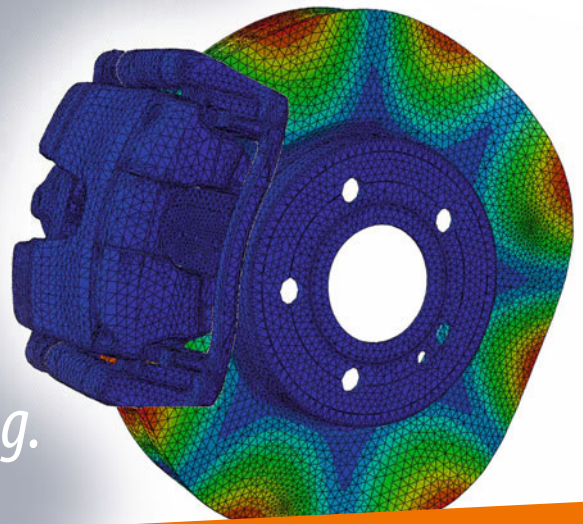


Proceedings



Ralph Mayer *Hrsg.*

XXXIX. Internationales μ -Symposium 2022 Bremsen-Fachtagung

XXXIX. International μ -Symposium 2022
Brake Conference



Proceedings

Ein stetig steigender Fundus an Informationen ist heute notwendig, um die immer komplexer werdende Technik heutiger Kraftfahrzeuge zu verstehen. Funktionen, Arbeitsweise, Komponenten und Systeme entwickeln sich rasant. In immer schnelleren Zyklen verbreitet sich aktuelles Wissen gerade aus Konferenzen, Tagungen und Symposien in die Fachwelt. Den raschen Zugriff auf diese Informationen bietet diese Reihe Proceedings, die sich zur Aufgabe gestellt hat, das zum Verständnis topaktueller Technik rund um das Automobil erforderliche spezielle Wissen in der Systematik aus Konferenzen und Tagungen zusammen zu stellen und als Buch in Springer.com wie auch elektronisch in Springer Link und Springer Professional bereit zu stellen. Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motoreningenieure sowie Studierende, die aktuelles Fachwissen im Zusammenhang mit Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes suchen. Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik finden hier die Zusammenstellung von Veranstaltungen, die sie selber nicht besuchen konnten. Gutachtern, Forschern und Entwicklungsingenieuren in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie Dienstleistern können die Proceedings wertvolle Antworten auf topaktuelle Fragen geben.

Today, a steadily growing store of information is called for in order to understand the increasingly complex technologies used in modern automobiles. Functions, modes of operation, components and systems are rapidly evolving, while at the same time the latest expertise is disseminated directly from conferences, congresses and symposia to the professional world in ever-faster cycles. This series of proceedings offers rapid access to this information, gathering the specific knowledge needed to keep up with cutting-edge advances in automotive technologies, employing the same systematic approach used at conferences and congresses and presenting it in print (available at Springer.com) and electronic (at Springer Link and Springer Professional) formats. The series addresses the needs of automotive engineers, motor design engineers and students looking for the latest expertise in connection with key questions in their field, while professors and instructors working in the areas of automotive and motor design engineering will also find summaries of industry events they weren't able to attend. The proceedings also offer valuable answers to the topical questions that concern assessors, researchers and developmental engineers in the automotive and supplier industry, as well as service providers.

Ralph Mayer
Hrsg.

XXXIX. Internationales μ -Symposium 2022 Bremsen-Fachtagung

XXXIX. International μ -Symposium 2022
Brake Conference

Hrsg.
Ralph Mayer
Professur Fahrzeugsystemdesign
TU Chemnitz
Ingolstadt, Deutschland

ISSN 2198-7432 ISSN 2198-7440 (electronic)
Proceedings
ISBN 978-3-662-66327-1 ISBN 978-3-662-66328-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66328-8>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Markus Braun

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Sehr geehrte Mitglieder des μ -Clubs und Gäste des μ -Symposiums,
liebe Leser unseres Tagungsbands,

nach rund 2 ½ Jahren im pandemiebedingten Ausnahmezustand und ohne unser persönliches Treffen versuchen wir 2022 den Neuanfang unter anderen Rahmenbedingungen und an anderem Ort. Was bleibt, ist der fachliche Austausch zu sechs aktuellen Themen der (erweiterten) Bremsentechnik in vertrautem Rahmen. Aus den Reihen der Teilnehmer der vergangenen Jahre erhielt ich viel Zuspruch, der mich im eigenen Bestreben bestärkte, das μ -Symposium weiterzuführen. Seit Herbst 2021 traf sich in regelmäßigen Abständen eine Art inoffizieller Beirat aus langgedienten Mitgliedern, oftmals dem μ -Club als wiederholter Referent gewogen. Ihnen allen gebührt mein Dank für Zuspruch und tatkräftige Unterstützung!

Die Konferenz 2022 widmet sich explizit den Umweltfragen, ob auf Komponentenebene oder das Gesamtfahrzeug im Fokus. Mit nachhaltigem Bremsbelagrecycling (*RMS Raw Material Service*) beschäftigen wir uns gleichermaßen wie mit Beschichtung von Bremsscheiben zur Erreichung der Feinstaubgrenzwerte für Pkw (*Impact Innovations*). Neuigkeiten aus dem Bereich der Entwicklungsmethodik erwarten uns zum Thema Bremsenknarzen im NVH-Entwicklungsprozess: Detektion, Klassifizierung und objektive Bewertung (*TU Graz*) sowie zur Fragestellung der Potenziale beim vernetzten Testen: der XiL-Ansatz und Bremsemissionsuntersuchungen (*Audi*). In der Vergangenheit wagten wir den Exkurs zu den großen Vertretern der Transportbranche wie Schienen- oder Luftfahrzeuge. Die Elektrohydraulische Integralbremse für Mikromobilität (*BrakeForceOne*) repräsentiert somit das andere Ende der Skala, aber nicht minder aktuell. Die Grenzen der Bremsentechnik erweitern wir in diesem Jahr durch den Beitrag Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie – Die OEM Perspektive (*BMW*), eine Thematik, die unsere tägliche Arbeit in Zukunft stark prägen wird.

Die Durchführung des μ -Symposiums verdanken wir wesentlich den Sponsoren. Herzlichen Dank u. a. an Brembo SGL Carbon, Link und TMD Friction für die Bereitschaft zur Unterstützung.

Ich bedanke mich außerdem bei meinem Team der Professur Fahrzeugsystemdesign, ohne die eine Durchführung ebenfalls nicht möglich gewesen wäre. Stellvertretend möchte ich Frau Anja Tegenkamp und Herrn Falko Wagner erwähnen.

Ich wünsche eine erfolgreiche und spannende Wissensmehrung ob während der Konferenz, in der persönlichen Nachbereitung oder bei zukünftigen Literaturrecherchen zum Thema Bremse.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer
Präsident μ -Club

Foreword

Dear members of the μ -Club and guests of the μ -Symposium,
dear readers of our conference proceedings,

after about 2 ½ years in an exceptional period due to the pandemic and without our personal meeting, we are trying a new beginning in 2022 under different conditions and at a different location. What remains is the professional exchange on six current topics of (extended) brake technology in a familiar setting. I received a great deal of encouragement from the participants of previous years, which strengthened my own resolve to continue the μ Symposium. Since the fall of 2021, a kind of unofficial advisory board of long-serving members, often devoted to the μ -Club as repeat speakers, has met at regular intervals. I would like to thank all of them for their encouragement and active support!

The 2022 conference is explicitly dedicated to environmental issues, whether at the component level or focusing on the vehicle as a whole. We are equally concerned with sustainable brake pad recycling (*RMS Raw Material Service*) as with coating of rotors to achieve the particulate matter limits for passenger cars (*Impact Innovations*). News from the field of development methodology await us on the subject of Creep Groan Phenomena in the NVH development process: detection, classification and objective evaluation (*TU Graz*) as well as on the issue of potentials in interconnected testing: the XiL approach and brake emission testing (*Audi*). In the past we ventured the excursion to the big representatives of the transport industry like rail or air vehicles. The electrohydraulic integral brake for micromobility (*BrakeForceOne*) thus represents the other end of the scale, but no less topical. This year, we are expanding the boundaries of brake technology with the contribution Circular Economy in the Automotive Industry—The OEM Perspective (*BMW*), a topic that will highly shape our daily work in the future.

We owe the realization of the μ -Symposium essentially to the sponsors. Many thanks to Brembo SGL Carbon, Link and TMD Friction for their willingness to support us.

I would also like to thank my team at the Chair of Vehicle System Design, without whom it would also not have been possible to hold the event. As representatives I would like to mention Ms. Anja Tegenkamp and Mr. Falko Wagner.

I wish you a successful and exciting increase in knowledge, whether during the conference, in the personal follow-up or in future literature research on the subject of brakes.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer
President μ Club

Inhaltsverzeichnis

Nachhaltiges Reibmaterialrecycling	1
Fabian Fuhr	
Hochleistungs-Kaltgasbeschichtung zum Verschleiß-/Korrosionsschutz und Partikelemissionsminderung von Brems Scheiben	21
Reeti Sngh, Leonhard Holzgaßner, Jan Kondas, und Sascha Bernhardt	
Bremsenknarzen im NVH-Entwicklungsprozess: Detektion, Klassifizierung und objektive Bewertung	31
Severin Huemer-Kals, Máté Tóth, Jurij Prezelj, Jure Murovec, Martin Zacharczuk, Karl Häsler, und Peter Fischer	
Potenziale vernetzten Testens: der XiL-Ansatz und Bremsenemissionsuntersuchungen von elektrifizierten Fahrzeugen	55
Elizaveta Gramstat, Christian Wachs, Sebastian Gramstat, Maximilian Hense, und Stephan Salzer	
Elektrohydraulische Integralbremse	68
Jakob Lauhoff	
Circular Economy in der Automobilindustrie – Die Perspektive eines OEMs	84
Markus Seidel	
Sustainable Friction Recycling	87
Fabian Fuhr	
High-performance Cold Spray Coating for Wear/Corrosion Protection and Particle Emission Reduction of Brake Discs	107
Reeti Sngh, Leonhard Holzgaßner, Jan Kondas, and Sascha Bernhardt	
Detection, Classification and Objective Rating of Creep Groan Phenomena in Brake NVH Development	116
Severin Huemer-Kals, Máté Tóth, Jurij Prezelj, Jure Murovec, Martin Zacharczuk, Karl Häsler and Peter Fischer	

Potentials of Connected Testing: The XiL Approach and Brake Emission Investigations for Electrified Vehicles 139
Elizaveta Gramstat, Christian Wachs, Sebastian Gramstat, Maximilian Hense, and Stephan Salzer

Electrohydraulic Integral Braking System..... 152
Jakob Lauhoff

Circular Economy in the Automotive Industry—Prospects By an OEM 168
Markus Seidel

Autorenverzeichnis 171



Nachhaltiges Reibmaterialrecycling

Fabian Fuhr^(✉)

Geschäftsführender Gesellschafter, RMS Raw Material Service GmbH & Co.
KG, Leverkusen, Deutschland
F.Fuhr@rawmaterialservice.de

Zusammenfassung. Die Komponenten der Radbremse weisen stark unterschiedliche Recyclingquoten auf; Während sowohl Brems scheiben, Brems sät tel und Bremsstrommeln, bedingt durch ihren hohen Metallanteil, zu über 90 % recycelt werden, wird nur ein Bruchteil der Reibbeläge einer stofflichen Verwertung zugeführt.

Reibbeläge bestehen aus diversen Rohstoffen, die unter Druck und Temperatur gefertigt werden, sowohl mit als auch ohne Metallanhaftungen.

Dieser Vortrag beschreibt den Lebenszyklus von Reibbelägen und welche Umweltbelastungen die Beschaffung von Rohstoffen, die Herstellung der Mischung und die Entsorgung von Reibbelägen erzeugen.

1. Die Ergebnisse einer vergleichenden Ökobilanzstudie (LCA) nach ISO 14040/14044 inklusive CO₂-Fußabdruck zwischen Reibmaterialien aus 100 % Neumaterial vs. solchen mit zum Teil recyceltem Reibmaterial werden vorgestellt.
2. Prüfstandsergebnisse und Laboranalysen sowie die technischen Anforderungen und Eigenschaften des recycelten Reibmaterials werden erläutert.
3. Es werden Argumente bezüglich der stofflichen Verwertung von Reibmaterialien diskutiert, zusammen mit den ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen zum Thema Nachhaltigkeit.
4. Möglichkeiten des nachhaltigen Reibmaterialrecyclings werden ebenso vorgestellt wie die hiermit verbundenen Vorteile einer gelebten Kreislaufwirtschaft.

Schlüsselwörter: Recycling · Reibmaterialien · Nachhaltigkeit · CO₂-Fußabdruck

1 Einleitung

Reibmaterialien werden nach ihrer Nutzung nur in den seltensten Fällen einer stofflichen Verwertung zugeführt. Ebenfalls fallen während der Produktion große Mengen an Filterstäuben an die entsorgt werden müssen. Allein in Europa werden jährlich laut einer Studie [1] 150.000 t Reibmaterial für Fahrzeugbremsen hergestellt, welche nur zu ca. der Hälfte abgenutzt werden. Somit fallen jährlich ca. 75.000 t Reibmaterial aus Fahrzeugbremsen an, die zum Großteil entweder als Abfall entsorgt oder mit

Metallanhaftungen eingeschmolzen werden. Schätzungsweise 22.000 t Filterstäube werden hierbei ebenfalls erzeugt, die zu einem Großteil entsorgt werden [1]. In diesen Zahlen nicht inkludiert sind die Reibbeläge und Filterstäube aus allen anderen Branchen wie zum Beispiel Industriebeläge etc.

Die jährliche globale Reibmaterialproduktion ist um ein Vielfaches größer als die oben beschriebenen europäischen Zahlen; Das immense Ausmaß an verschwendeten Rohstoffen, Energie und Treibhausgasen wird dadurch umso offensichtlicher.

Scheiben- und Trommelbremsen sind für den Bremsvorgang in PKW und LKW zuständig, indem die Bremsbeläge an die Bremsscheibe oder Bremstrommel gedrückt werden. Am Beispiel der Scheibenbremse lässt sich gut verdeutlichen wie sehr sich die Recyclingquoten der drei Bremskomponenten Scheibe, Sattel und Belag unterscheiden (Abb. 1):



Abb. 1. Am Beispiel der Scheibenbremse lässt sich gut verdeutlichen wie sehr sich die Recyclingquoten der drei Bremskomponenten Scheibe, Sattel und Belag unterscheiden [19]

Bedingt durch ihren hohen Metallanteil, einfacher Demontage und geringer Anzahl an Anbauteilen werden Bremsscheiben zu fast 100 % und Bremssättel zu über 90 % recycelt, also einer stofflichen Verwertung zugeführt. Bremsbeläge werden hingegen nach ihrer Nutzung fast ausschließlich deponiert oder in der Eisenverhüttung thermisch behandelt, letzteres gilt der Rückgewinnung des Metallanteils.

Für Reibbeläge gibt es bisher keine Recyclingquoten. Der Einsatz von diversen Inhaltsstoffen, die unter Druck und Temperatur verpresst werden, sowie bei Scheibenbremsbelägen einer Vielzahl von Anbauteilen wie Rückenplatten, Federn, Blechen und Gewichten führen zu einem Bauteil, das wesentlich mehr Komplexität für die stoffliche Verwertung darstellt.

Obwohl der Umwelteinfluss durch die Entsorgung von Reibbelägen und Filterstäuben offensichtlich ist, wurden bisher nur wenige Studien zu dem Thema Reibmaterialrecycling verfasst. Diese sind jedoch vielversprechend, sowohl bezüglich der Leistung als auch der reduzierten CO₂ Belastung und Energieverbrauches von recycelten Reibmaterialien.

So haben Singireddy et al. [2] Reibbeläge inklusive recyceltem Anteil mit handelsüblichen Belägen ohne Recyclinganteil verglichen und beide anspruchsvollen Testbedingungen unterzogen, wie z. B. hohen Temperaturen und Drücken. Die Beläge mit Recyclinganteil zeigten hierbei höhere Reibwerte, bessere Fadingergebnisse und weniger Verschleiß auf als die handelsüblichen Beläge ohne Recyclinganteil.

Lyu et al. [3] haben ebenfalls eine vergleichende Prüfung durchgeführt und herausgefunden, dass die recycelten Bremsbeläge höhere Reibwerte und weniger Verschleiß als die handelsüblichen Beläge ohne Rezyklatanteil aufweisen.

Ma et al. [4] haben die Umwelteinflüsse von Reibbelägen mit Recyclinganteil vs. herkömmlichen Belägen ohne Recyclinganteil untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die recycelten Bremsbeläge 37 % weniger Energieverbrauch aufzeigen sowie einen um 35 % reduzierten CO₂-Fußabdruck.

Die oben aufgezeigten Forschungsergebnisse haben bestätigt, dass der Einsatz von recycelten Reibmaterialien unter Laborbedingungen sowohl die technischen Anforderungen erfüllen als auch positive Umwelteinflüsse generieren kann.

Dieser Vortrag zeigt die Umwelteinflüsse von Reibmaterialien über den Lebenszyklus auf, erläutert die technischen Möglichkeiten und beschreibt die Erfahrungen aus 25 Jahren Reibmaterialrecycling.

2 Der Lebenszyklus eines Reibbelages

Um die Notwendigkeit nachhaltigen Reibmaterialrecyclings beurteilen zu können, muss man den kompletten Lebenszyklus betrachten. Reibbeläge erzeugen sowohl vor als auch nach ihrer eigentlichen Nutzung erhebliche Mengen an Treibhausgasen und weisen einen hohen Energieverbrauch auf. Des Weiteren ist die Deponierung von Reibmaterialien und Filterstäuben nicht im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens (Abb. 2).

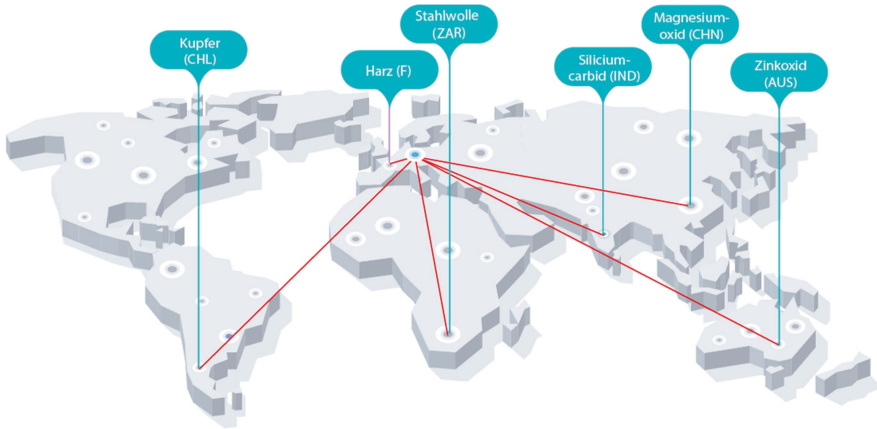


Abb. 2. Beispiele für Herkunftsländer von Rohstoffen und Transportrouten zum Produktionsort [19]

Die Rohstoffe, die zur Herstellung von Reibbelägen notwendig sind, werden weltweit abgebaut bzw. erzeugt und dann zum jeweiligen Produktionsort transportiert. Es wird Energie verbraucht, und Schadstoffe gelangen in Wasser, Boden und Luft [3]. Die Rohstoffe werden vorwiegend per LKW und Schiff transportiert, wobei Diesel und Schweröl die beiden am häufigsten eingesetzten Kraftstoffe darstellen. Weltweit ist die Schifffahrt für den Ausstoß von etwa einer Mrd. Tonnen Kohlendioxid verantwortlich, was 3 % der gesamten vom Menschen verursachten CO₂ Emissionen entspricht. Zudem verursacht sie etwa 15 % der globalen Stickoxidemissionen und 13 % der Schwefeldioxidemissionen, Tendenz weiter steigend [7].

Während der Produktion von Reibbelägen werden diese mehrfach erhitzt und abgekühlt, und unter Druck und Temperatur (Scheiben- und Trommelbremsbeläge) gefertigt. Im Falle von PKW und LKW Belägen in der Erstausrüstung von Fahrzeugen (OEM) werden diese dann zum Bremsattelhersteller geliefert und verbaut, danach geht es über den Achshersteller zum Fahrzeughersteller und dann zum Endkunden, der oftmals wieder in einem anderen Land oder sogar auf einem anderen Kontinent ansässig ist. Somit hat jeder neue Bremsbelag schon viele Kilometer zurückgelegt, bevor er seine eigentliche Aufgabe ausüben kann, und die verwendeten Rohstoffe haben bei Abbau bzw. Erzeugung ebenfalls erhebliche Mengen an Treibhausgasen produziert.

Aber wo genau entstehen diese Emissionen ,von der Wiege bis zur Bahre‘?

3 Reibmaterialrecycling – notwendig oder ‚nice-to-have‘?

Das Greenhouse Gas (GHG) Protocol [8] teilt die anfallenden Emissionen in drei Bereiche (Scopes) ein. Scope 1 enthält alle direkten Emissionen, die eine Firma selber erzeugt oder kontrolliert, Scope 2 indirekte Emissionen die über Elektrizität,

Dampf, Wärme oder Kühlung von extern bezogen werden. Alle anderen indirekten Emissionen fallen unter Scope 3, also auch die Emissionen, die beim Abbau von eingekauften Materialien und in der Lieferkette erzeugt werden [8]. Sie umfassen alle indirekten Treibhausgas (THG) Emissionen, die aus vor- und nachgelagerten Unternehmenstätigkeiten resultieren und nicht unter der Kontrolle des jeweiligen Unternehmens stehen [5] (Abb. 3).

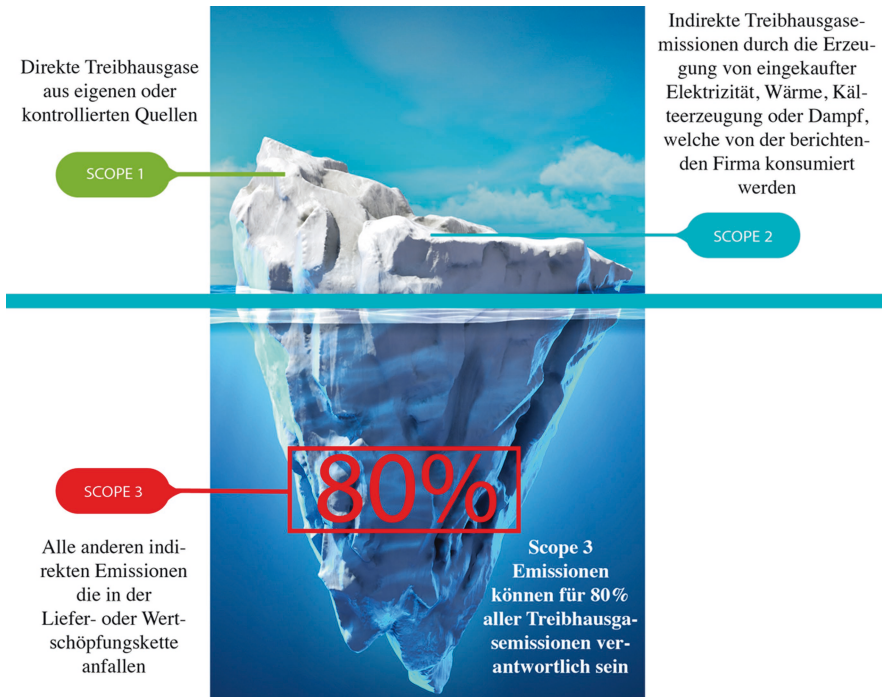


Abb. 3. Durch den wachsenden Fokus auf Entkarbonisierungsziele und ‚Netto-Null-Emissionen‘ (net-zero) drängen Scope 3 Emissionen immer mehr ins Rampenlicht [21]

Geschätzt zwischen 80 % [21] und 90 % [9] aller Unternehmensemissionen können in der Wertschöpfungs- oder Lieferkette entstehen und sind somit als Scope 3 Emissionen zu deklarieren. Einer der größten ‚Hebel‘, um Emissionen zu reduzieren, liegt somit offenkundig in der klimafreundlichen Optimierung dieser Bereiche.

Diese anfallenden Scope 3 Emissionen haben bisher, wenn überhaupt, nur einen geringen finanziellen Einfluss auf die Einkaufsentscheidung der Unternehmen. Die durch den Abbau, Transport und späterer Entsorgung von Rohstoffen verursachten Umweltbelastungen spielen in der Reibbelagindustrie heute nur eine untergeordnete Rolle.

Sowohl der wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Druck zu mehr Nachhaltigkeit sowie die offensichtliche Dringlichkeit, den Klimawandel aktiv

zu bekämpfen, werden diese Vorgehensweise voraussichtlich schon sehr bald einschränken.

Bremsbeläge stellen eines der wichtigsten Sicherheitsbauteile in Fahrzeugen dar und werden ausgetauscht, wenn noch ca. 50 % des Reibmaterialies vorhanden ist [1]. Somit wird ein erheblicher Teil des Produktes nicht verwendet, sondern entsorgt. Wenn die Beläge nach der Nutzung ausgebaut werden, werden sie meistens entweder deponiert oder der thermischen Behandlung zugeführt, also zusammen mit den Metallanhaftungen eingeschmolzen. Bodenbelastungen durch z. B. Schwermetalle und Luftbelastungen sind die Folge.

Sowohl das sortenreine Metall ohne Materialanhaftung als auch das verbleibende Reibmaterial können hingegen wiedereingesetzt werden, wenn man diese beiden Komponenten voneinander trennt und der stofflichen Verwertung zuführt, wie unter ‚5. Nachhaltiges Reibmaterialrecycling‘ weiter unten in diesem Vortrag ausgeführt wird. Es gilt somit, Reibbeläge in der Abfallhierarchie aufzuwerten und dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) gerecht zu werden. Die in § 6 KrWG geregelte fünfstufige Abfallhierarchie legt für Maßnahmen der Vermeidung von Abfällen sowie der Vorbereitung zur Wiederverwendung, des Recyclings, der sonstigen (insbesondere energetischen) Verwertung und der Beseitigung von Abfällen eine grundsätzliche Rangfolge fest [6] (Abb. 4).

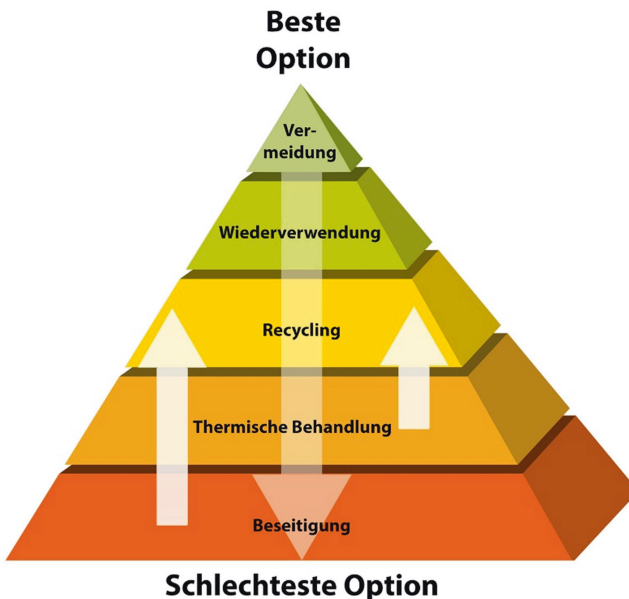


Abb. 4. Abfallhierarchie [6]

Anm. d. Red.: Feinstaubbelastungen durch Abrieb in der Nutzungsphase von Reibbelägen – airborne emissions, particulate matter (PM) etc. –, die derzeit in der

Automobilbranche kontrovers diskutiert werden, sind nicht Bestandteil dieses Vortrages

Diverse Regierungen, NGOs und Verbände verschärfen Ihre Anforderungen und Regularien bezüglich Nachhaltigkeit. Der Vereinte Nationen ‚IPCC Climate Change 2022 Report‘ [10] weist eindringlich auf die Notwendigkeit hin, dem Klimawandel umgehend entschieden entgegenzuwirken.

Die U.S. Securities and Exchange Commission (SEC) ruft ebenso zum standardisierten Berichtswesen bezüglich THG Emissionen auf [11] wie die Europäische Kommission [12] für Unternehmen von entsprechender Größe und Umsatzleistung. Die SEC hat hierzu im März 2022 ihre Anforderungen zum Emissionsreporting (Emissions Reporting Requirements [11]) veröffentlicht, und die EU im May 2022 die Europäischen Nachhaltigkeitsstandards im Berichtswesen (European Sustainability Reporting Standards [12]).

Am 7. August 2022 hat der US Senat im sogenannten ‚Inflation Reduction Act‘ die größte jemals getätigte Investition für das Klima in der amerikanischen Geschichte genehmigt [18]; das Gesamtpaket für das Klima beläuft sich auf knapp US\$ 370 Mrd.

Der Verband der Automobilindustrie (VDA) hat gemeinsam mit 14 weiteren Gründungsmitgliedern den Verein „Responsible Supply Chain Initiative RSCI e. V.“ gegründet. Ziel ist es, alle Akteure im Automobilssektor dabei zu unterstützen, ein hohes Niveau von Nachhaltigkeit in den Lieferketten zu etablieren [13].

Des Weiteren fordern viele Fahrzeug- und Bremsenhersteller in Ihren Anfragedokumenten mittlerweile die Belaghersteller dazu auf, ihren projektspezifischen CO₂-Fußabdruck (carbon footprint) offenzulegen. Somit ist die CO₂ Bilanz ein Pflichtteil eines jeden Angebotes geworden und damit vergaberelevant.

Auch Kreditgeber verlangen von Ihren Kunden oftmals Nachhaltigkeitskonzepte und Angaben zu ihrem CO₂-Fußabdruck. Hierdurch ist auch der Zugriff auf Fremdkapital abhängig von der Ökobilanz eines Unternehmens.

Nicht zuletzt ist das Thema Nachhaltigkeit massiv in den Fokus der globalen Öffentlichkeit gerückt; An dieser Stelle ließen sich zahllose Initiativen und Bewegungen auflisten, die Organisation Fridays for Future (FFF [14]) mit der Gründerin Greta Thunberg zählt hier sicherlich zu den bekanntesten.

Somit ist offenkundig, dass nachhaltiges Reibbelagrecycling aus den oben genannten Gründen immer notwendiger wird. Neben den bekannten Entscheidungskriterien Produkt, Preis und Qualität entwickelt sich Nachhaltigkeit somit zur vierten Dimension (Abb. 5).