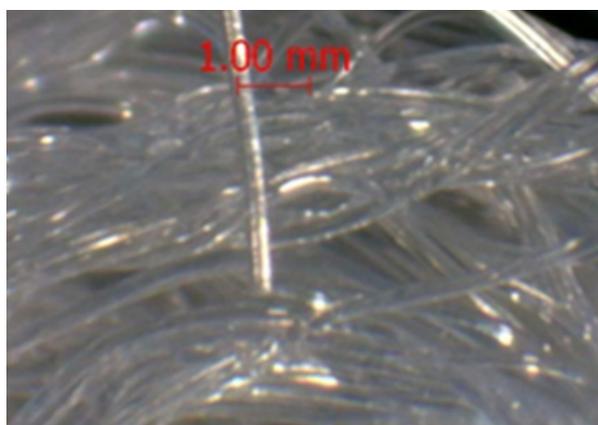


Abb. 11: PLA-Faser nach 2 Std. bei 60 °C mit 10-facher Vergrößerung aufgenommen

Das Ergebnis der Versuche ist, dass die als Zuschlagstoff gelieferten Fasern ab Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C nicht mehr temperaturbeständig sind. Sie schrumpfen augenscheinlich zusammen, dies ist mit bloßem Auge erkennbar (Abb. 8 vorher + Abb. 10 nachher). Die Betrachtung unter dem Mikroskop zeigt zusätzlich ein Verdrehen der einzelnen Fasern sowie eine Verdichtung des Faserverbundes (Abb. 9 vorher + Abb. 11 nachher).

Diese Beobachtung wird in dem Fachgespräch Biokunststoff bestätigt. PLA (und andere Kunststoffe) verändern am sogenannten Glasübergangspunkt ihre Struktur. Dieser ist stoffspezifisch und liegt für PLA bei ca. 60°C (Petersen, 2021; Susoff, 2021).

Ob und inwieweit das Material in diesem Zustand noch die Anforderungen an einen Zuschlagstoff für Tretschichten erfüllt, wird im Rahmen dieses

Vorhabens nicht weiter untersucht, ist jedoch zu hinterfragen.

Ergänzend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die einzelnen Fasern bereits bei der manuellen Entnahme der Probe aus der Tüte beginnen, sich in kleinere Bestandteile zu zerlegen. Dies stellt zusätzlich zum zuvor genannten Punkt die mechanische Belastbarkeit des Materials unter Nutzung infrage.

Die beiden untersuchten Vliese (Geotextilien) weisen im Rahmen dieser einfachen Versuchsreihe keine optische Veränderung zur Nullprobe auf. Um Aussagen über dauerhafte Beständigkeit treffen zu können, wären langfristige Versuche notwendig, die im Rahmen dieses Vorhabens jedoch nicht durchgeführt werden.

Vergleichende Untersuchungen von biobasierten und synthetischen Kunststoffen

An dieser Stelle sei auf den Abschlussbericht zum Entwicklungsprojekt „Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Aufbereitung umweltbelastender verbrauchter Reitböden für neuartige biologisch verträgliche Reitschichten“ verwiesen, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert worden ist (Hansmann et al., 2020).

Hierin wird in Laborversuchen, die Witterungseinflüsse und mechanische Belastung simulieren, ein konventioneller synthetischer Zuschlagstoff (Vlies) aus 100 % PE mit zwei Vliesen aus biobasiertem, abbaubarem Material verglichen. Eines hiervon besteht aus 100 % PLA, das andere aus 95 % PLA und 5 % Hanf.

Folgende Versuche sind durchgeführt (Hansmann et al., 2020, S. 20-28):

- ▶ Künstliches Bestrahlen mit UV-Lampen und Bewittern mit Sprühwasser bei 50 °C in Anlehnung an die DIN EN ISO 4892-3,
- ▶ Mikroskopie der Neuware und der bestrahlten Proben,
- ▶ Zugversuche nach ISO 9073-3 und in Anlehnung an ISO 13934-1 an der Neuware und an den bestrahlten Proben,
- ▶ Verdichtungsfähigkeit – Proctorversuch in Anlehnung an DIN 18127 an der Neuware und an den bestrahlten Proben.

Die Ergebnisse sind vereinfacht wie folgt zusammenzufassen (Hansmann et al., 2020, S. 20-28): Die Mikroskopie nach der Bewitterung zeigt bei allen Materialien keine wesentlichen Änderungen zur Neuware. Die Zugversuche ergeben, dass bei den mechanischen Eigenschaften der synthetische Kunststoff in Bezug auf die Höchstzugkraft wesentlich höhere Werte aufweist als die beiden biobasierten Materialien. Dies gilt sowohl vor als auch nach der Bewitterung. Entsprechend hat das Material eine höhere Steifigkeit und Festigkeit. Demgegenüber weisen die biobasierten Materialien eine höhere Höchstzugkraftdehnung als der synthetische Kunststoff, ebenfalls sowohl vor als auch nach der Bewitterung, auf. Sie sind somit als nachgiebiger zu beurteilen.

Hinsichtlich der Verdichtungsversuche sind keine nennenswerten Unterschiede zwischen den drei Materialien sowohl mit als auch ohne Bewitterungsversuche zu erkennen.

Im Fazit des Berichts wird gefolgert, dass „die in diesem Vorhaben eingesetzten [biobasierten] kompostierbaren Vliese durchaus Anwendung als textiles Verstärkungsmittel in Tretschichten [...] finden [können]“ (Hansmann et al., 2020, S. 33).

Dieses Entwicklungsprojekt unterstützt somit den Ansatz des Kapitels 6, Möglichkeiten zur Verwendung von alternativen, biobasierten Zuschlagstoffen in Tretschichten zusammenzutragen und zeigt gleichzeitig mögliche Einschränkungen hinsichtlich deren mechanischer Belastbarkeit auf.

6.5 Diskussion

6.5.1 Organische Zuschlagstoffe

Organische Zuschlagstoffe haben vorteilhafte Eigenschaften, wie die Begünstigung von Trittfestigkeit, Struktur und Wasserbindung. Sind diese ohne weitere chemische oder physikalische Behandlung eingebaut, unterliegen sie, zusätzlich zur Zerkleinerung durch die mechanische Belastung (s. Kapitel 3, S. 53ff), auch dem natürlichen biologischen Abbauprozess. Dieser ist stark von den Witterungsbedingungen abhängig und bedingt möglicherweise eine Änderung der Eigenschaften der Zuschlagstoffe in der Tretschicht. Je nach notwendiger Häufigkeit der Erneuerung stellt sich die Frage der Wirtschaftlichkeit der Verwendung der organischen Zuschlagstoffe. Weiterhin ist im Rahmen des biologischen Abbaus ein Schimmelbefall mit entsprechendem Risiko für Mensch und Tier nicht auszuschließen.

Werden behandelte organische Zuschlagstoffe wie beispielsweise chemisch imprägnierte Holzhäcksel verwendet, verlangsamt sich der Abbauprozess. Gleichzeitig stellt sich jedoch die Frage nach dem möglichen Austrag von Schadstoffen in die Umwelt.

6.5.2 Biokunststoffe

Biokunststoffe haben ebenso verbessernde Eigenschaften für die Tretschicht, hier wird beispielsweise die Scherfestigkeit genannt. Auch wenn aus Kapitel 3 keine expliziten Versuche mit diesen Zuschlagstoffen vorliegen, ist im Analogieschluss davon auszugehen, dass ebenfalls wie bei den organischen Zuschlagstoffen eine Zerkleinerung durch die mechanische Belastung stattfindet.

Die biologische Abbaubarkeit von Biokunststoffen ist sowohl hinsichtlich der Kompostierbarkeit aus auch der Abbaubarkeit im Boden zu hinterfragen.

In einem Bericht des Umweltbundesamtes wird zur Kompostierbarkeit festgestellt, dass die notwendige Zeit von 12 Wochen in vielen Anlagen nicht erreicht wird (UBA, 2020, S. 7).

Diese kritische Sicht der Kompostierbarkeit wird auch durch Stellungnahmen entsprechender Verbände der Entsorgungs- bzw. Erdenwirtschaft bestätigt. Hier werden Biokunststoffe als Störstoffe im Kompostgut angesehen und verdeutlicht, dass die *„Kompostierbarkeit in großtechnischen Kompostieranlagen nicht gewährleistet ist“* (Beier, 2009, S.7).

Zur Abbaubarkeit von Materialien aus PLA im Boden sind seit den 1990er Jahren verschiedenste Feldversuche durchgeführt worden. Diese liefern nach einem Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe stark schwankende Ergebnisse von keinem bis vollständigem Abbau nach zwei Jahren. Es wird darauf hingewiesen, dass der geringe Abbau von PLA im Boden mit den Ergebnissen von Laborversuchen hierzu übereinstimmen, die *„eine sehr geringe biologische Abbaubarkeit von PLA im Boden bei Raumtemperatur zeigen“* (UBA, 2018, S. 99).

Daraus ist im Umkehrschluss zu folgern, dass ein Verbleib der als Zuschlagstoffe verwendeten Biokunststoffe im Sand bzw. nach Austrag auch im Boden und (Grund-)wasser nicht automatisch zu deren vollständigem Abbau führt. Der Abbau ist von der speziellen Zusammensetzung des Kunststoffes selbst und den Umgebungsbedingungen abhängig.

Dies wiederum lässt die Frage aufkommen, ob eine Verbreitung und Zerkleinerung dieser Zuschlagstoffe in der Umwelt so schadlos ist, wie dies im Marketing seitens der Herstellerfirmen dargestellt wird. Auch Lechthaler führt in diesem Zusammenhang eine *„mögliche Belastung von Gewässern und Böden“* und eine *„Akku-mulation in der Umwelt“* an (Lechthaler, 2020, S. 56+57).

Ein weiterer zu diskutierender Aspekt ist die Ökobilanz. Hierunter versteht die Norm die *„Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umwelteinwirkungen eines Produktsystems“* (DIN EN ISO 14040, S. 9). Diese Bewertung ist sehr komplex und umfasst vielfältigste ökologische Aspekte.

Das Umweltbundesamt stellt hierzu fest, dass die Nachhaltigkeit und somit die oft beworbene Umweltfreundlichkeit von Biokunststoffen nicht durch Ökobilanzen wissenschaftlich nachgewiesen ist. Ebenso kritisieren vorgenannte Verbände der Entsorgungs- und Erdenwirtschaft, dass es für Biokunststoffe derzeit keine voll umfänglichen Ökobilanzen gibt (Beier, 2009, S. 7+8). Auch Hansmann et al. kommen in ihrem Projekt zu dem Schluss, dass die Ökobilanz mit den relevantesten Daten keine *„generellen Umweltvorteile“* beim Einsatz von Biokunststoffen aufweist (Hansmann et al., 2020, S. 33).

Als negative Faktoren in diesem Zusammenhang sind nach Lechthaler beispielsweise *„der energieintensive Herstellungsprozess, der größere Materialbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Kunststoffen, [sowie] in Teilen eine Konkurrenz [...] der biobasierten Rohstoffe mit der Nahrungsmittelherstellung“* zu nennen (Lechthaler, 2020, S. 56).

In der Literatur und in den Aussagen der Umfrage finden sich unterschiedliche Feststellungen hinsichtlich der (Witterungs-)beständigkeit von Biokunststoffen. Hier ist keine verallgemeinernde Aussage möglich. Dies ist bedingt durch die vielen verschiedenen produktspezifischen Eigenschaften, die dieser je nach Zusammensetzung haben kann. Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C, die in den beispielhaften Untersuchungen zu Materialveränderungen führen, werden bei Tretschichten in Außenanlagen durchaus erreicht.

Spezielle Biokunststoffe für die Nutzung als Zuschlagstoff sind theoretisch herstellbar. Hierfür müssten jedoch zunächst die gewünschten sportfunktionellen Eigenschaften klar definiert sein. Wie schwierig dies ist, zeigt die Ausarbeitung in Kapitel 1 (S. 9ff). Zu der dort dargestellten Vielfalt der gewünschten Eigenschaften kommen durch den Gedanken der Nachhaltigkeit widersprüchliche Zielvorstellungen wie beispielsweise einerseits Langlebigkeit und andererseits Abbaubarkeit hinzu. Dies macht den Entwicklungserfolg derzeit mehr als fraglich.

6.6 Fazit und Ausblick

Die Ausführungen über den derzeitigen Sachstand zu alternativen, biobasierten Zuschlagstoffen und die Diskussion zeigen, wie komplex die Thematik ist. Zugleich wird deutlich, wieviel Forschungs- und Entwicklungsbedarf herrscht, um eine echte Alternative für synthetische Zuschlagstoffe im Sinne der Nachhaltigkeit und Vermeidung von Mikroplastik zu schaffen.

Die Nutzung von organischen Zuschlagstoffen kann zu einer Verbesserung der sportfunktionellen Eigenschaften führen. Hier ist jedoch der Aspekt des natürlichen Abbauprozesses gegebenenfalls von Nachteil.

Die Verwendung von auf dem Markt vorhandenen Biokunststoffen als Zuschlagstoffe kann hinsichtlich der sportfunktionellen Eigenschaften zielführend sein. Sie ist jedoch möglicherweise in Bezug auf die angestrebte Nachhaltigkeit bzw. Umweltfreundlichkeit problematisch. Nach Lechthaler bieten Biokunststoffe „*noch keine ausreichende Lösung als Ersatzmaterial und führen zu neuen, bisher nicht bekannten Problemen*“ (Lechthaler, 2020, S. 57).

Nichtsdestotrotz sollte mit dem Ziel der Vermeidung von Mikroplastik in der Umwelt und der Nachhaltigkeit in der Verwendung von (Bau-) Stoffen die Forschung hinsichtlich biobasierter, alternativer Zuschlagstoffe weiter vorangetrieben werden. Im Rahmen dessen wird, wie im Ziel definiert, mit der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes ein Beitrag zur Diskussion der Thematik geleistet.

7 Anhänge

Kapitel 1

Messtechniken.....	126
A 1 Beschleunigungsmessung.....	126
A 2 Kraftmessplatten.....	127
A 3 Videoanalyse	128
A 4 Künstlicher Sportler.....	129
A 5 Prüfkugel.....	130
A 6 Dynamischer Plattendruckversuch/ leichtes Fallgewichtsgerät	130
A 7 The Orono Biomechanical Surface Tester (OBST)	131
A 8 Glen Withy Torque Tester (GWTT).....	132
A 9 Traktionsmessung (Traction Tester).....	133
A 10 Direkter Schertest (Direct shear test).....	134

Messtechniken

In den Diskussionen im Projektbeirat und auch im Regelwerkausschuss „Reitplätze“ der FLL, der zurzeit mit der Überarbeitung der Empfehlungen für Planung, Bau und Pflege von Reitplätzen befasst ist, zeigt sich die dringende Notwendigkeit, einheitliche Prüfgeräte und Prüfmethode zur Ermittlung der Reitbodeneigenschaften zu etablieren. Hier ein Überblick verschiedener Untersuchungsmöglichkeiten:

A 1 Beschleunigungsmessung

Eine weit verbreitete Variante, die sportfunktionalen Eigenschaften eines Geläufs zu erfassen, stellt die Beschleunigungsmessung dar. Die Beschleunigungsmessung am Individuum kann sowohl am Menschen als auch am Pferd durchgeführt werden. So kann diese Technik zum Beispiel auch im Fußball angewendet werden. Dazu werden Sensoren, die Kräfte oder Vibrationen registrieren, am Bein und Fuß oder Huf angebracht. Jedes Mal, wenn der Huf den Boden berührt, wird eine Aufzeichnung gemacht (Lönnel & Hernlund 2014, S. 127). Die Erfassung der Beschleunigungswerte findet mithilfe von Messvorrichtungen statt, die direkt am Pferd angebracht sind. Für die generelle Bewegungsanalyse wurden die Messgeräte an unterschiedlichen Partien des Pferdekörpers befestigt.

Je nach Ziel der Untersuchung war eine Befestigung auch am Brust- oder Kreuzbein sinnvoll.

Für die Untersuchungen der Einflüsse verschiedener Untergründe wird in der Regel eine Messung am Huf vorgenommen (Kruse, 2012, S. 7-8).

Die Beschleunigungsmessung stellt auch die Grundlagentechnik für viele andere Messgeräte dar, wie den dynamischen Plattendruckversuch oder auch den „Orono Biomechanical Surface Tester“ (OBST). Mit dem Ziel relevante Informationen über die Funktionalität eines Reitbodens zu bekommen, versucht im Grunde jedes Messgerät die Belastungszusammenhänge zu imitieren, die von einem Pferd ausgehen, wobei die Größen Gewicht und Geschwindigkeit an dieser Stelle zentral sind (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 127).

Um die Kräfte zu messen, denen das Vorderbein beim Aufsetzen ausgesetzt ist, wurde zum Beispiel von Barrey et al. (1991, S. 97 ff) der Trab von 7 gesunden Pferden auf 8 unterschiedlichen Untergründen untersucht. Hierfür wurde ein uniaxialer Beschleunigungssensor an der seitlichen Hufwand befestigt, der Messungen für 2 Sekunden mit einer Abtastrate von 2034 pro Sekunde erfasste. Zur Analyse der aufgezeichneten Beschleunigungsdaten werden verschiedene Variablen aus der Beschleunigungs-Zeit-Kurve berechnet, z. B. der maximale Höchstwert während des Aufsetzens, die Dauer der Standphase und der anfänglichen Verzögerung, die mittlere Schwingungsfrequenz oder auch die Dauer der Schwingungen (Kruse, 2012, S. 9).

Chateau et al. (2009, S. 247 ff) bedienten sich der Messungen eines am Vorderhuf befestigten triaxialen Beschleunigungsmessgerätes, um die auftretenden Kräfte bei erhöhter Geschwindigkeit auf zwei verschiedenen Tretschichten zu vergleichen. Dafür wurden drei französische Traber mit dem Sulky in einem schnellen Trainingstrab (10 m/s^2) über ein Geläuf mit gebrochenem Sand und ein gewachstes Allwetter Geläuf gefahren.

Auch Gustås et al. (2006b, S. 161 ff) nutzten für ihre Versuche die Beschleunigungsmessung. Sie statteten 8 Trabrennpferde sowohl an einem Vorder- als auch einem Hinterhuf mit einem triaxialen Messgerät aus und fuhren sie in verschiedenen Geschwindigkeiten über eine Tartanrennstrecke.

Sie stellten fest, dass sich die Dauer der horizontalen Abbremsung in allen Geschwindig-

keiten (4,7; 5,7; 10,1 und auch im Renntrab bei 12,7 m/s²), unabhängig von der Geschwindigkeit, in einem Zeitfenster von 30-50 ms bewegte. Gemeint ist die Zeitspanne vom ersten Bodenkontakt bis zum Stillstand des Hufes.

Mithilfe der Beschleunigungswerte können Kräfte zwar nicht direkt erfasst, aber abgeleitet werden. Das Beschleunigungsmuster des Hufes beim Auftreffen auf die Tretschicht steht im Zusammenhang mit der Belastung der Gliedmaßen des Pferdes (Kruse, 2012, S. 16; Gustås et al., 2006b, S. 167). Vor diesem Hintergrund wurden Unterschiede in den sportfunktionellen Eigenschaften verschiedener Oberflächen festgestellt. So wurden zum Beispiel von Chateau et al. (2010, S. 491) größere Verzögerungswerte auf Asphalt im Vergleich zu Sandoberflächen gemessen. Um die Ergebnisse der Beschleunigungsmessung einzuordnen, entschieden die Wissenschaftler in diesem Fall, die Untersuchungen mit Kraftmesshufschuhen und der Videoanalyse zu ergänzen (s. A 3 Videoanalyse).

Der Vorteil dieser Art von Tests ist, dass das, was gemessen wird, mit dem übereinstimmt, was der Sportler bzw. die Sportlerin erlebt, wodurch Informationen über mögliche Leistungsvorteile und Verletzungsrisiken gewonnen werden. Der Nachteil ist, dass die Messungen von den Individuen selbst beeinflusst werden, was es schwierig macht, exakte Vergleiche zwischen Plätzen zu erhalten (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 127).

Um aussagekräftige Ergebnisse mit der Beschleunigungsmessung zu erhalten, ist es notwendig, das Tempo der Pferde während der Messungen zu kontrollieren, da mit zunehmender Geschwindigkeit die Standphase und die Schrittdauer abnehmen, während die Verzögerung und die Kräfte an den Vordergliedmaßen zunehmen. Weiterhin beeinflussen der Ausbildungsstand sowie der Reitende und die Ausrüstung die Gangart des Pferdes. Pferde, die von einem Reiter geritten werden, zeigen beim Aufußeln andere Bodenreaktionskräfte. Neben dem Gewicht des Reitenden beeinflusst auch der Ausbildungsstand der reitenden Person die Fortbewegung des Pferdes.

Die Auswirkung verschiedener Beschläge und Oberflächen auf die Belastung des Bewegungs-

apparates war Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen. Es hat sich gezeigt, dass z. B. Grasflächen höhere Belastungen auf die Gliedmaßen des Pferdes induzieren. Höhere Belastungen sind mit einem höheren Verletzungsrisiko verbunden. Daher könnten Studien, die sich mit der Wirkung verschiedener Faktoren auf den Bewegungsapparat des Pferdes beschäftigen, helfen, die Trainingsbedingungen zu optimieren und Verletzungen bei Sportpferden zu reduzieren (Kruse, 2012, S. 20-21).

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schließen, dass diese Tests ein wichtiger Grundstein zur Validierung eines Standardverfahrens sind. Für ein objektives Standardverfahren ist es jedoch erforderlich, ein Messgerät zu finden, welches zwar eine klare Aussage über die Wirkung des Materials auf die Individuen trifft, das aber andererseits objektive Ergebnisse liefert. Nur so können Eigenschaften allgemeingültig vergleichbar sein und die Auswirkung individueller Stimmungen oder körperliche Differenzen Außenvorgestellt werden. Somit wird es notwendig, ein Gerät zu entwickeln oder sich auf ein vorhandenes Gerät zu einigen, das standardisiert und validiert ist.

A 2 Kraftmessplatten

Auch Messplatten messen tatsächlich auftretende Kräfte, die durch das Pferd auf den Boden eingebracht werden. Die Vertikal-, Längs- und Querkräfte der Standphase, die Standdauer, der Zeitpunkt des Auftretens der Kraftspitzen sowie der Impuls und das Druckzentrum werden mit Kraftmessplatten erfasst (Clayton, 1996 zit. n. Kruse, 2012, S. 11). Sie können eine gute Ergänzung zu anderen Prüfmethode darstellen. Problematisch ist im Allgemeinen ihr geringer Wirkungskreis, da die Kräfte nur auf den Platten aufgenommen werden können. Sie werden in die Tretschicht eingebaut und müssen groß genug sein, dass das Pferd auf sie tritt. Um diese Problematik zu umgehen, können auch Kraftschuhe verwendet werden. Hier liegt jedoch ein großer Nachteil in ihrem Gewicht und ihrer Höhe.

Nichtsdestotrotz sind sie einfacher in der Handhabung als die Platten, und ebenso wie die Plat-

ten wurden auch die Hufschuhe schon mehrfach erfolgreich bei der Untersuchung unterschiedlicher Tretschichten angewendet (Kruse, 2012, S. 20).

Die Zusammenhänge von Reaktionskräften und Abbremsmustern der Vor- und Hinterbeine trabender Pferde wurden auch durch die Beschleunigungsmessung in Kombination mit der Verwendung von Kraftmessplatten untersucht. Pia Gustås stellte mit ihrem Team auf diese Weise mehrere Untersuchungen an. 2001 führten sie eine in vivo Beschleunigungsmessung in Verbindung sowohl mit Kraftmessplatten als auch einer Videoanalyse durch. Dafür wurden operativ Schrauben in Fessel- und Röhrbein verankert, an denen zum einen das Beschleunigungsmessgerät mit dem Knochen verbunden wurde und zum anderen Marker für die Videoanalyse angebracht wurden. Neben den Beschleunigungsmessgeräten an Fessel- und Röhrbein wurde noch ein drittes an der äußeren Hufwand angebracht. Zwei Pferde nahmen an diesem Versuch teil. Sie wurden an der Hand über Kraftmessplatten getrabt. Ein Ergebnis dieser aufwändigen Untersuchungsvariante war die Erkenntnis, dass vertikale stoßbedingte Vibrationen möglicherweise nur von Strukturen unterhalb des Fesselgelenkes erfahrbar sind. Der Zeitablauf des horizontalen Abbremsens des Hufes schien hingegen starke Auswirkungen auf die Strukturen oberhalb der Fessel zu haben. Überdies wurde deutlich, dass durch das horizontale Gleiten des Hufes Kräfte abgebaut werden, der Aufprall gedämpft wird (Gustås et al., 2001, S. 11).

2004 wurden im Rahmen der Untersuchungen von Gustås et al. (2004, S. 737) 7 Pferde an der Hand über mit Sand bedeckte Kraftmessplatten getrabt. Sowohl an den vorderen als auch den hinteren Pferdehufen waren dabei triaxiale Beschleunigungsmesser angebracht. Lediglich durch die Daten der Messplatten, die die Vorder- und Hinterbeine separat berücksichtigten, konnte von Gustås et al. (2004, S. 741) festgestellt werden, dass die Vorderbeine größeren vertikalen und auch horizontalen Kräften ausgesetzt waren als die Hinterbeine. Diese Erkenntnis wäre durch alleinige Beschleunigungsmessung nicht möglich gewesen.

In einer weiteren Untersuchung überprüften Gustås et al. (2006a, S. 209) anhand von 7 unbeschlagenen Trabern die Bodenreaktionskräfte auf zwei verschiedenen Untergründen. Die Pferde wurden an der Hand in einer Geschwindigkeit von 3,0–5,7 m/s über Kraftplatten getrabt, die entweder mit einer 1 cm dicken Sandschicht oder mit Sandpapier bedeckt waren. Auch hier wurde ebenfalls ein triaxiales Beschleunigungsmessgerät an Vorder- und Hinterhufen befestigt. Die horizontale Abbremsung sowie die horizontalen als auch vertikal auftretenden Kräfte waren auf der Sandpapieroberfläche am größten. Auf diese Weise konnten sie zeigen, dass verschiedene Qualitäten der Tretschicht große Unterschiede in den Abbremsmustern hervorrufen und somit auch bei niedrigen Geschwindigkeiten schon von großer Bedeutung für die Belastungen des Bewegungsapparates sind.

A 3 Videoanalyse

Die Bewegung des Pferdes oder Teilbereiche seines Körpers können mithilfe der Videoanalyse untersucht werden. Die Analyse per Video, teilweise auch mit High-Speed-Kameras, kann vornehmlich aufgrund horizontaler und vertikaler Bewegungen durchgeführt werden. Überdies ist jedoch auch die dreidimensionale Analyse möglich (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 36-37; Kruse, 2012, S. 9).

Bei Untersuchungen durch Hoppe (2007, S. 40) wurde die Videoanalyse als Messinstrument verwendet. Hier wurden die Pferde zunächst auf einer Rasenfläche gefilmt, da angenommen wurde, dass diese dem ursprünglichen Lebensraum der Pferde am nächsten kommt und sie sich dort dementsprechend frei und natürlich bewegen. Darauf folgten Aufnahmen von der Bewegung auf dem Sandplatz und einer Asphaltfläche. Es sollte die These geprüft werden, dass das Pferd seine Schritte auf Asphalt verkürzen würde, sein Bewegungsablauf also vorsichtig, gebunden erscheinen wird. Im Gegensatz dazu wurden auf dem Reitplatz Bewegungsmuster erwartet, die denen auf der Wiese entsprechen. Zur Analyse wurde das Video in diesem Fall zu Einzelbildern zerlegt und mithilfe einer Messskala wurde die Schrittlänge in allen Gangarten gemessen.

Die Vermutungen bezüglich des Bewegungsverhaltens auf dem Asphalt wurden bestätigt, während auf dem Reitplatz sogar eine Verlängerung der Schritte und Tritte im Vergleich zur Wiese festgestellt werden konnte (Hoppe, 2007, S. 66).

Eine weitere Herangehensweise stellt in der Videoanalyse die Verwendung von Markierungspunkten dar, die an Gelenken angebracht werden und eine elektronische Erfassung der Bewegungsmuster ermöglichen. Da die Markierungen auf der Haut und nicht auf den Knochen angebracht werden, kann die Bewegung nicht exakt wiedergegeben werden. Um die genaue Krafteinwirkung des Bodens aufzunehmen, muss die Videoanalyse an dieser Stelle durch Kraft- oder Beschleunigungsmessinstrumente ergänzt werden (Kruse, 2012, S. 20). Prof. Lars Roepstorff von der Universität Upsalla (Schweden) berichtete bei der internationalen Vortragsreihe Reitböden, veranstaltet vom Horse Competence Center Germany (HCCG) und der Hochschule Osnabrück, von der Verwendung von High-Speed-Kameras. Die Extremitäten des Pferdes wurden bei der Landung nach einem Hindernis aufgenommen und Werte der Beschleunigungsmessung hinzugezogen. Auf diese Weise konnten die Belastungsverläufe an den Gliedmaßen betrachtet und die Auswirkungen der Beschleunigungswerte zugeordnet werden (Heinrich & Vornholt, 2014).

Auch Chateau et al. (2010, S. 488) nutzten die Videoanalyse in Kombination mit anderen Messtechniken. Der rechte Vorderhuf von 4 Trabrennpferden wurde sowohl mit einem Beschleunigungsmessgerät als auch einem kraftmessenden Hufschuh ausgestattet. Beschleunigungen und Kräfte wurden in Zusammenhang mit Aufnahmen einer High-Speed-Kamera betrachtet. Die Pferde trabten über einen Strand, der in drei Zonen aufgeteilt war: Fester nasser Sand, tiefer nasser Sand und tiefer trockener Sand. Hier konnte festgestellt werden, dass sowohl die horizontalen und vertikalen Abbremsvorgänge als auch die vertikal gemessenen Kräfte auf weicherem Sand deutlich geringer wurden. Außerdem wurde die Schrittlänge auf weicherem Untergrund kürzer und die Schrittfrequenz höher.

A 4 Künstlicher Sportler

Mittels des Künstlicher-Sportler-Verfahrens nach DIN EN 14808 können die sportfunktionellen Eigenschaften Kraftabbau, Energierückgewinnung und vertikale Verformung ermittelt werden.

Der Künstliche Sportler wurde bereits bei verschiedenen Forschungsarbeiten verwendet. Er ist in den FLL-Reitplatzempfehlungen eines von zwei empfohlenen Prüfgeräten und bisher das einzige, für das von der FLL ein Wertebereich empfohlen wird (FLL 2014, S. 45). Er kann von einer Person getragen, aufgebaut und bedient werden und die Kombination der Parameter lässt Rückschlüsse auf das Elastizitätsverhalten der Tretschicht zu.

Bei dem Versuch einer Validierung der Messwerte anhand des Vergleichs mit der Beschleunigungsmessung durch Kruse (2012, S. 84 ff) zeigten sich jedoch Differenzen. Bei ihren Untersuchungen mit 6 Pferden auf 5 unterschiedlichen Plätzen stellte sich der Kraftabbau beim Künstlichen Sportler anders dar als er durch die Messung direkt am Pferd erscheint. Die Differenz führt sie auch darauf zurück, dass das Gewicht nicht das gleiche Kontaktverhalten aufweist wie ein Pferdehuf in natürlicher Bewegung. Gemäß den Ergebnissen des Künstlichen Sportlers konnte lediglich eine Sand-Späne-Tretschicht in der Reithalle einen größeren Kraftabbau gewährleisten als die Rasentretschicht auf dem Außenplatz. Sowohl die Sand-Kunststoff-Innenplätze als auch der Sand-Außenplatz stellten sich härter dar. Im Gegensatz dazu standen die gemessenen Beschleunigungswerte während des Auffußens. Demnach zeigte der Grasplatz im Freien eine größere Härte als die drei Reithallen. Auch maßen Ryan et al. (2006, S. 671) größere Beschleunigungswerte auf einem Graspaddock im Vergleich zu einer Reithalle und einer Standard-Sand-Rennbahn. Die gemessenen Ergebnisse des Künstlichen Sportlers konnten mithilfe eines Vergleichs zu den Untersuchungen durch Heinrich et al. (2011) kontrolliert und bestätigt werden, da die Werte der Parameter Kraftabbau, Energierückgewinnung und vertikale Verformung bei den drei Stößen mit den dort gemessenen Daten konform gingen (Kruse, 2012, S. 84).

Lediglich die vertikale Verformung ließ sich auf die Ergebnisse der Hufbeschleunigungsmessung übertragen. Eine größere vertikale Verformung spiegelt ein tieferes Einsinken der Hufe wider, welches geringere Abbremswerte für den Pferdehuf nach sich zieht. Diesen Erkenntnissen zufolge könnte der Parameter Vertikale Verformung ein aussagekräftigeres Instrument zur Bewertung der sportfunktionellen Eigenschaften von Tretschichten sein (Kruse, 2012, S. 84).

Während die Energierückgewinnung schwierig mit den Werten der Beschleunigungsmessung zu vergleichen ist, da sie von Hufbeschleunigungsmessungen nicht erfasst wird (Kruse, 2012, S. 84), gibt es doch Anlass zu der Vermutung, dass nähere Analysen an dieser Stelle lohnenswert sein könnten. Auch Ratzlaff et al. (2005, S. 594) stellten anhand von 8 mit Beschleunigungsmessgeräten ausgestatteten Vollblutpferden den Vergleich zum Künstlichen Sportler an. Obwohl die Energierückgewinnung der Tretschicht stark mit der Härte des Geläufs verbunden war, wurden nur wenige signifikante Zusammenhänge zwischen der Härte und den Beschleunigungsmaximalwerten festgestellt. Das weist darauf hin, dass trotz des starken Zusammenhangs von Härte und Energierückgewinnung andere Faktoren innerhalb des heterogenen Aufbaus des Bodens die Energierückgewinnung beeinflussen. Überdies stellt Kruse (2012, S. 83) das standardisierte Vorgehen zur Ermittlung der Kennwerte infrage. Werte von Kraftabbau und Energierückgewinnung zeigten große Unterschiede zwischen der zweiten und dritten Messung, daher sollte die Sinnhaftigkeit der Verwendung des Mittelwertes aus zweiter und dritter Messung dieser Parameter als relevanter Standard laut DIN EN 14808 ihrer Meinung nach kritisch hinterfragt werden (DIN EN 14808, 2006, S. 6).

A 5 Prüfkugel

Um eine handliche Lösung für die Ermittlung der Werte Kraftabbau, Energierückgewinnung und Verformung zu finden, entwickelte die Hochschule Osnabrück vor einigen Jahren den Prototypen einer Messkugel. Diese Kugel sollte aus der Hand auf den Boden fallengelassen werden können, eigenständig ihre Fallhöhe messen und davon unabhängige, allgemeingültige Werte der Bodeneigenschaften (Abbremsseffekt, Rücksprungbewegung) ermitteln.

Der Prototyp der Messkugel wurde in einer Probephase im Vergleich mit dem Künstlichen Sportler getestet. Von den Versuchen wurden rechnerisch ermittelte Abbildungen von Kraftabbau- und Energierückgewinnungskurven ausgegeben. Möglicherweise kann die Entwicklung dieses Messgerätes an der Hochschule wieder aufgenommen werden.

A 6 Dynamischer Plattendruckversuch/leichtes Fallgewichtsgerät

Der herkömmliche dynamische Plattendruckversuch wird zur Qualitätsprüfung im Verkehrswege- und Kanalbau eingesetzt. Die Versuchsdurchführung erfolgt nach der Technischen Prüfvorschrift Boden und Fels im Straßenbau TP BF-StB Teil 8.3 (Ausgabe 2012) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Der Dynamische Plattendruckversuch ist das zweite Messgerät, das von der FLL für die Überprüfung von Tretschichten auf Reitplätzen empfohlen wird.

Für die Verwendung auf Reitplätzen wird er herangezogen, um den Moment der Beanspruchung des Bodengefüges im Moment des Auffußens durch das Pferd zu simulieren. Ein großer Vorteil liegt darin, dass der dynamische Plattendruckversuch transportabel ist und von einer einzigen Person durchgeführt werden kann.

Die Größe der Lastplatte hat starke Auswirkungen auf die Aussage der Messung. So kann angenommen werden, dass die beeinflusste Tiefe dem 1,5- bis 2-fachen Durchmesser der Messplatte entspricht. Das bedeutet, die standardisierte 300-mm-Platte misst das Bodenverhalten bis in die Tiefe von 0,45 bis 0,6 m. Der Einflussbereich kann bis in den natürlich anstehenden Boden hineinreichen, der unter dem Reitplatzaufbau ansteht. Das leichte Fallgewicht kann somit das Zusammenspiel des gesamten Aufbaus prüfen. Da auch die unteren Aufbauschichten substanziellen Einfluss auf die Reiteigenschaften haben, können auch diese Ergebnisse von Interesse sein. Der Nachteil in diesem Ansatz liegt darin, dass das Tretschichtmaterial auf diese Weise nicht isoliert betrachtet werden kann und Veränderungen des Tretschichtmaterials möglicherweise nicht erkennbar sind.

Außerdem repräsentiert die Messtiefe der 300-mm-Lastplatte nicht die Einwirkung eines Hufes (van der Heijden, 2018, S. 113-114).

Van der Heijden (2018, S. 101-103) stellt Untersuchungen mit einer standardisierten 300-mm-Lastplatte und einer modifizierten kleineren Lastplatte an, die im Durchmesser 120 mm misst und ein Hufeisen an der Unterseite angebracht hat. Die Beschleunigung, die mithilfe der 300-mm-Lastplatte eingebracht werden kann, beträgt 64 G. Die dem Hufeisen entsprechende Lastplatte wirkt mit 146 G ein und liegt damit deutlich näher an den Werten der höchsten Abbremsung von 200 G (*Peak deceleration* $-1601 \pm 678 \text{ m/s}^2$), die Chateau et al. (2009, S. 250) in ihrer Arbeit mit am Pferdehuf befestigten Messgeräten feststellen konnten. Dies legt nahe, dass die Hufeisenlastplatte Messergebnisse liefert, die innerhalb des Messungsspielraumes der Ergebnisse liegen, die bei Untersuchungen mit der Beschleunigungsmessung an Pferden erreicht werden. Plapp (2017, S. 101) konnte ergänzend feststellen, dass zwischen der „Eindringtiefe der Lastplatte des Leichten Fallgewichtsgeräts und der Eindringtiefen der Hufe an der Seite und hinten [...] keine signifikanten Unterschiede“ bestehen. Somit ist die Ermittlung der plastischen Eindringtiefe mithilfe dieses Prüfgeräts auch ohne Pferd messbar.

Wenn dieses Messgerät ausschließlich für die Prüfung von Reitböden verwendet werden soll, könnten außerdem auch Anpassungen der stoßdämpfenden Federn und des Gewichtes notwendig werden.

Die Verwendung von Pufferfedern hat Auswirkungen auf die Lastimpulseigenschaften, abhängig von der relativen Festigkeit zwischen dem Material der Tretschicht und dem Puffer. Härtere Untergründe bewirken eine stärkere Kompression der Pufferfeder, eine Verlängerung des Lastimpulses und geringere Beschleunigungen als weichere Untergründe wie Tretschichten (van der Heijden, 2018, S. 114). So beeinflusst die relative Festigkeit zwischen der Tretschicht und den Pufferfedern die maximale Beschleunigung. Während die Aufprallkraft repräsentativ für die eines Pferdes ist, scheint die Zeit bis zum Aufprall deutlich kürzer zu sein, etwa 12 ms im Vergleich zum Bereich von 30 bis 50 ms (vgl. Gustås et al. 2006b, S. 167) aus vorangegangenen Studien mit Pferden.

Die Verwendung weicherer Federn oder möglicherweise auch ein Verzicht auf selbige, kann die Leistung des dynamischen Plattendruckversuchs bei Anwendungen auf Tretschichten verbessern, indem die Zeit, über die der Lastimpuls aufgebracht wird, verlängert wird.

Überdies könnte auch eine Anpassung der Signalverarbeitung sinnvoll sein. Es wird ein gewisses Maß an Tiefpassfilterung angewendet, um hochfrequentes Rauschen im Signal zu entfernen. Die Filterung ist wahrscheinlich so abgestimmt, dass sie am besten mit dem erwarteten Signal von Materialien funktioniert, deren Steifigkeit innerhalb des typischen Bereichs liegt, für den das Leichte Fallgewicht entwickelt wurde und ist möglicherweise nicht für das Signal geeignet, das aus der Prüfung von Reitböden resultiert, die wesentlich weicher sind als Straßenbeläge (van der Heijden, 2018, S. 113).

A 7 The Orono Biomechanical Surface Tester (OBST)

„The Orono Biomechanical Surface Tester“, auch „mechanischer Huf“ genannt, wird am Heck eines Fahrzeugs montiert. Ein hufförmiges Projektil wird an einem Gewicht in einem Winkel auf den Boden fallen gelassen, der aufgrund von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von Pferdebeinen in Bewegung festgelegt wurde (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 128). Das Gerät interagiert mit der Oberfläche sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Der Metallhuf ist mit einer schwereren Masse verbunden, die durch schräge Schienen geführt und auf die Oberfläche fallen gelassen wird. Wenn der Huf auf den Boden auftrifft, überträgt die fallende Masse darüber zusätzliche Last auf den Huf, indem eine kürzere vertikale Achse die Feder und den Dämpfer zusammendrückt und gleichzeitig ein Vorwärtsgleiten des Hufes ermöglicht (Hernlund et al., 2017, S. 50). Der Winkel entspricht dem Pferdebein in der frühen Landephase oder in dem Moment des Auffußens. Auf diese Weise ahmt der mechanische Huf die Bewegung der vorderen Gliedmaßen eines Pferdes während der frühen Lande-/Aufsetzphase nach, da eine gleichzeitige Abwärtsbewegung und ein Vorwärtsgleiten des „Hufs“ erfolgt, wenn er den Boden berührt.

Neun Datenkanäle wurden mit Sensoren erfasst, darunter ein Seitenpotentiometer, eine einachsige Kraftmessdose, ein triaxialer Beschleunigungssensor, eine triaxiale Kraftmessdose und ein Linearpotentiometer (Hernlund et al., 2017, S. 50).

Ein auf dem Metallhuf montierter Beschleunigungsmesser misst die Oberflächenhärte. Eine Wägezelle misst die Auswirkung des schweren Gewichts, wenn es den „Huf“ sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung maximal belastet. In Kombination mit Positionssensoren am Huf werden so die Dämpfung der Oberfläche während der Belastungsphase, die Griffigkeit und die Reaktionsfähigkeit der Oberfläche gemessen. Für die Prüfung von Reitböden wurde der mechanische Huf des Gerätes so eingestellt, dass er den eines mittelgroßen Warmblutpferdes nachahmt (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 128).

Das bewegliche Gerät verfügt über eine Masse von insgesamt 30 kg. Aufgrund der Gravitation erfährt das Gewicht eine Beschleunigung in Richtung Boden, sodass es beim Aufprall eine Energie von 540 Joule an den Boden abgibt. Dieser Aufprall soll der Energie des Pferdes und dem Teil des Pferdegewichts entsprechen, der in dieser Phase schätzungsweise auf den Huf übertragen wird (Peterson, 2015).

Mit dem OBST können 6 verschiedene Bodeneigenschaften erfasst oder berechnet werden: Die Stoßfestigkeit, die Dämpfung, der Grip, die Reaktionsfähigkeit, die Homogenität und die Beständigkeit.

In einer Studie verglichen Hernlund et al. (2017) die objektiven Oberflächenbewertungen mit dem OBST mit den subjektiven Einschätzungen der Reiter bzw. Reiterinnen. Dazu prüften sie auf neun internationalen Springturnieren die Vorbereitungs- und Prüfungsplätze und befragten 198 Reiter bzw. Reiterinnen, von denen sie insgesamt 749 beantwortete Fragebögen zurückerhielten.

Die mechanischen Messungen der Stoßfestigkeit und in geringerem Maße der Dämpfung und der Griffigkeit, hatten einen signifikanten positiven Zusammenhang mit der Wahrnehmung der Reiterinnen und Reiter. Die mit dem Orono Biomechanical Surface Tester (OBST) ermittelte Reaktionsfähigkeit war negativ mit der Wahrnehmung der Reiter assoziiert.

Das deutet darauf hin, dass Reitende und OBST unterschiedliche Vorstellungen von dieser funktionalen Eigenschaft haben und dass weitere Entwicklungen des OBST notwendig sein könnten. Die objektiv gemessene Homogenität zeigte keinen sinnvollen Zusammenhang mit der Wahrnehmung der Reiterinnen und Reiter.

Obwohl die Arena-Bewertungen von Reitenden auf höchstem Niveau vorgenommen wurden, zeigte sich eine erhebliche Variation zwischen den Personen (Hernlund et al., 2017, S. 49).

Auch hier zeigt sich, dass ein großer Bedarf für ein allgemein gültiges Messverfahren herrscht. Die Messungen des OBST liefern bisher keine direkten Aussagen über die Sicherheit der Trittschicht. Für die Entwicklung objektiver Standards wäre es daher auch interessant, mithilfe weiterer Studien Daten zu Pferdeverletzungen mit mechanischen Messungen und Bewertungen der Oberflächenleistung zu verknüpfen (Hernlund et al., 2017, S. 56).

Die FEI (Fédération Équestre Internationale) überlegt, den mechanischen Huf als Standardmessgerät einzuführen, um es auch bei Großereignissen wie den Weltreiterspielen und den Olympischen Reiterspielen einzusetzen (Lönnel & Hernlund, 2014, S. 129).

A 8 Glen Withy Torque Tester (GWTT)

Von allen bisher genannten Prüfmethode war der OBST der einzige, der in der Lage ist, die Scherfestigkeit eines Reitbodens zu ermitteln. Aktuelle Methoden, die in der menschlichen Biomechanik verwendet werden, stellen die Interaktion zwischen Huf und Oberfläche nicht adäquat dar, und keine aktuelle pferdespezifische Messung ermittelt die Einflüsse der Rotationscherung. Aus diesem Grund wurde ein neues Gerät mit dem Namen Glen Withy Torque Tester (GWTT) entwickelt, das in der Lage ist, das Rotationsdrehmoment zu messen, während es unter einer konstant angewandten quasi-statischen vertikalen Last steht (Lewis et al., 2015, S. 6).

Der GWTT misst das Drehmoment, das notwendig ist, um einen künstlichen Huf zu verdrehen, der unter einer gleichmäßig aufgebracht vertikalen Last in die Oberfläche gedrückt wird (Lewis et al., 2015, S. 1).

Die instrumentierte Hufkonstruktion ist in eine Tragstruktur eingebaut, die eine Masse von bis zu 100 kg tragen kann und die über geeignete Anbauten für einen Traktor oder ähnlich große Geräte verfügt, um sie leicht zu bewegen. An der Unterseite des Gehäuses ist an der Basis ein Hufeisen befestigt.

An der Oberseite der Hauptwelle befindet sich ein Vierkantantrieb, an dem ein zweiseitiger Handgriff befestigt werden kann, um ein ergänzendes Drehmoment zu erzeugen. Der Betrag der Verdrehung wird durch eine am Vierkant angebrachte Messuhr gemessen. Das Gehäuse der Mittelsäule trägt auf beiden Seiten verstellbare Stangen, die ein einfaches Anbringen und Entfernen von Rundmassen ermöglichen (Lewis et al., 2015, S. 7-8).

Tretschichten auf Reitplätzen haben in der Regel eine lockere obere Schicht, die die Bewegung des Hufes früh in der Belastungsphase zulässt und die von einer darunterliegenden festen Schicht unterstützt wird. Die Festigkeit nimmt also von oben nach unten zu und soll dementsprechend auch bei höherer Belastung stärker werden. Diese Zunahme der Steifigkeit in Abhängigkeit von der Belastung tritt sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung auf. Um eine Aussage über die Eignung des Untergrundes für die Nutzung treffen zu können, wird angestrebt, die Art der Testung möglichst weit an die realen Belastungen durch das Pferd anzulehnen (Lewis et al., 2015, S. 16).

Mithilfe der GWTT konnte auch der Gleitreibungskoeffizient berechnet werden, der auf einer Tretschicht mit gewachstem Sand $0,40 \pm 0,06$ und auf einer nicht gewachsenen Tretschicht $0,37 \pm 0,11$ betrug. Es wird erwartet, dass die Anforderungen an die Gleitfähigkeit bei Aktivitäten von Pferden größer sind als bei menschlichen Aktivitäten. Beton- und Gummioberflächen (glatt und gemustert) haben nachweislich einen statischen Koeffizienten von mehr als 0,7, was das Potenzial für das Rutschen der Hufe begrenzt (McClinchey et al., 2004, S. 485; Lewis et al., 2015, S. 17-18).

A 9 Traktionsmessung (Traction Tester)

Das Zugkraftmessgerät ist eine einfache Konstruktion mit einer Stahlstange, die an einem runden, anschraubbaren Sockel mit einem genoppten Hufeisen an der Unterseite des Sockels befestigt ist. An der Stange sind oberhalb des Sockels drei kreisförmige, jeweils 10 kg schwere Massen mit einer zentralen Bohrung befestigt. Zwei Griffe an der Oberseite ermöglichen das Anheben und Fallenlassen des Geräts.

Die Vorrichtung wurde auf eine Höhe von 0,2 m angehoben, bevor sie fallen gelassen wird, damit sich das Hufeisen in die Oberfläche einbetten kann (Holt et al., 2013, S. 34; Lewis et al., 2015, S. 9). Daraufhin wird ein Drehmomentschlüssel am oberen Ende der Stange angesetzt und gedreht, bis ein Scherversagen der Oberfläche auftritt. Der maximale Wert (T_{maxTT}), der am Drehmomentschlüssel vor dem Versagen aufgezeichnet wird, kann für jeden Versuch tabellarisch erfasst werden. Um die Variabilität zu reduzieren, soll immer dieselbe Person den Versuch durchführen (Blundell et al., 2010 zit. n. Lewis et al., 2015, S. 9).

Die Traktionsmessung stellt eine deutlich handlichere Variante des GWTT zur Messung der Scherfestigkeit dar. Im direkten Vergleich der beiden Messgeräte stellten sich jedoch Unterschiede in den Ergebnissen heraus. Eine Erklärung könnte in der unterschiedlichen Funktion der Geräte liegen. Der Traktionstester neigt dazu, aus der Oberfläche herausgezogen zu werden, während der GWTT dazu neigt, sich in die Oberfläche „einzuschrauben“. Die Traktionsmessung kann daher eher auf die Lockerheit der Tretschicht als auf die Scherfestigkeit der Oberfläche als Ganzes schließen lassen (Lewis et al., 2015, S. 15-16).

A 10 Direkter Schertest (Direct shear test)

Der direkte Schertest ist ein Laborversuch, bei dem das zu prüfende Material zunächst in einer Scherbox mit vorbestimmter Dichte und vorbestimmtem Wassergehalt vorbereitet wird. Da die Scherkräfte unter dem Einfluss einer Normalspannung gemessen werden, kann der Vergleich zu auftretenden Scherkräften unter der Gewichtslast eines Pferdes herangezogen werden. Der direkte Schertest wird verwendet, um das Scherverhalten sowie das Druck- und Dehnungsverhalten von technischen Oberflächenmaterialien zu bewerten. Der Scherwiderstand wird unter verschiedenen Normalspannungen gemessen. Dabei wird zunächst eine Normalspannung und, darauf folgend, eine Scherspannung aufgebracht. Sowohl die Dichte als auch der Feuchtigkeitsgehalt können bei Bedarf geändert werden.

Die Scherbox ist eine quadratische Metallbox, die auf jeder Seite 4 Zoll misst, etwa 1,80 Zoll tief ist und aus zwei Hälften besteht, so dass eine Hälfte relativ zur anderen bewegt werden kann. Nachdem die Normalspannung aufgebracht wurde, wird eine Hälfte des Scherkastens horizontal verschoben, wodurch eine Scherspannung auf das Material einwirkt (van der Heijden, 2018, S. 35).

In seinen Untersuchungen konnte van der Heijden (2018, S. 68) feststellen, dass es eine große Übereinstimmung zwischen der ermittelten Oberflächenleistung durch direkte Schertests und der subjektiven Interpretation der Oberflächenleistung durch professionelle und fortgeschrittene Reiterinnen und Reiter gibt.

Kapitel 3

Versuchsergebnisse der Vorversuche

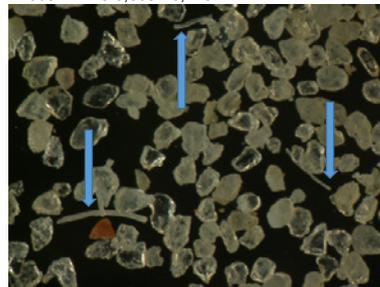
Anlage 1: Vorversuch 4.1 Mikroskopie an 6 Teilproben (DP)	135
Anlage 2: Vorversuch 4.2 Mikroskopie an bekannten reinen Einzelkomponenten.....	136
Anlage 3: Vorversuch 5A.1 Verfahrenstest H_2O_2 an reinen Einzelkomponenten	137
Anlage 4: Vorversuch 5A.2 Verfahrenstest H_2O_2 an selbst zusammengestellter Mischprobe.....	138
Anlage 5: Vorversuch 6.1 Glühverlust an 4 verschiedenen reinen Zuschlagstoffen	139
Anlage 6: Vorversuch 6.2 Glühverlust an 2 verschiedenen reinen Reitsanden	143

Anlage 1: Vorversuch 4.1 Mikroskopie an 6 Teilproben (DP)

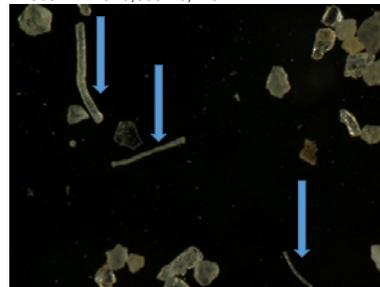
Alle Proben weisen bei gezieltem Suchen Partikel auf, die aufgrund ihrer länglichen Form, der glatten Struktur und der hellen Farbe bzw. Durchsichtigkeit als zerkleinerte Bestandteile von synthetischen Zuschlagstoffen interpretiert werden können (siehe blaue Pfeile der Beispielsbilder und Vv 4.2). Dies ist jeweils schon bei der ersten aus der Gesamtprobe für den Objektträger des Mikroskops reduzierten Teilprobe der Fall.

Organische Bestandteile sind nicht eindeutig zu erkennen bzw. zuzuordnen (siehe Vv 4.2). Ein Unterschied der Kornform des Sandes oder der Zuschlagstoffe (Abrieb) zwischen niedrig (N) und hoch (H) belasteten Proben ist nicht zu erkennen. Ein Maßstab ist den Bildern im Rahmen der Vorversuche nicht zugeordnet worden. Dies erfolgt bei den Hauptversuchen.

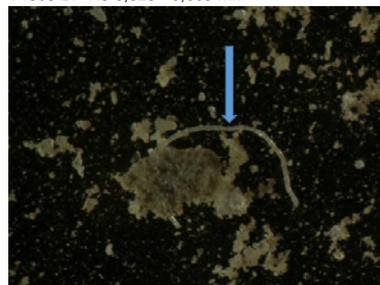
Probe DP N3 0,063 - 0,125 mm



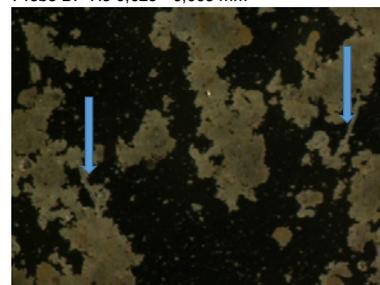
Probe DP H3 0,063 - 0,125 mm



Probe DP N3 0,025 - 0,063 mm



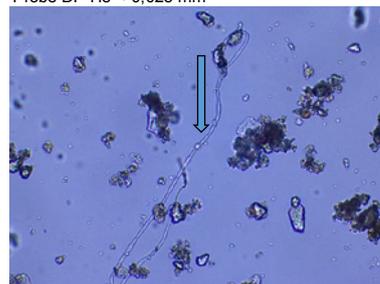
Probe DP H3 0,025 - 0,063 mm



Probe DP N3 < 0,025 mm



Probe DP H3 < 0,025 mm



Anlage 2: Vorversuch 4.2 Mikroskopie an bekannten reinen Einzelkomponenten

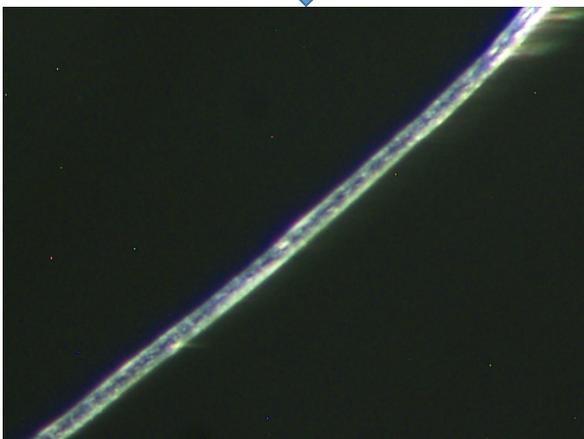
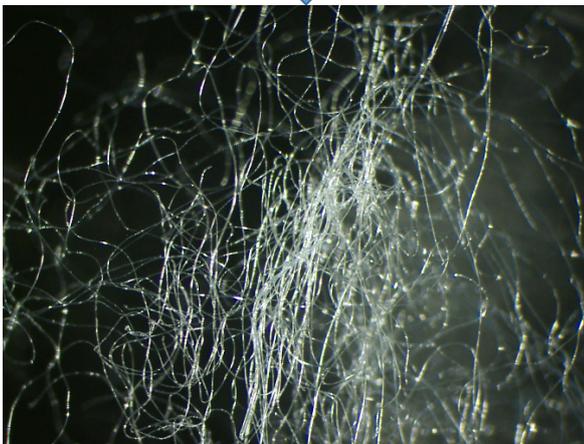
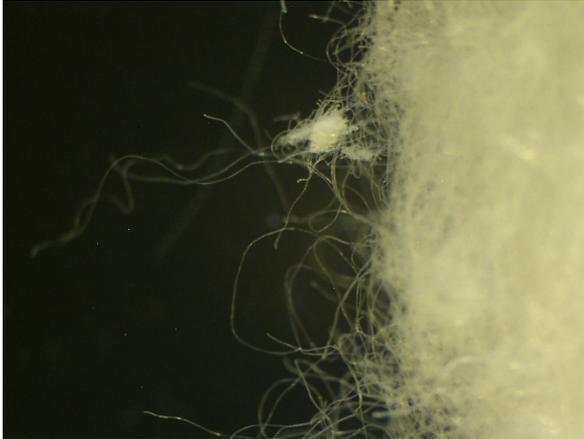
Die folgenden Aufnahmen zeigen Referenzbilder von im Labor vorliegenden reinen Ausgangsmaterialien: Synthetischer Zuschlagstoff (Vlies) und Pferdeäpfel (Organik).

Diese dienen der besseren Beurteilung der Mischproben.

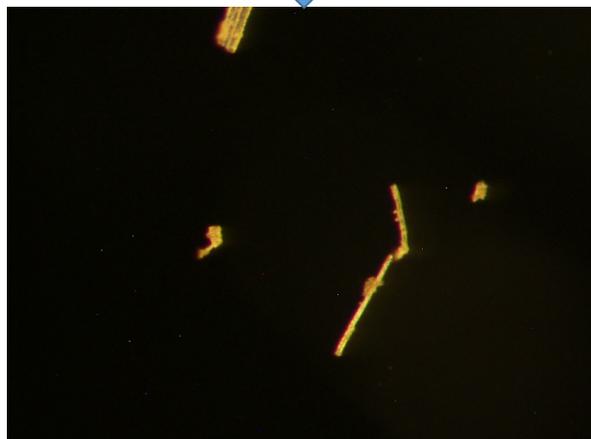
Die Zuschlagstoffe sind wie in Vv 4.1 bereits beschrieben anhand von Form, Struktur und Farbe deutlich zu erkennen. Die Pferdeäpfel liefern ein inhomogenes Bild.

Ein Maßstab ist den Bildern im Rahmen der Vorversuche nicht zugeordnet worden.

Vlies in zunehmender Vergrößerung



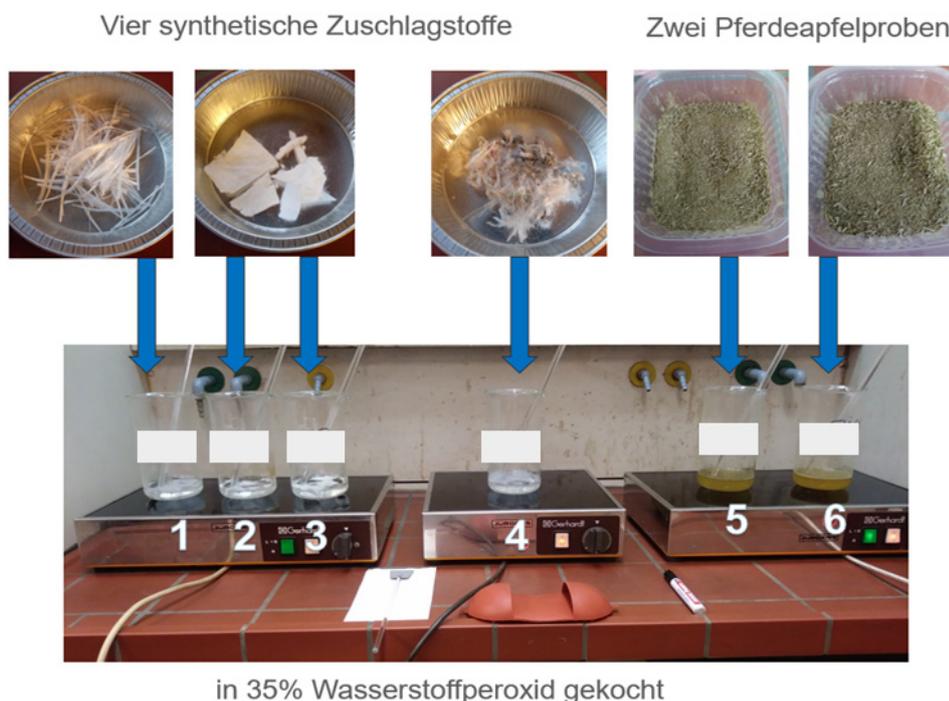
Pferdeäpfel in zunehmender Vergrößerung



Anlage 3: Vorversuch 5A.1 Verfahrenstest H₂O₂ an reinen Einzelkomponenten

Es sind 6 Einzelkomponenten getestet. Die folgende Abbildung mit den Einzelfotos dient der Veranschaulichung. Die Ergebnisse sind in der unteren Tabelle dargestellt. Diese sind sehr unterschiedlich und weichen verschiedentlich von den Annahmen/Erwartungen ab.

Deshalb ist die Spalte mit den Hinweisen und Anmerkungen eingefügt. Sie verdeutlicht die Schwierigkeiten des Verfahrens. Weitere Versuche, die diesbezüglich ggf. mehr Eindeutigkeit gebracht hätten, sind in diesem Vorhaben nicht durchgeführt worden.



Probenbezeichnung	Versuchsbeginn Masse [g]	Versuchsende Masse [g]	Differenz Masse [g]	Differenz [%]	Hinweise / Anmerkungen
1 Fäden	0,4979	0,5111	0,0132	+2,65	Gewichtszunahme statt (erwarteter) Massenkonstanz: Begründet möglicherweise durch Messungenauigkeiten oder Veränderungen in der "Struktur" des Kunststoffes.
2 Vlies	0,4840	0,3185	-0,1655	-34,19	Gewichtsabnahme statt (erwarteter) Massenkonstanz: Im Nachgang ist festgestellt worden, dass hier möglicherweise durch Verwendung einer geringfügig "feuchten" Probe ein Fehler im Versuch gemacht wurde. Dies würde die Differenz begründen.
3 Gewaschenes Vlies	0,4843	0,4867	0,0024	+0,50	Gewichtszunahme statt (erwarteter) Massenkonstanz: Begründet möglicherweise durch Messungenauigkeiten oder Veränderungen in der "Struktur" des Kunststoffes.
4 Kunststoff Mix	0,5219	0,4707	-0,0512	-9,81	Gewichtsabnahme statt (erwarteter) Massenkonstanz: Dies Material ist optisch sehr inhomogen. Die augenscheinlich verschiedenen Materialien könnten unterschiedlich reagieren. Dies würde die Differenz begründen.
5 Pferdeäpfel getrocknet bei 105°C	0,4841	0,0587	-0,4254	-87,87	Keine komplette Auflösung der Pferdeäpfel. Erwartet: 95 - 100 % Eine zur Klärung der weiteren Inhaltsstoffe durchgeführte Elementanalyse (TXRF-Spektroskopie) weist neben Salzen, die in Organismen zu erwarten sind, auch Elemente auf, die typischerweise in Kunststoffen oder Farbpigmenten Verwendung finden (Barium, Brom, Titan, Zinn). Dieser Versuch ist von Herrn Dinklage, Chemietechniker im Labor für Bodenschutz und -sanierung, durchgeführt und ausgewertet worden.
6 Pferdeäpfel getrocknet bei 60°C	0,4885	0,0682	-0,4203	-86,04	

Anlage 4: Vorversuch 5A.2 Verfahrenstest H₂O₂ an selbst zusammengestellter Mischprobe

Es sind zwei selbst zusammengestellte Mischproben auf das Verfahren H₂O₂ in Kombination mit anschließendem Verglühen getestet. Die Gesamtprobenmenge von 25 g wird als gut handhabbar beim H₂O₂ Verfahren eingeschätzt. Das Mischungsverhältnis wird wie folgt gewählt: Zuschlagstoffe (1g entspricht 4 %) und organische Bestandteile (0,5 g entspricht 2 %). Der Sand ist vor Verwendung im Versuch gegläht und somit gereinigt.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass das Verfahren grundsätzlich funktioniert, jedoch auch hier Ungenauigkeiten auftreten:

Diese belaufen sich beim Entzug der organischen Substanz bei beiden Proben auf ca. -5%, beim Verglühen auf ca. +0,5 % (Probe 1, Massenzunahme) und ca. -2 % (Probe 2). Den Differenzen wird an dieser Stelle wie schon in 5A.1 nicht durch weitere Versuche nachgegangen.

Hinweis:

Die Massendifferenz zwischen der Probe nach Versuchsende mit H₂O₂ und dem Versuchsbeginn Verglühen erklärt sich vermutlich aus Verlusten bei der Probenbehandlung und durch die Verwendung einer anderen Waage mit „nur“ 3 Nachkommastellen in einem anderen Labor.

Zusammenstellung der Mischprobe

Probenbezeichnung alle Massenangaben in [g]	Einwaage Mischsand	Einwaage Zuschlagstoff	Einwaage Pferdeäpfel	Summe Mischprobe Versuchs- beginn
1 Mischprobe Fäden	23,4909	1,0090	0,5058	25,0057
2 Mischprobe Vlies	23,4329	1,0129	0,4933	24,9391

Entfernung des organischen Materials mittels H₂O₂

Probenbezeichnung alle Massenangaben in [g]	Summe Mischprobe Versuchs- beginn	Summe Mischprobe Versuchsende H ₂ O ₂	Differenz Mischprobe (=Entfernte Organik)	Differenz Einwaage Pferdeäpfel (Versuchsverlust)
1 Mischprobe Fäden	25,0057	24,5241	0,4816	0,0242
2 Mischprobe Vlies	24,9391	24,4716	0,4675	0,0258

Entfernung des Zuschlagstoffes durch Verglühen bei 600 °C

Probenbezeichnung alle Massenangaben in [g]	Summe Mischprobe Versuchs- beginn	Summe Mischprobe Versuchsende Verglühen	Differenz Mischprobe (=Entfernter Zuschlagstoff)	Differenz Einwaage Zuschlagstoff (Versuchsverlust)
1 Mischprobe Fäden	24,451	23,436	1,015	-0,006
2 Mischprobe Vlies	24,409	23,419	0,990	0,023

Anlage 5: Vorversuch 6.1 Glühverlust an 4 verschiedenen reinen Zuschlagstoffen

Die Ergebnisse der Versuche sind in den vier folgenden Abbildungen dargestellt. Die Fotos zeigen das Material vor und nach dem Versuch.

Probe 1 Glühverlust 550 °C: 76,5 % (Folgeversuche aufgrund des geringen Wertes siehe S. 141)

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	1	1	2	3
Massenverlust	Δm_{gl}	0,423	0,704	0,457
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	0,517	0,914	0,648
Glühverlust 550 °C	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,818	0,770	0,705
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	76,5%		



Probe 2 Glühverlust 550 °C: 99,6 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	2	4	5	6
Massenverlust	Δm_{gl}	0,626	0,650	0,856
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	0,629	0,652	0,859
Glühverlust 550 °C	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,995	0,997	0,997
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	99,6%		



Probe 3 Glühverlust 550 °C: 99,7 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	3	7	8	9
Massenverlust	Δm_{gl}	0,890	0,650	0,650
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	0,892	0,651	0,654
Glühverlust 550 °C	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,998	0,998	0,994
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	99,7%		



Probe 4 Glühverlust 550 °C: 98,8 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	4	10	11	12
Massenverlust	Δm_{gl}	0,690	0,802	0,471
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	0,700	0,807	0,479
Glühverlust 550 °C	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,986	0,994	0,983
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	98,8%		



Aufgrund des geringen Glühverlustes von Probe 1 bei 550 °C ist diese zunächst schrittweise bei 700 °C und 800 °C weiter verglüht worden, um zu sehen, ob und in welchem Ausmaß sich eine Veränderung einstellt.

Die folgenden zwei Tabellen zeigen die Ergebnisse.

Probe 1 Glühverlust 550 °C-700 °C: 20,1 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	1	1	2	3
Massenverlust $\Delta m_{gl\ 550-700}$		0,028	0,032	0,034
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_{550}		0,098	0,219	0,199
Glühverlust 550 °C - 700 °C $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_{550}}$		0,286	0,146	0,171
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	20,1%		



Probe 1 Glühverlust 700 °C-800 °C: 34,7 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	1	1	2	3
Massenverlust $\Delta m_{gl\ 700-800}$		0,022	0,068	0,060
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_{700}		0,070	0,187	0,165
Glühverlust 700 °C - 800 °C $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_{700}}$		0,314	0,364	0,364
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	34,7%		



keine weitere

 offensichtliche
 optische Veränderung



Weiterhin sind zur Kontrolle zwei Proben des Materials direkt bei 800 °C verglüht worden.

Auch bei 800 °C wird kein vollständiges Verglühen erreicht. Die Temperatur ist aufgrund der erreichten Leistungsfähigkeit des Ofens nicht weiter erhöht worden.

Proben 1 A und 1 B Glühverlust 800 °C: 87,2 % bzw. 87,5 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	1 A	1	2	3
Massenverlust Δm_{gl}		0,469	0,795	0,543
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen m_d		0,517	0,914	0,648
Glühverlust 800 °C $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$		0,907	0,870	0,838
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	87,2%		

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	1 B	100	18	33
Massenverlust Δm_{gl}		0,435	0,528	0,593
Trockenmasse des Probe vor dem Glühen m_d		0,479	0,599	0,711
Glühverlust 800 °C $V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$		0,908	0,881	0,834
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	87,5%		



Optisch gleiches
Erscheinungsbild



bei beiden Proben
1 A und 1 B



Anlage 6: Vorversuch 6.2 Glühverlust an 2 verschiedenen reinen Reitsanden (ohne Zuschlagstoffe)

Hierfür erfolgt eine weitere Probenahme auf zusätzlichen Plätzen, die nicht in der Gesamtübersicht (vgl. Kapitel 3, Tab. 1) enthalten sind.

Im ersten Schritt sind die Proben in ihrer Gesamtheit verglüht worden, die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

Probe 1 Glühverlust 550 °C gesamt: 0,9 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	Reitsand 1 Außenplatz	1	2	3
Massenverlust	Δm_{gl}	0,068	0,077	0,084
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	8,798	8,953	9,590
Glühverlust	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,008	0,009	0,009
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	0,9%		

Probe 2 Glühverlust 550 °C gesamt: 2,5 %

Probenbezeichnung / Behälternummer: Alle Massenangaben in [g]	Reitsand 2 Halle	4	5	6
Massenverlust	Δm_{gl}	0,276	0,450	0,373
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	10,709	18,539	15,019
Glühverlust	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d}$	0,026	0,024	0,025
Glühverlust: Mittelwert [%]	V_{gl}	2,5%		

Im zweiten Schritt sind Proben zunächst gesiebt und anschließend die Teilproben der Siebrückstände verglüht worden.

Dies liefert folgende Ergebnistabellen:

Probe 1 Glühverlust 550 °C nach Siebrückständen

Probenbezeichnung / Sieb:	Reitsand 1	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25
Alle Massenangaben in [g]	Außenplatz							
Massenverlust	Δm_{gl}	0,726	0,046	0,225	0,222	0,013	0,023	0,044
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	10,391	8,817	66,723	58,835	1,898	2,551	5,588
Glühverlust [%]	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	7,0%	0,5%	0,3%	0,4%	0,7%	0,9%	0,8%

Probenbezeichnung / Sieb:	Reitsand 1	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]	Außenplatz							
Massenverlust	Δm_{gl}	0,019	0,025	0,009	0,035	0,066	0,136	1,589
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	1,510	1,286	0,334	1,114	2,159	3,294	164,500
Glühverlust [%]	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	1,3%	1,9%	2,7%	3,1%	3,1%	4,1%	1,0%

Probe 2 Glühverlust 550 °C nach Siebrückständen

Probenbezeichnung / Sieb:	Reitsand 2	Schale	0,063	0,09	0,125	0,18	0,2	0,25
Alle Massenangaben in [g]	Halle							
Massenverlust	Δm_{gl}	2,460	0,058	0,650	0,928	0,073	0,094	0,188
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	23,024	5,874	91,518	103,598	3,111	3,449	4,886
Glühverlust [%]	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	10,7%	1,0%	0,7%	0,9%	2,3%	2,7%	3,8%

Probenbezeichnung / Sieb:	Reitsand 2	0,4	0,5	0,63	0,71	1	2	Gesamt (Summe)
Alle Massenangaben in [g]	Halle							
Massenverlust	Δm_{gl}	0,101	0,153	0,066	0,203	0,290	0,129	5,393
Trockenmasse der Probe vor dem Glühen	m_d	1,430	1,260	0,383	1,011	1,136	0,794	241,474
Glühverlust [%]	$V_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \times 100$	7,1%	12,1%	17,2%	20,1%	25,5%	16,2%	2,2%

Kapitel 5

Anlage 1: Fragebogen Humanmedizin

Die Hochschule Osnabrück führt mit Unterstützung des Bundesinstituts für Sportwissenschaft ein Forschungsvorhaben durch, das sich mit synthetischen Zuschlagstoffen auf Reitplätzen beschäftigt. Die Tretschicht besteht in den meisten Fällen aus Sand, wobei Quarzsand aufgrund seiner Widerstandsfähigkeit gerne Verwendung findet. Da es nur wenige Sande gibt, die optimale Eigenschaften für den Reitsport bieten, werden diese häufig mit Zuschlagstoffen vermischt.

Zuschlagstoffe dienen der Verbesserung der sportfunktionellen Eigenschaften, z. B. hinsichtlich Trittfestigkeit und Wasserbindung sowie Kraftabbau und Energierückgewinnung. Hier werden unterschiedlichste Materialien verwendet.

Neben klassischen Holzhäckseln sind synthetische Vlieshäcksel oder Fäden aus Polypropylen (PP) oder Polyester wie Polyethylenterephthalat (PET) am stärksten verbreitet. Allerdings ist leider sehr häufig nicht dokumentiert, um welche Kunststoffe es sich konkret handelt und ob ggf. Additive enthalten sind, Flammschutzmittel, Weichmacher, Klebstoffe etc.

In ersten Siebungen konnte festgestellt werden, dass der synthetische Zuschlagstoff durch die Nutzung zerkleinert wird und auch in der Siebgröße $< 0,025$ mm noch vorhanden ist. Je nach Pflegezustand und Nutzungsintensität ist damit zu rechnen, dass Stäube aus Quarz und Kunstfasern entstehen.

Der Projektleitung und dem Projektbeirat sind kaum wissenschaftliche Erkenntnisse zu möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit der Reiter und Pferde bekannt. Daher hier nachstehend folgende Fragen:

1. Kennen Sie aus Ihrer Praxis oder aus der Literatur Fälle von Krankheitsbildern bei Reitern bzw. Reiterinnen, die auf Staubbelastungen aus dem Reitplatz oder der Reithalle zurückzuführen sind?
2. Die nachgewiesenen Kunstfasern können durch die Siebung auf den Durchmesser von $< 0,025$ mm festgelegt werden. Ihre Länge betrug in jedem Fall ein Vielfaches ihres Durchmessers.
 - a. Inwieweit wirkt sich die Form auf die Einatembarkeit aus?
 - b. Im Arbeitsschutz ist vom aerodynamischen Durchmesser die Rede, lässt sich der Parameter auf unsere Messungen übertragen?
3. Wie hoch schätzen Sie das Risiko ein, dass die Zuschlagstoffpartikel eingeatmet werden können oder sogar lungengängig sind? Welche Konsequenzen wären daraus zu erwarten?
4. Bisher ist die Beschaffenheit der Kunststoffe nur wenig reglementiert. Welche Auswirkungen hätte es für die menschliche Gesundheit, wenn Zuschlagstoffe zum Beispiel mit Kleberresten, Brandhemmern oder Weichmachern verwendet werden?
5. Welchen Unterschied würde die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen mit sich bringen?
6. Ist ein Risiko von den entstehenden Quarzstäuben zu erwarten?
7. Wie schätzen Sie in Bezug auf die Risikobewertung die zeitliche Aufenthaltsdauer auf dem Reitplatz ein?
8. Haben Sie Vorschläge, um das Risiko Partikel einzuatmen möglichst gering zu halten?
9. Gibt es eine Person oder Einrichtung, die wir Ihrer Meinung nach unbedingt zu diesem Thema ansprechen sollten?

Anlage 2: Fragebogen Veterinärmedizin

Die Hochschule Osnabrück führt mit Unterstützung des Bundesinstituts für Sportwissenschaft ein Forschungsvorhaben durch, das sich mit synthetischen Zuschlagstoffen auf Reitplätzen beschäftigt. Die Tretschicht besteht in den meisten Fällen aus Sand, wobei Quarzsand aufgrund seiner Widerstandsfähigkeit gerne Verwendung findet. Da es nur wenige Sande gibt, die optimale Eigenschaften für den Reitsport bieten, werden diese häufig mit Zuschlagstoffen vermischt.

Zuschlagstoffe dienen der Verbesserung der sportfunktionellen Eigenschaften, z. B. hinsichtlich Trittfestigkeit und Wasserbindung sowie Kraftabbau und Energierückgewinnung. Hier werden unterschiedlichste Materialien verwendet.

Neben klassischen Holzhäckseln sind synthetische Vlieshäcksel oder Fäden aus Polypropylen (PP) oder Polyester wie Polyethylenterephthalat (PET) am stärksten verbreitet. Allerdings ist leider sehr häufig nicht dokumentiert, um welche Kunststoffe es sich konkret handelt und ob ggf. Additive enthalten sind, Flammschutzmittel, Weichmacher, Klebstoffe etc.

In ersten Siebungen konnte festgestellt werden, dass der synthetische Zuschlagstoff durch die Nutzung zerkleinert wird und auch in der Siebgröße $< 0,025$ mm noch vorhanden ist. Je nach Pflegezustand und Nutzungsintensität ist damit zu rechnen, dass Stäube aus Quarz und Kunstfasern entstehen.

Der Projektleitung und dem Projektbeirat sind kaum wissenschaftliche Erkenntnisse zu möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit der Reiter und Pferde bekannt. Daher hier nachstehend folgende Fragen:

1. Sind Ihnen Krankheitsbilder bekannt, die auf die Reitböden zurückzuführen sind?
2. Auf welche Eigenschaften des Reitbodens sind diese zurückzuführen?
3. Spielen synthetische Zuschlagstoffe eine Rolle? Wenn ja, welche?
4. Gibt es Unterschiede in den Beeinträchtigungen in den Disziplinen Dressur und Springen?
5. Können Erkrankungen der Atemwege auch durch ein erhöhtes Staubaufkommen auf den Reitplätzen hervorgerufen werden? Wenn ja, wie schätzen Sie diesen Auslöser in Relation zum Staubaufkommen im Stall oder in der sonstigen Umwelt des Pferdes ein?
6. Ist bekannt, welche Art von Stäuben besonders gefährlich sind (Material / Größe)?
 - 6.1 Haben Sie Erfahrungen betreffend der Stäube von synthetischen Zuschlagstoffen?
 - 6.2 Lassen sich die Staubpartikel durch den Lungenspezialisten auseinanderhalten bzw. getrennt bewerten?
 - 6.3 Sind evtl. einschlägige Untersuchungen bekannt?
7. Wenn Staubbelastungen auf Reitplätzen ein Risikofaktor sind, was sollte getan werden, um die Staubbelastung zu verringern?
8. Kennen Sie Personen, die wir Ihrer Meinung nach zu diesem Thema noch ansprechen sollten?

Literatur

- Bailey, C. J., Reid, W. J., Hofgson, D. R., Bourke, J. M., & Rose, R. J. (1998). Flat, hurdle and steeple racing: risk factors for musculo-skeletal injury. *Equine Veterinary Journal*, 30(6), 498-503.
- Barrey, E., Landjerit, B., & Wolter, R. (1991). Shock and Vibration during Hoof Impact on Different Track Surfaces; Evaluation of a Shock Absorbing Woodchip Layer on a Harness Race-track. *Equine Exercise Physiology* 3, 97-106.
- Baur, E., Brinkmann, S., Osswald, T. A., & Schmachtenberg, E. (2013). *Saechtling Kunststoff Taschenbuch*. 31., [komplett überarb., aktualisierte] Auflage. Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446437296>
- Beier, W. (2009). *Biologisch abbaubare Kunststoffe*. Hrsg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>
- Bergkemper, Mario (2021). *Analyse der Emissionswege synthetischer Zuschlagstoffe aus der Sand-Trettschicht von Reitplätzen im Freien* [Bachelorarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- Bertling, J., Hamann, L., & Bertling, R. (2018). *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik: Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen*. Oberhausen. <https://doi.org/10.24406/UMSICHT-N-497117>
- Beth-Hübner, M. (2010). *Toxikologie und Bewertung der Gesundheit*. Deggendorf: Vortrag, Forum Arbeitsmedizin, 2010. www.rg-web.de/download/346/beth-hubner.pdf Zitiert in Breithaupt 2011
- Blundell, E., Northrop, A. J., Owen, A. G., & Lumsden, P. J. (2010). The short and long-term changes in mechanical properties of a synthetic equestrian surface. *International Society of Equitation Science Annual Conference*, Uppsala, Sweden, 44. Zitiert in Lewis et al. 2015
- Breithaupt, M. (2011). *Zuschlagstoffe im Reitplatzbau: Konzept zur Ermittlung luftgetragener Partikel aus Trettschichten in Reithallen* [Diplomarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- Bulfin, K., Cowie, H., Galea, K. S., Connolly, A., & Coggins, M. A. (3. September 2019). Occupational Exposures in an Equestrian Centre to Respirable Dust and Respirable Crystalline Silica: Quarzsand auf Reitplätzen kann Lungenkrebsrisiko erhöhen. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, S. 1-7. Abruf unter www.mdpi.com/journal/ijerph
- Chateau, H., Holden, L., Robin, D., Falala, S., Pourcelot, P., Estoup, P., Denoix, J.-M., & Crevier-Denoix, N. (2010). Biomechanical analysis of hoof landing and stride parameters in harness trotter horses running on different tracks of a sand beach (from wet to dry) and on an asphalt road. *Equine Veterinary Journal. Supplement* 38, 488-495. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00277.x>
- Chateau, H., Robin, D., Falala, S., Pourcelot, P., Valette, J. P., Ravary, B., Denoix, J. M., & Crevier-Denoix, N. (2009). *Effects of a synthetic all-weather waxed track versus a crushed sand track on 3D acceleration of the front hoof in three horses trotting at high speed* (Nr. 3). <https://doi.org/10.2746/042516409x394463>
- Cheney, J., Shen, C., & Wheat, J. (1973). Relationship of Racetrack surface to lameness in the Thoroughbred racehorse. *American Journal of Veterinary Research*, 34, 1285-1289. Zitiert in Ratzlaff et al. 2005.

- Chiffard, P., Opp, C., & Weber, C. (2021). Anreicherung von Plastikpartikeln in Auenböden. *Wasser und Abfall* (05/2021).
- Clayton, H. M. (1996). Instrumentation and techniques in locomotion and lameness. *Veterinary Clinics of North America-Equine Practice*, 12, 337-350 zitiert in Kruse 2012, S. 11
- Crevier-Denoix, N., Ravary-Plumioën, B., Vergari, C., Camus, M., Holden-Douilly, L., Falala, S., Jerbi, H., Desquilbet, L., Chateau, H., Denoix, J.-M., & Pourcelot, P. (2013). *Comparison of superficial digital flexor tendon loading on asphalt and sand in horses at the walk and trot*. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.047>
- Dold, A. (2017). *Leitfaden zum Reitplatzbau*. Ulmer.
- Domininghaus, H., Elsner, P., Eyerer, P., & Hirth, T. (2012). *Kunststoffe. Eigenschaften und Anwendungen*. 8., neu bearb. und erw. Aufl. Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10655075>
- Drevemo, S., & Hjertén, G. (1991). Evaluation of a Shock Absorbing Woodchip Layer on a Harness Race-track. *Equine Exercise Physiology*, 3, 107-112.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 256-536. Zitiert in UBA, Dezember 2020.
- Falaturi, P. H., (1998). *Kenngrößen und Regeln der vierbeinigen Fortbewegung am Beispiel des Pferdes*. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1998. Ed. Schürer.
- Fugazzola, M., & Ohnesorge, B. (2009). Wie beeinflussen Einstreu und Futter die Lungenfunktion – Anhaltspunkte zur Haltungsoptimierung. *Pferdespiegel*, 12(04), 164-168.
- Grathwohl, P., Schnug, E., Köpke, U., & Fischer, J.-U. (Dezember 2020). *Plastik und andere persistente „neue“ Stoffe im Boden: Weitere Herausforderungen im Bodenschutz*. Position der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU). Abruf unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/kbu_plastik_u_andere_persistente_neue_stoffe_bf.pdf
- Gustås, P., Johnston, C., & Drevemo, S. (2006a). Ground reaction force and hoof deceleration patterns on two different surfaces at the trot. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 3(4), 209-216. <https://doi.org/10.1017/S147806150667607X>
- Gustås, P., Johnston, C., Hedenström, U., Roepstorff, L., & Drevemo, S. (2006b). A field study on hoof deceleration at impact in Standardbred trotters at various speeds. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 3(3), 161-168. <https://doi.org/10.1017/ECP200694>
- Gustås, P., Johnston, C., Roepstorff, L., & Drevemo, S. (2001). In vivo transmission of impact shock waves in the distal forelimb of the horse. *Equine Veterinary Journal*, 11-15.
- Gustås, P., Johnston, C., Roepstorff, L., Drevemo, S., & Lanshammar, H. (2004). Relationships between fore- and hindlimb ground reaction force and hoof deceleration patterns in trotting horses. *Equine Veterinary Journal*, 737-742.
- Hansmann, H. (November 2016). *Entwicklung eines Verfahrens zur Abtrennung von Quarzsand und textilen Bestandteilen aus humosen, verbrauchten Reitböden*. Abschlussbericht zum Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 32398 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.
- Hansmann, H., Dietze, K., & Stuckenberg, R. (März 2020). *Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Aufbereitung umweltbelastender verbrauchter Reitböden für neuartige biologisch verträgliche Reitschichten*. Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Heinrich, T., Hemker, O., & Große Erdmann, P. (2010). *Qualität und Dauerhaftigkeit von Reitplatzaufbauten: Sportfunktionale und bodenmechanische Betrachtungen unter den Gesichtspunkten Nutzung, Alterung und Horizontbildung der Reitplätze*. EFRE Forschungsbericht, Osnabrück. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur.

- Heinrich, T., & Vornholt, C. (2014). Von allen Seiten betrachtet: Was haben High-Speed Kameras, Hornspalten und Reitergefühl gemeinsam? Sie alle lassen Rückschlüsse auf den Reitboden zu. Welche das sind, wurde bei der internationalen Vortragsreihe Reitböden, veranstaltet vom Horse Competence Center Germany (HCCG) und der Hochschule Osnabrück diskutiert. *St. Georg Spezial*(1), 108-109.
- Henneböhl, T., & Ziemann, L. (2010). *Wasserhaltefähigkeit und Wasserdurchlässigkeit von Zuschlagstoffen für den Reitplatz* [Hausarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- Hernlund, E., Egenvall, A., Hobbs, S. J., Peterson, M. L., Northrop, A. J., Bergh, A., Martin, J. H., & Roepstorff, L. (2017). Comparing subjective and objective evaluation of show jumping competition and warm-up arena surfaces. *The Veterinary Journal*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.09.001>
- Hobbs, S. J., Northrop, A. J., Mahaffey, C., Martin, Jaime, H., Clayton, H., Murray, R., Peterson, M. 'M.', & Roepstorff, L. (2014). *EQUINE SURFACES WHITE PAPER*: This white paper has been drafted as a collection of published scientific papers and data. It is considered a work in progress and will be updated as new scientific studies and surface data become available. University of Central Lancashire; Anglia Ruskin University; Racing Surfaces Testing Laboratory; Myerscough College; Michigan State University; Animal Health Trust; Swedish University of Agricultural Sciences; University of Maine. Abruf unter <https://inside.fei.org/system/files/Equine%20Surfaces%20White%20Paper.pdf>
- Holt, D. (2013). *Investigation of Equestrian Arena Surface Properties and Rider Preferences* [Masterthesis]. University of Central Lancashire.
- Holt, D., Northrop, A., Owen, A., Martin, J., & Hobbs, S. J. (2014). *Use of Surface Testing Devices to Identify Potential Risk Factors for Synthetic Equestrian Surfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.160>
- Hoppe, A. M. (2007). *Laufverhalten von Pferden auf unterschiedlichen Bodenbelägen* [Diplomarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- Kai, M., Takahashi, T., Aoki, O., & Oki, H. (1999). Influence of rough track surfaces on components of vertical forces in cantering Thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal. Supplement* (30), 214-217.
- Kranert, M. (2020). *Mikrokunststoffe in Produkten aus Bioabfall: – Einträge in Böden. Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem für unsere Böden, oder nur falscher Alarm?* Abruf unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/dokumente/05_kranert_mikrost.pdf
- Kreis, L., Zollinger, A., & Niederhäusern, R. v. (2019). *Herausforderungen im Reitplatzbau: Wahl der Tretschicht und Tipps zur Pflege*. Agroscope – Schweizer Nationalgestüt SNG.
- Kruse, L. (2012). *Analyses of stress on the locomotor apparatus of sport horses caused by various riding surfaces: Untersuchungen zur Belastung des Bewegungsapparates von Sportpferden* [Dissertation]. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Kiel.
- Lechthaler, S. (2020). *Makroplastik in der Umwelt. Betrachtung terrestrischer und aquatischer Bereiche*. [1. Auflage]. Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials).
- Lewis, K., Northrop, A. J., Crook, G. M., Mather, J., Martin, J. H., Holt, D., Clayton, H. M., Roepstorff, L., Peterson, M. 'M.' L., & Hobbs, S. J. (2015). *Comparison of equipment used to measure shear properties in equine arena surfaces* (Nr. 9). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.006>
- Lönnel, C., & Hernlund, E. (April 2014). *Equestrian surfaces – A guide*. Swedish Equestrian Federation; Swedish University of Agricultural Sciences. Abruf unter https://inside.fei.org/system/files/Equestrian_Surfaces-A_Guide.pdf

- Lühe, T., Mielenz, N., Schulz, J., Dreyer-Rendelsmann, C., & Kemper, N. (2015). Factors associated with dust dispersed in the air of indoor riding arenas. *Equine Veterinary Journal*, 49, S. 73-78.
- Mathews, J., Feldwisch, N., Friege, H., & König, W. (Januar 2021). *Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem oder nur falscher Alarm?* Fachtagung der Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) zum Weltbodentag 2020 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Botschaften. Abruf unter <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/ergebnispapier-zur-kbu-tagung-2020>
- Mattenklott, M., & Höfert, N. (2009). Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. *DGUV Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, 4, 127–129.
- McClinchey, H. L., Thomason, J. J., & Runciman, R. J. (2004). Grip and Slippage of the Horse's Hoof on Solid Substrates measured ex Vivo. *Biosystems Engineering*, 89(4), 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.08.004>
- Moldrickx, K. (2021). *Untersuchungen zur Zusammensetzung von Tretschichten auf Reitplätzen* [Masterarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- Murray, R. C., Walters, J. M., Snart, H., Dyson, S. J., & Parkin, T. D. H. (2010). *Identification of risk factors for lameness in dressage horses* (Nr. 1). <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2009.03.020>
- Pardoe, C. H., McGuigan, M. P., Rogers, K. M., Rowe, L. L., & Wilson, A. M. (2001). The effect of shoe material on the kinetics and kinematics of foot slip at impact on concrete. *Equine Veterinary Journal*, 33, 70-73.
- Peterson, M. (2015). *Biomechanical Hoof Tester*. Hg. v. Biologically Applied Engineering. Online verfügbar unter <http://www.bioappeng.com/Horse/OBST.html>
- Pirie, R. S., Dixon, P. M., & McGorum, B. C. (2002). Evaluation of nebulised hay dust suspensions (HDS) for the diagnosis and investigation of heaves. 3: Effect of fractionation of HDS. *Equine Veterinary Journal*, 34, 343-347. Zitiert in Fugazzola & Ohnesorge 2009.
- Plapp, S. (2017). *Untersuchung und Vergleich von Reitböden internationaler Hallenreitturniere in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Aussagekräftigkeit der Ergebnisse des Leichten Fallgewichtsgeschäfts* [Bachelorarbeit]. Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen, Geislingen, Fakultät Agrarwirtschaft, Volkswirtschaft und Management, Nürtingen.
- Rapp, H. J., Weiß, R., Bockisch, F.-J., Becker, M., & Stechele, M. (1991). Untersuchungen in Reithallen und an verschiedenen Reitbahnbelägen unter dem Aspekt der Atemwegsbelastung beim Pferd: Lufthygienische Untersuchungen in Reithallen. Aus der Auwald-Tierklinik, Bobingen, dem Institut für Hygiene und Infektionskrankheiten der Tiere und dem Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen. *Tierärztliche Praxis*, 19, 74-81. F. K. Schattauer Verlagsgesellschaft mbH.
- Ratzlaff, M. H., Wilson, P. D., Hutton, D. V., & Slinker, B. K. (2005). Relationships between hoof-acceleration patterns of galloping horses and dynamic properties of the track (Nr. 4). *American Journal of Veterinary Research*. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.589>
- Ryan, C. T., Schaer, B. L. D., & Nunamaker, D. M. (2006). A novel wireless data acquisition system for the measurement of hoof accelerations in the exercising horse. *Equine Veterinary Journal*, 38(7), 671-674. <https://doi.org/10.2746/042516406x156361>
- Skowronek, H., & Hertsch, B. W. (2003). *Einfluss des Geläufs bei „Großen Vielseitigkeitsprüfungen“ auf die Abbruchhäufigkeit*. Freie Universität Berlin Publikationsdatenbank. Freie Universität Berlin. Abruf unter <https://bib.vetmed.fu-berlin.de/pubdb/pub/9219-einfluss-des-gelaufs-bei-groessen-vielseitigkeitspruefungen-auf-d/>

- UBA (Dezember 2020). *Kunststoffe in Böden: Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen*. www.Umweltbundesamt.de. Abruf unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/factsheet_kunststoffe_in_boeden.pdf
- UBA (Hrsg.). (2018): *Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer-kunststoffe>
- van der Heijden, R. (2018). *Engineered Equestrian Riding Surfaces* [Masterthesis]. University of New Hampshire, Durham, Durham. Abruf unter <https://scholars.unh.edu/thesis/1196>
- Vornholt, C. (2013). *Möglichkeiten der Elastizitätsbeeinflussung von Reitböden: Die Notwendigkeit einer elastischen Tretschicht und Umsetzungsansätze* (1. Aufl.). AV Akademikerverlag.
- Wälinder, R., Riihimäki, M., Bohlin, S., Hogstedt, C., Nordquist, T., Raine, A., Pringle, J., & Elfman, L. (2011). Installation of mechanical ventilation in a horse stable: effects on air quality and human and equine airways. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 16(4), 264-272. <https://doi.org/10.1007/s12199-010-0195-5>
- Williams, R. B., Harkins, L. S., Hammond, C. J., & Wood, J. L. N. (2001). Racehorse injuries, clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from flat racing and National Hunt racing during 1996, 1997 and 1998. *Equine Veterinary Journal*, 33(5), 478-486.
- Ziemann, L. (2010). *Zuschlagstoffe im Reitplatzbau: Pilotprojekt zu den sportfunktionalen Auswirkungen auf die Tretschichteigenschaften* [Bachelorarbeit]. Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Osnabrück.
- ## Regelwerke
- DIN 4019:2015-05, Baugrund – Setzungsberechnungen
- DIN 18035-5:2021-03, Sportplätze – Teil 5: Tennisflächen
- DIN 18035-7:2019-12, Sportplätze – Teil 7: Kunststoffrasensysteme
- DIN 18127:2012-09, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch
- DIN 18128:2002-12, Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes
- DIN 18134:2012-04, Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch
- DIN 31051:2019-06, Grundlagen der Instandhaltung
- DIN EN 12503-3:2001-07, Sportmatten – Teil 3: Judomatten; Sicherheitstechnische Anforderungen (EN 12503-3:2001)
- DIN EN 13432:2000-12, Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau – Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen (EN 13432:2000)
- DIN EN 14808:2006-03, Sportböden – Bestimmung des Kraftabbaus (EN 14808:2005)
- DIN EN 17033:2018-03, Kunststoffe – Biologisch abbaubare Mulchfolien für den Einsatz in Landwirtschaft und Gartenbau – Anforderungen und Prüfverfahren (EN 17033:2018)
- DIN EN ISO 3451-1:2019-05, Kunststoffe – Bestimmung der Asche – Teil 1: Allgemeine Verfahren (ISO 3451-1:2019)
- DIN EN ISO 4892-3:2016-10, Kunststoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten – Teil 3: UV-Leuchtstofflampen (ISO 4892-3:2016)
- DIN EN ISO 9001:2015-11, Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2015)
- DIN EN ISO 13934-1:2013-08, Textilien – Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden – Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch (ISO 13934-1:2013)

- DIN EN ISO 14040:2021-02, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020)
- DIN EN ISO 17892-1:2015-03, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts (ISO 17892-1:2014)
- DIN EN ISO 17892-4:2017-04, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung (ISO 17892-4:2016)
- ISO 9073-3:1989-07, Textilien; Prüfverfahren für Vliesstoffe; Teil 3: Bestimmung der Höchstzugkraft und der Höchstzugkraftdehnung (ISO 9073-3:1989)
- FLL (Hrsg.) (2014). *Reitplatzempfehlungen: Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Reitplätzen* (2. Ausg. Februar 2014). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012-00-00). *Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) - Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit leichtem Fallgewichtsgerät (TP BF - StB FGSV 591/B 8.3, TP BF-StB)*. FGSV Verlag GmbH.
- RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (Mai 2018). *Kunststoffrasensysteme in Sportfreianlagen – Gütesicherung (RAL-GZ 944)* Beuth Verlag GmbH.

In der Umfrage (Kapitel 2) wird auf verschiedene Quellen Bezug genommen. Der aktuelle Stand ist:

67/548/EG

Richtlinie 67/548/EWG des Rates vom 27. Juni 1967 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe (Nicht mehr in Kraft, Datum des Endes der Gültigkeit: 31/05/2015)

91/155/EWG

Richtlinie 91/155/EWG der Kommission vom 5. März 1991 zur Festlegung der Einzelheiten eines besonderen Informationssystems für gefährliche Zubereitungen gemäß Artikel 10 der Richtlinie 88/379/EWG des Rates

(Nicht mehr in Kraft, Datum des Endes der Gültigkeit: 31/05/2007)

1272/2008/EG

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

1907/2006/EG (REACH)

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission

1999/45/EG

Richtlinie 1999/45/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 31. Mai 1999 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Zubereitungen

2001/58/EG

Richtlinie 2001/58/EG der Kommission vom 27. Juli 2001 zur zweiten Änderung der Richtlinie 91/155/EWG zur Festlegung der Einzelheiten eines besonderen Informationssystems für gefährliche Zubereitungen gemäß Artikel 14 der Richtlinie 1999/45/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates und für gefährliche Stoffe gemäß Artikel 27 der Richtlinie 67/548/EWG des Rates (Sicherheitsdatenblätter)

(Nicht mehr in Kraft, Datum des Endes der Gültigkeit: 31/05/2007)

BBodSchV

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

Persönliche Gespräche

Kapitel 3

Dinklage, Stephan (mehrere Termine von November 2020 - März 2021). Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Chemietechniker im Labor für Bodenschutz und -sanierung.

Petersen, Svea, Prof. Dr. (28. Januar 2021). Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Fachgebiet Chemie und Oberflächenmodifikation polymerer Biomaterialien.

Kapitel 5

Ohnesorge, Bernhard, Apl. Prof. Dr. (11. Februar 2021), Tierärztliche Hochschule Hannover

Schusser, Gerald Fritz, Prof. Dr. Dipl. ECEIM (01. Februar 2021), ehemals Universität Leipzig

Swagemakers, Jan-Hein, Dr. (18. März 2021), Tierklinik Lüsche

Kapitel 6

Dinklage, Stephan (mehrere Termine von November 2020 - März 2021). Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Chemietechniker im Labor für Bodenschutz und -sanierung.

Petersen, Svea, Prof. Dr. (28. Januar 2021). Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Fachgebiet Chemie und Oberflächenmodifikation polymerer Biomaterialien.

Susoff, Markus Lothar, Prof. Dr. (28. Januar 2021). Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Fachgebiet Kunststofftechnik, insbesondere Polymerphysik und Kunststoffprüfung.

Verwendete Fach-Software

Kapitel 3

GGU-Software, Campus-Lizenz der Hochschule Osnabrück über Civilserve GmbH

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 1

Abb. 1:	Musculoskelettale Verletzungen (je 1000 Starts) nach Renntyp und Tretschichtbeschaffenheit (Williams et al., 2001, S. 483, verändert d. Verf.)	12
Abb. 2:	Kraftabbau (R) und Energierückgewinnung (ER) eines Sandes mit unterschiedlichen Zuschlagstoffen und Mischungsverhältnissen im Laborversuch (Heinrich et al., 2010, S. 159, verändert d. Verf.)	21
Abb. 3:	Vergleich der Scherfestigkeit bei verschiedenen Anteilen und Arten an Zuschlagstoff (Heinrich et al., 2010, S. 161)	22
Abb. 4:	Vergleich der Versuchsergebnisse der Messreihen (Heinrich et al., 2010, S. 162)	22
Abb. 5:	Polyestervlieshäcksel (7,5-fach vergrößert) links vor der Beanspruchung, rechts nach der Beanspruchung (Heinrich et al., 2010, S. 158)	23
Abb. 6:	Übersicht über die sportfunktionellen Begriffe der Reitplatzempfehlungen der FLL (2014)	24
Abb. 7:	Zusammenhang beschreibender Parameter der Trittfestigkeit	25
Abb. 8:	Eine Methode zur Standardisierung von Tretschichten (Hobbs et al., 2014, S. 31, verändert d. Verf.)	26

Kapitel 2

Abb. 1:	Umfrage zum Zuschlagstoff	32
Abb. 2:	Art der Zuschlagstoffe nach schriftlichen und mündlichen Angaben	39
Abb. 3:	Hersteller und Produkte synthetischer Zuschlagstoffe	40
Abb. 4:	Größe synthetischer Zuschlagstoffe	41
Abb. 5:	Verbesserung der Reitplatzeigenschaften durch Zuschlagstoffe	44
Abb. 6:	Zugabemenge synthetischer Zuschlagstoffe	45
Abb. 7:	Spezielle Pflegehinweise für Tretschichten mit synthetischen Zuschlagstoffen	47
Abb. 8:	Empfehlungen zur weiteren Verwendung/Entsorgung der synthetischen Zuschlagstoffe	48

Kapitel 3

Abb. 1:	Begriffsdefinitionen Abrieb und Zerfall	55
Abb. 2:	Tretschicht Dressurplatz	57
Abb. 3:	Gerätschaften zur Probenahme	58
Abb. 4:	Probepplan Dressurplatz (Angaben in [m], ohne Maßstab)	58
Abb. 5:	Übersicht Verwendung Siebsatz organischer Zuschlagstoff (Angaben in [mm])	61
Abb. 6:	Körnungslinien SH 3, Teilproben	63
Abb. 7:	Körnungslinien SH 3, Gesamtproben	63
Abb. 8:	Verteilung Glühverlust SH 3, Teilproben	65
Abb. 9:	Übersicht Verwendung Siebsatz synthetischer Zuschlagstoff (Angaben in [mm])	65
Abb. 10:	Körnungslinien DP, Proben N1-3	72
Abb. 11:	Körnungslinien DP, Proben H1-3	73
Abb. 12:	Körnungslinien DP, Proben N1-3 und H1-3	73
Abb. 13:	DP Probe N3_1, Größe 0,125 mm – 2,0 mm	75
Abb. 14:	DP Probe H2_1, Größe 0,125 mm – 2,0 mm	75
Abb. 15:	Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,125 mm – 2,00 mm	75
Abb. 16:	DP Probe N3_1, Größe 0,063 mm - 0,125 mm	76
Abb. 17:	DP Probe H1_2, Größe 0,063 mm - 0,125 mm	76

Abb. 18: Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,063 mm - 0,125 mm.....	76
Abb. 19: DP Probe N3_2, Größe 0,025 mm - 0,063 mm.....	77
Abb. 20: DP Probe H2_1, Größe 0,025 mm - 0,063 mm.....	77
Abb. 21: Auszählung Mikroskopie DP, Gesamtproben 0,025 mm - 0,063 mm.....	77
Abb. 22: Verteilung Glühverlust DP, Teilproben.....	79
Abb. 23: Ausgangsmaterial Verschleißversuche VD Probe H3	80
Abb. 24: VD Probe N3, Größe 0,2 mm – 0,5 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.)	81
Abb. 25: VD Probe N3, Größe 0,125 mm – 0,2 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.).....	81
Abb. 26: VD Probe H3, Größe 0,09 mm – 0,125 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.).....	81
Abb. 27: VD Probe N3, Größe 0,063 mm – 0,09 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.)	81
Abb. 28: VD Probe N3, Größe 0,025 mm – 0,063 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.)	81
Abb. 29: VD Probe H3, Größe < 0,025 mm (Morbach, 2021, verändert d. Verf.).....	81
Abb. 30: Auszählung Mikroskopie VD nach Korngrößenbereichen.....	82
Abb. 31: Körnungslinien Nullprobe vor und nach Verschleißversuch (Morbach, 2021, verändert d. Verf.)	83

Kapitel 4

Abb. 1: Zuschlagstoffaustrag von einem Reitplatz	97
Abb. 2: Synthetische Zuschlagstoffe, Blätter und Zweige auf einem Waldweg in unmittelbarer Nähe eines Reitplatzes.....	97

Kapitel 6

Abb. 1: Arten von Kunststoffen (UBA, 2018, S. 14, verändert d. Verf.)	114
Abb. 2: Nennung der organischen Zuschlagstoffe	116
Abb. 3: Ausgangsmaterial SH (Gesamtmenge der Probenahme)	118
Abb. 4: Teilprobe SH H3 II 2 mm – 4 mm nach Glühversuch 550 °C	118
Abb. 5: Teilproben nach Glühversuch, SH H3 II (links 800 °C), SH H3 I (rechts 550 °C)	119
Abb. 6: Ausgangsmaterial Reitsand mit Holzhäckseln (Gesamtmenge der Probenahme)	119
Abb. 7: Proben A (links) und B (rechts) nach dem Glühen	119
Abb. 8: PLA-Faser Nullprobe, Raumtemperatur ohne Vergrößerung aufgenommen	121
Abb. 9: PLA-Faser Nullprobe, Raumtemperatur mit 10-facher Vergrößerung aufgenommen.....	121
Abb. 10: PLA-Faser nach 2 Std. bei 60 °C ohne Vergrößerung aufgenommen.....	121
Abb. 11: PLA-Faser nach 2 Std. bei 60 °C mit 10-facher Vergrößerung aufgenommen.....	121

Tabellenverzeichnis

Kapitel 1

Tab. 1:	Zusammenfassung der Parameter zu sportfunktionellen Eigenschaften aus den Reitplatzempfehlungen der FLL (2014)	15
Tab. 2:	Übersicht der vom OBST zu ermittelnden funktionellen Eigenschaften (van der Heijden, 2018, S. 28, verändert d. Verf.)	16

Kapitel 2

Tab. 1:	Schriftliche Angaben zur Umfrage zum Zuschlagstoff	34
Tab. 2:	Mündliche Angaben zur Umfrage zum Zuschlagstoff	37
Tab. 3:	Beigefügte Produktunterlagen zu den synthetischen Zuschlagstoffen	38

Kapitel 3

Tab. 1:	Übersicht Probenahme auf Reitplätzen mit organischen und synthetischen Zuschlagstoffen	57
Tab. 2:	Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit organischem Zuschlagstoff	60
Tab. 3:	Übersicht der Proben und durchgeführten Versuche an organischen Zuschlagstoffen	62
Tab. 4:	Glühverlust SH 3, Teilproben	64
Tab. 5:	Übersicht Untersuchungsablauf Reitsand mit synthetischem Zuschlagstoff	66
Tab. 6:	Verwendete Mikroskope und Vergrößerungen	67
Tab. 7:	Vorversuche (Vv) Mikroskopie	68
Tab. 8:	Vorversuche (Vv) Wasserstoffperoxid (H_2O_2)	69
Tab. 9:	Vorversuche (Vv) Verglühen	71
Tab. 10:	Übersicht der Proben und durchgeführten Versuche an synthetischen Zuschlagstoffen	72
Tab. 11:	Glühverlust DP, Teilproben	79

Kapitel 6

Tab. 1:	Ergebnisse Glühversuche Probe SH H3 II bei 550 °C	118
Tab. 2:	Ergebnisse Glühversuche Probe SH H3 II bei 800 °C (nach 550 °C)	118
Tab. 3:	Übersicht Versuche Temperaturbeständigkeit im Klimaschrank	120

Bundesinstitut für Sportwissenschaft
Graurheindorfer Straße 198 · 53117 Bonn
Telefon +49 (0) 228 99 640-0000
Fax +49 (0) 228 99 640-9007
info@bisp.de
www.bisp.de

ISBN 978-3-96523-055-2