

## **Inhaltsverzeichnis:**

- 1 Zusammenfassung
- 2 Einleitung
- 3 Hauptteil
  - 3.1 Recherche zum Stand der Technik – Patentrecherche
  - 3.2 Analyse der recycelten Gummigranulate auf umweltschädliche Bestandteile
  - 3.3 Definition der Anforderungen an die Beschichtung
  - 3.4 Untersuchung der Schichtdicke der Beschichtung
  - 3.5 Untersuchung des thermischen Verhaltens
    - 3.5.1 Untersuchung der Wärmeaufnahmefähigkeit bei Infrarotstrahlung
    - 3.5.2 Untersuchung der Wärmeaufnahmefähigkeit bei Sonnenstrahlung
  - 3.6 Ermittlung der Brandbeständigkeit nach DIN 4102
  - 3.7 Untersuchungen des Abriebverhaltens
  - 3.8 Untersuchungen des beschichteten Gummigranulats gemäß den ökologischen Anforderungen der DIN V 18035-7
  - 3.9 Druckspannungs- Verformungseigenschaften nach DIN EN ISO 3386-2
  - 3.10 Verfahrensentwicklung zur Herstellung des Einstreugranulats
  - 3.11 Bewertung der Ergebnisse des Forschungsprojektes  
(ökologisch, technologisch, ökonomisch)
  - 3.12 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse
- 4 Fazit
- 5 Literaturverzeichnis
- 6 Anhang

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen:

- Abb.1: Aufbau eines Kunstrasensystems
- Abb.2: TGA – schwarzes Gummigranulat
- Abb.3: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 5 Masseprozent grünem PUR
- Abb.4: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 5 Masseprozent grünem PUR
- Abb.5: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 5 Masseprozent grünem PUR
- Abb.6: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 10 Masseprozent grünem PUR
- Abb.7: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 10 Masseprozent grünem PUR
- Abb.8: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 10 Masseprozent grünem PUR
- Abb.9: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.10: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.11: REM-Aufnahme: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.12: REM-Aufnahme: Gummigranulat 0,4-2,5 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.13: REM-Aufnahme: Gummigranulat 0,4-2,5 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.14: REM-Aufnahme: Gummigranulat 0,4-2,5 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR
- Abb.15: Wärmeaufnahmefähigkeit von verschiedenen Gummigranulaten bei Infrarotstrahlung
- Abb.16: Wärmeaufnahmefähigkeit von verschiedenen Gummigranulaten bei Sonnenstrahlung
- Abb.17: Prüfung B2 - Brennkasten nach DIN 50051
- Abb.18: Prüfgerät zur Bestimmung des Abriebs
- Abb.19: Druckspannungs-Verformungs-Diagramm
- Abb.20: Lieferung und Lagerung von Reifen
- Abb.21: Lieferung und Lagerung von Reifen
- Abb.22: Lieferung und Lagerung von Reifen
- Abb.23: Reifenshreder der MRH
- Abb.24: Granulator der MRH
- Abb.25: Rotormühle der MRH
- Abb.26: Steinausleser der MRH
- 
- Tab. 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Beobachtungen im Stereomikroskop
- Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Flächenbeflammung nach DIN 4102-1 (6.2.5.3)
- Tab. 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung der ökologischen Anforderungen nach DIN V 18035-7

## Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen:

MRH	Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH
GG	Gummigranulat
KG	Korngröße
PUR	Polyurethan
EP	Epoxydharz
EPDM	Ethylen Propylen Dien Kautschuk
PAHs	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
B1	schwerentflammbare Baustoffe der Baustoffklasse B1 nach DIN 4102
B2	normalentflammbare Baustoffe der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102
REM	Raserelektronenmikroskop
TGA	Thermographimetrie Analyse
STEMI	Stereomikroskop
M.%	Masseprozent
CCxx	Druckspannungs- Verformungseigenschaft bei einer Verformung xx (xx in Prozent)
<i>F</i>	Kraft in Newton bei einer festgelegten Verformung
<i>A</i>	Fläche des Probekörpers in Quadratmillimeter
<i>T</i>	Temperatur in °C
<i>m</i>	Masse in g
$\rho$	Dichte in g/cm <sup>3</sup>
DOC	Gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
EOX	Extrahierbare organisch gebundene Halogene
ICP-OES	Plasma-Atomemissionsspektrometrie
AAS	Atomabsorptionsspektrometer
Pb	Blei
Cr	Chrom
Cd	Cadmium
Hg	Quecksilber
Sn	Zinn
Zn	Zink

# 1 Zusammenfassung

---

Ausgangspunkt des Forschungsprojektes stellte für die Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH die Suche nach einer umweltfreundlichen Verwendung von recyceltem Gummigranulaten aus Altreifen in Form von lose ungebundenen Füllmaterial für Kunstrasen dar, wobei vornehmlich der Schutz der Umwelt vor dem Austrag von Schadstoffen aus dem Recyclinggranulat im Vordergrund stehen sollte. Daher war das Ziel des Forschungsprojektes die Entwicklung einer umweltfreundlichen, langzeitstabilen, dauerelastischen, wasser- und gasundurchlässigen Beschichtung für Gummigranulatpartikel aus recycelten Altreifen, bei dem die einzelnen Partikel nicht verkleben und rieselfähig bleiben.

Zusammenfassend wurde die Zielstellung des Projektes derart gelöst, dass jedes einzelne Altreifenrecyclinggranulat auf seiner kompletten Oberfläche eine dauerelastische Beschichtung aufweist. Diese Beschichtung besteht aus einem Bindemittel (vorzugsweise Polyurethan) und speziell abgestimmten Zusatzstoffen. Optional können Farbstoffe (grün oder braun pigmentiert) zur Verbesserung der optischen und thermischen Eigenschaften zugesetzt werden.

Die einzelnen Altreifenrecyclingpartikel sind über ihre komplette Oberfläche mit einem Überzug in einer Dicke von 5 bis 35  $\mu\text{m}$  versehen. Der Anteil an Bindemittel wird dabei auf 10 Masseprozent festgelegt. Vorteilhaft bildet diese Umhüllung eine dauerelastische Ummantelung, die das Auswaschen von Schadstoffen wie zum Beispiel Zink verhindert, was aus ökologischer Sicht von entscheidender Bedeutung ist. Des Weiteren wird durch diese Verkapselung der für Altgummi typische Gummigeruch auf ein Minimum reduziert.

Auf Grundlage der realisierten Versuche wurde folgende Beschichtung ausgewählt:

- Ausgangspunkt: Altreifenrecyclingpartikel in einer Größe von 0,4 bis max. 4 mm
- Art der Beschichtung: Bindemittel auf Polyurethanbasis mit Zusätzen (Farbpigmente)
- Dicke der Beschichtung: 5 – 35  $\mu\text{m}$ ; Aufbringung erfolgt vollflächig - PUR = 10 M.%

Mit der ausgewählten Beschichtung wurden folgende Nachweise erbracht:

- Verbesserung der thermischen Eigenschaften (Wärmeaufnahmefähigkeit)
- Vollflächigkeit der Beschichtung ohne Lücken oder Fehlstellen
- sehr gute Haftfähigkeit der Beschichtung an der Gummigranulatoberfläche
- dauerelastische Eigenschaften der Beschichtung
- durch flächendeckende Beschichtung, Vermeidung von Schadstoffauswaschungen

Durch die Umhüllung ist das Gummirecyclinggranulat umwelt- und geruchsneutral und optisch aufgewertet.

**Im Projektergebnis wurde diese Entwicklung als Patent angemeldet: DE 102 51 818 A1.**

## 2 Einleitung

Die wirtschaftliche Bedeutung von Kunstrasen im Sport nimmt immer mehr zu. Im Vergleich zu Naturrasen ergeben sich für die Kunstrasenplätze viele Vorteile, wie z.B. relativ witterungsunabhängige, beständige Spielflächen mit gleich bleibend guter Bespielbarkeit auch bei intensiver Nutzung, geringere Wartungsanforderungen und damit niedrige Unterhaltungskosten. Sowohl Vereine als auch Stadionbetreiber können mit den neu entwickelten Kunstrasensystemen zukunftsweisende Konzepte und Nutzungsmöglichkeiten erschließen. Neben dem seit 1. März 2005 (gemeinsam von UEFA und FIFA) zugelassenen Spielbetrieb von Fußball-Kunstrasen für alle nationalen und internationalen Wettbewerbe bietet dieser neue Rasentyp *Kunstrasen* aufgrund seiner hohen Spielperformance auch die Möglichkeit, Stadien mehrfach zu nutzen und nicht mehr den Beschränkungen von Naturrasen zu unterliegen.

Bedingt durch seine schwingungsdämpfenden und stoßabsorbierenden Eigenschaften ist Gummi und auch recyceltes Gummigranulat eines der gängigen Materialien zur Herstellung von Bodenbelägen verschiedenster Art im Sportstättenbau sowie in anderen Anwendungsgebieten.

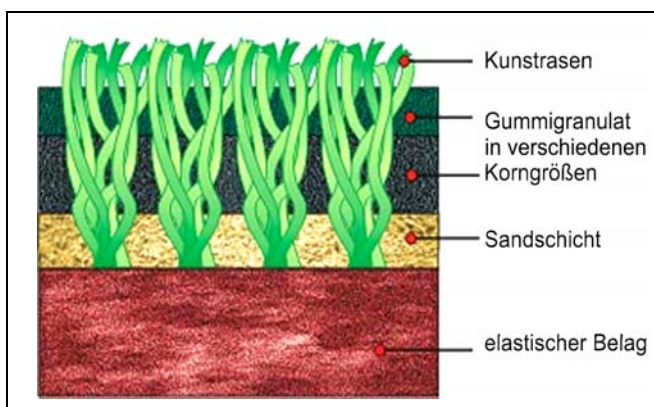


Abb. 1: Aufbau eines Kunstrasensystems

Der Einsatz von recyceltem Altgummi als neuer Rohstoff findet dabei weitestgehend in gebundener Form statt, z.B. in elastischen Bahnen, in Fallschuttmatten oder in verschiedenen Formkörpern.

Eine Verwendung in loser Form erfolgt als Einstreumaterial in Kunstrasen, d.h. die Polschicht des Kunstrasens wird mit Gummipartikeln gefüllt. [Abb. 1]

Das recycelte Gummigranulat wird in der Regel durch die mechanische Zerkleinerung von Altgummi hergestellt, der z.B. in Form von gebrauchten LKW- und Autoreifen in großen Mengen vorliegt. Die durch die Zerkleinerung entstandenen Gummipartikel besitzen eine vieleckige Form mit dementsprechend großer Oberfläche. Vom Stahl- und Textildcord gereinigt und in den gewünschten Korngrößen fraktioniert, werden die Gummipartikel danach unmittelbar ihrer Verwendung, z.B. als Einstreugranulat, zugeführt.

Nachteilig ist dabei, dass die Gummimischungen zum Teil unterschiedliche Konzentrationen an Schadstoffen, wie z.B. Zink enthalten. Diese Schadstoffe können aus dem unbehandelten Recyclinggranulat, verstärkt durch deren große innere Oberfläche, ausgewaschen werden. In zu hohen Konzentrationen können die ausgewaschenen Schadstoffe toxisch für Pflanzen oder Bodenorganismen sein, die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen und ins Grundwasser gelangen.

Ein weiterer Nachteil ist der auftretende typische Gummigeruch, der in Abhängigkeit von der Einbausituation mehr oder weniger stark auftreten kann. Auch die schwarze Farbe der so hergestellten Gummipartikel wirkt meistens störend.

Anhand von zahlreichen Untersuchungen und Recherchen wurde festgestellt, dass sehr großer Forschungsbedarf in Bezug auf Recyclinggummigranulate für eine umweltfreundliche Verwendung als loses ungebundenes Füllmaterial z.B. für Kunstrasen besteht, wobei der Schutz der Umwelt vor dem Austrag von Schadstoffen aus dem Gummigranulat von höchster Priorität ist. Gelingt es der Firma Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH ein Gummigranulat aus recyceltem Altgummi herzustellen, welches derart wasser- und gasdicht beschichtet ist, dass keine Schadstoffe aus dem Granulat in das Grundwasser gelangen können, würde das für MRH einen deutlichen Marktvorlauf gegenüber den Mitkonkurrenten bedeuten, da dieses neue Granulat viel preiswerter angeboten werden kann als bekannte EPDM-Granulate. Ein weiterer positiver Aspekt bei der Entwicklung des beschichteten Gummigranulates ist die Wiederverwendung von Altgummi, einem Recyclingprodukt aus alten Auto- und Lkw-Reifen. Somit können Ressourcen geschont und Abfallprodukte als neuwertiger Rohstoff wieder verwendet und somit in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Die Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH (MRH) beschäftigt sich seit den frühen neunziger Jahren mit Entsorgungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten von Altreifen. 1995 wurde das Werk zur stofflichen Verwertung (Granulierung) für LKW - Reifen errichtet. Die Verwertungsmenge wurde jährlich stetig gesteigert und beträgt nunmehr über 22.000 Tonnen pro Jahr. Die Erzeugung von Gummigranulat erfolgt durch mechanische Zerkleinerung von Altreifen. Der technologische Prozess der Aufbereitungsanlage basiert auf dem wirtschaftlich effizienten Warmmahlverfahren. Reifen mit einem Durchmesser von bis zu 1,50 m werden über vier definierte Mahlstufen mechanisch zerkleinert und aufbereitet. Nach jedem Zerkleinerungsschritt erfolgt eine Aussortierung freigelegter Stahleinlagen und Textilfasern. Zusätzlich sind vier parallel angeordnete Reinigungsstraßen mit Schwerteil- und Textilauslesern in dem Produktionsprozess integriert. Diese effektive Reinigungstechnik und eine variable Siebtechnik garantieren höchste Qualitätsansprüche der produzierten Gummigranulate. Nachteilig für verschiedene Anwendungen ist, dass die Gummimischungen zum Teil unterschiedliche Konzentrationen an Schadstoffen bzw. Verunreinigungen enthalten können.

Auf der Suche nach neuen Absatzmöglichkeiten für den aus Altreifen gewonnenen, neuen Rohstoff Gummigranulat wurde die Idee entwickelt, dieses Granulat als Füllmaterial für Kunstrasensysteme einzusetzen. Zusammen mit dem Kunstrasenhersteller POLYTAN GmbH sind Konzepte für einen neuen, preiswerten Kunstrasen, gefüllt mit Recyclinggummigranulat erarbeitet worden. Dabei sind bei diesem Einsatzgebiet spezielle Bestimmungen einzuhalten.

Bei der Verwendung von Gummigranulat als Füllmaterial für Kunstrasensysteme werden nach DIN 18035-7 (2002): „Sportplätze -Teil Kunstrasenflächen“ verschiedene Umweltauforderungen, die auf deutschem Gebiet zwingend einzuhalten sind, definiert. Die ökologischen Grenzwerte, die einzuhalten sind, sind in Tabelle 7 der DIN 18035-7 festgelegt. Nach DIN 18035-7 muss das Kunstrasensystem so beschaffen sein, dass die Umwelt nicht verschmutzt wird durch:

- a) Freisetzung schädlicher Gase und gefährlicher Teilchen an die Luft;
- b) Wasser- oder Bodenverunreinigungen oder –vergiftungen.
- c) Im Hinblick auf Verwertung / Entsorgung nach der Nutzung ist insbesondere zu achten:
  - auf die Verwendung schadstoffarmer Materialien
  - auf die Beschränkung möglichst wenig unterschiedlicher Materialsorten
  - auf die gute Trennfähigkeit der einzelnen Schichten
  - auf die vorrangige Verwertung der Materialien durch Recycling

Aufgrund der in der DIN festgelegten Forderungen wird nach dem derzeitigen Stand der Technik bei den meisten Kunstrasensystemen als Füllstoff EPDM-Granulat eingesetzt. EPDM-Granulate sind künstlich hergestellte, granuliert Mischung aus Synthese-Kautschuk, die nur geringe Zinkanteile enthalten und nahezu geruchlos sind. EPDM-Mischungen sind neu hergestellte Produkte und keine Recyclingenerzeugnisse. Daher sind die Kosten für die Herstellung aufgrund der Rohstoffpreise und des energieintensiven Herstellungsprozesses viel höher als im Vergleich zu recycelten Gummigranulaten aus Altreifen. Bei einer durchschnittlichen Fußballplatzgröße von 6000 m<sup>2</sup> und einem Verbrauch von ca. 15 kg/m<sup>2</sup> Granulat, können durch den alternativen Einsatz von recycelten Gummigranulaten anstelle der EPDM-Mischungen enorme Kostenersparnisse für den Abnehmer prognostiziert werden.

Weitere umweltrelevante Aspekte im geplanten Forschungsprojekt sind:

- a) wasser- und gasundurchlässige Umhüllung für das Recyclinggranulat
  - ↳ enorme Entlastung für die Umwelt, da keine schädlichen Bestandteile aus dem Altgummi mehr ausgetragen werden können und so in das Grundwasser gelangen
- b) Wiederverwendung von Altgummi (Recyclingprodukt aus alten Reifen)
  - ↳ Ressourcen können geschont und Abfallprodukte als neuwertige Rohstoffe wieder verwendet und so zurück in den Stoffkreislauf geführt werden
  - ↳ da das Kreislaufwirtschaftsgesetz die stoffliche oder energetische Verwertung von Reststoffen fordert, ist der erneute Einsatz in einem Produktionsprozess von höchster Priorität
- c) Energieersparnis beim Recycling von Altreifengranulat im Vergleich zu einer Neuherstellung von EPDM-Granulat
  - ↳ positives umwelttechnisches Resultat

Somit ist ein dauerelastisch, wasser- und gasdicht beschichtetes, geruchs- und umweltneutrales Gummigranulat aus Altreifen ein kostengünstiges Material mit gleichzeitig schwingungsdämpfenden und stoßabsorbierenden Eigenschaften, welches nach Beendigung der Nutzungsdauer wieder zu 100% recycelt werden kann.

Aus den vorher beschriebenen Erkenntnissen entstand das Ziel des Forschungsprojektes:

↳ Entwicklung einer dauerelastischen, langzeitstabilen, weitestgehend wasser- und gasdichten Ummantelung für Gummipartikel aus recyceltem Altgummi, wodurch umweltschädliche Zinkauswaschungen aus dem Gummigranulat vermieden werden sollen.

Die Realisierung der Forschungszielstellung erfolgte in Anlehnung an die Hauptarbeitspunkte:

- Recherche zu bestehenden Einstreugranulaten und Kunstrasensystemen auf der Basis von Altreifengranulat – Patentrecherche
- Analyse der recycelten Gummigranulate in Bezug auf umweltschädliche Bestandteile
- Definition der Anforderungen an die Beschichtung sowie spezifische Anwendungsparameter
- Untersuchung verschiedener Kunststoffe in Bezug auf ihre Eignung als Beschichtungsmaterial für recyceltes Gummigranulat
- Optimierung (Untersuchung) der Schichtdicke der Beschichtung
- Untersuchung des thermischen Verhaltens
- Untersuchungen zu den Einzelbestandteilen der Beschichtung
- Entwicklung von Technologievarianten zur Beschichtung des Gummigranulates sowie verfahrenstechnologische Umsetzung
- Versuche zur Optimierung der Herstellungsparameter
- Untersuchungen zum Abriebverhalten und zur Standfestigkeit des beschichteten Granulates unter praxisnahen Bedingungen
- Untersuchungen zum Rutschverhalten des beschichteten Granulates
- Wärmetechnische Untersuchungen mittels Thermographie
- Untersuchung der Langzeitstabilität
- Nachweis, dass keine Schadstoffe aus den beschichteten Gummigranulatpartikeln ausgewaschen werden kann; Prüfung nach DIN 18035-7
- Patentanmeldung



## 3 Hauptteil

---

### 3.1 Recherche zum Stand der Technik - Patentrecherche

Nach dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren bekannt, in denen Gummipartikel zu elastischen Bahnen, Matten, Blöcken oder anderen Formkörpern verarbeitet werden. Dem dabei verwendeten Bindemittel werden zumeist auch Farbstoffe beigefügt, welche die schwarze Farbe überdecken. In Abhängigkeit von den verwendeten Fertigungsverfahren sind vergleichsweise hohe Mengen an kostenintensiven Bindemitteln und Farbpigmenten notwendig, um eine sichere Überdeckung der schwarzen Farbe und eine ausreichende Partikelhaftung zu bewirken. Bei diesen Verfahren werden die Gummipartikel mit dem Bindemittel umhüllt und während des Mischens durch das Bindemittel mit anderen Partikeln verklebt. Als Ergebnis liegt immer ein fester Verbund von Gummipartikeln in bestimmten Ausführungen vor.

Aus DE 2455679 ist ein Verfahren zur Herstellung einer elastischen Schicht aus Gummigranulat bekannt. Hier werden die Gummipartikel direkt nach dem Vermischen zu Schichten vernetzt. Dementsprechend ist der Bindemittelanteil bei diesem Verfahren hoch – zwischen 25 und 30 Gewichtsanteile Bindemittel auf 100 Gewichtsanteile Gummigranulat. Es ist von einer starken Auswaschung von Schadstoffen auszugehen.

In der Patentschrift DE 19631251 A1 ist ein Verfahren zum Mischen von Altgummipartikeln mit flammenhemmenden Substanzen und einer wässrigen Dispersion oder Emulsion aus vernetzbarem Polymer unter Wärmezufuhr beschrieben. Zweck dieser Mischung und der dadurch erreichten Beschichtung ist es den Flammpunkt des Altgummis zu erhöhen. Die nach diesem Verfahren erzielte Beschichtung verhindert jedoch nicht den Gummigeruch und das Auswaschen von Schadstoffen aus dem Altgummi. Die Partikel werden nicht lose verwendet, sondern zur Herstellung von Schichten, Bahnen, Blöcken und Formkörpern eingesetzt. Der Bindemittelanteil dieser Gummipartikel liegt zwischen 20 und 35 Gewichtsanteile Bindemittel auf 100 Gewichtsanteilen Gummipartikel.

In DE 2110327 wird ein Herstellungsverfahren für elastische Unterlagen (Matten) für Sportanlagen aus Altreifengranulat und Bindemittel vorgestellt. Hier werden Granulat und Bindemittel an Ort und Stelle vermischt und auspolymerisiert. Bei diesem Verfahren ist anzumerken, dass der Austrag von Schadstoffen aus dem Altgummi und auch der unangenehme Gummigeruch nicht unterbunden werden kann.

Im Unterschied zum vorangegangenen Patent, wird in DE 19833819 A1 ein Verfahren zur Fertigung von Sportbelägen dargestellt, wobei als Bindemittel eine wässrige Polyurethan-Dispersion und als Füllstoff EPDM-Granulate in verschiedenen Mengen verwendet werden.

Herstellung, Mischung und Einbau erfolgen vor Ort. Der Vorteil der wässrigen Polyurethan-Dispersion im Vergleich zu anderen Bindemitteln ist die Umweltfreundlichkeit und die Verbesserung der Produkteigenschaften des Sportbelags, wie z.B. mechanische Eigenschaften, UV-Beständigkeit und Farbstabilität. Nachteilig sind die hohen Kosten des EPDM-Granulates.

Im Patent WO 02/18706 A1 ist ein neues Verfahren zur Herstellung von Kunstrasen beschrieben. Diese Kunstrasen bestehen aus festen Kunstfasern, die auf einem flexiblen Basismaterial befestigt sind. Zwischen dem Kunstrasen werden EPDM-Gummikörnchen und Sand eingestreut. Hierbei sind die sehr hohen Kosten des EPDM-Granulates als besonders nachteilig zu sehen.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass nach dem aktuellen Stand der Technik als Füllmaterial in Kunstrasenplätzen überwiegend künstlich hergestellte Gummimischungen, so genannte EPDM-Granulate eingesetzt werden. Dieser Synthese-Kautschuk hat den Vorteil, dass nur geringe Schadstoffanteile im Granulat vorhanden sind. Des weiteren kann EPDM-Granulat in jeder Farbe geliefert werden und ist nahezu geruchlos, was im Vergleich zum schwarzen, nach Gummi riechenden Recyclinggranulat ein weiterer Vorteil ist. Der große Nachteil von derartigen EPDM-Granulaten sind die sehr hohen Kosten.

Bei der Aktualisierung der Patentrecherche wurde festgestellt, dass am Markt eine materialtechnische Umorientierung stattfindet. Eine Tendenz ist dahingehend zu beobachten, dass auch andere Anbieter auf der Suche nach neuen, preiswerten Gummigranulaten in Form der Nutzung von Recyclingprodukten sind. Es besteht demnach sehr großer Bedarf darin, zum einen Altreifen sinnvoll wiederzuverwerten und zum anderen preiswerte Einstreugranulate für Kunstrasenplätze mit deutlich verbesserten Eigenschaften herzustellen. Ein neues Verfahren wird im nachfolgenden Patent veröffentlicht. In der Offenlegungsschrift WO2005/021625A1 (angemeldet am 10.03.2005) wird ein völlig neues und umweltfreundliches Gummigranulat vorgestellt, welches demnächst in Fußballstadien in aller Welt getestet werden soll. Das Granulat besteht zu 100% aus alten Autoreifen und wird in einem so genannten Nanomanipulationsprozess, bei dem das Gummigranulat mit CO<sub>2</sub> „gewaschen“ wird, hergestellt. Das Produkt trägt den Namen Super Rubber und ist, da umweltfreundlich und geruchsneutral, für Kunstrasenanlagen geeignet. Bei der Herstellung von Super Rubber wird unter Einsatz der neuen Nanotechnologie das Gummigranulat unter Hochdruck mit superkritischem Kohlendioxid CO<sub>2</sub> „gewaschen“. In einem 2-in-1-Verfahren werden verschiedene Gerüche im Recyclinggummi entfernt und der Inhalt an so genannten PAHs (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) reduziert bzw. potenziell völlig eliminiert. Die PAHs gefährden das Grundwasser beim Versickern. Das als Lösungsmittel verwendete CO<sub>2</sub> ist nicht toxisch und nicht brennbar. Durch die Patentschrift WO2005/021625 wird das aktuelle Forschungsprojekt nicht beeinflusst. Ein erster Kostenvergleich zu diesem Material sichert der entwickelten Beschichtungstechnologie gute Marktchancen.

Aus der Patentrecherche wird deutlich, dass es allgemein betrachtet schon eine Vielzahl an Patenten zur Verwendung von Gummigranulat als Matten, Formteile und Einstreugranulat gibt. Es wird jedoch festgestellt, dass sehr großer Forschungsbedarf in Bezug auf recycelte Gummigranulate für eine umweltfreundliche Verwendung als Füllmaterial z.B. für Kunstrasen besteht, wobei eine Akzeptanz nur vorhanden ist, wenn keine Umweltbelastung auftritt.

### 3.2 Analyse der recycelten Gummigranulate auf umweltschädliche Bestandteile

Bei der Analyse der recycelten Gummigranulate auf umweltschädliche Bestandteile soll die Bestimmung der Metallablagerungen im Vordergrund stehen.

Die Untersuchungen zu Metallablagerungen auf der Oberfläche von Altgummi- und Neugummigranulat erfolgte inklusive der Bestimmung der Gewichtsanteile und der Bestimmung der Größenverteilung der Metallablagerungen auf dem Gummigranulat.

- REM -Untersuchung: Anfertigung von Schliffproben
  - ↳ mikroskopische Begutachtung der Gummigranulate
  - ⇒ Analyse der Metallablagerungen mittels REM
  - ⇒ Korngrößenbestimmung mittels REM

Die Analyse der Metallablagerungen gestaltet sich mittels REM schwierig, da in den einzelnen Gummigranulaten unterschiedliche Mengen an Metallablagerungen enthalten sind. Um eine statistische Sicherheit zu gewährleisten müssten ca. 1000 Proben analysiert werden, was sehr zeitaufwendig und kostenintensiv wäre.

- Probenmaterial: Untersuchung von schwarzem Altreifengranulat
  - ⇒ schwarzes Gummigranulat als loses Granulat (Korngröße: ca. 2 bis 7 mm)

- analytische Untersuchung:

Das Ziel der analytischen Untersuchung bestand in der Nachweisführung der inhaltlichen Bestandteile Eisenpartikel in Menge und Größe.

Die Bewertung des Granulates unter dem Mikroskop verweist auf ausschließlich Elastomerpartikel. Zwischen diesen oder in diesen anhaftend sind keine Metallpartikel vorgefunden worden. Es wurde bis dahin angenommen, dass diese sich eingeschlossen in den Elastomerpartikeln befinden. Daraufhin wurde von wenigen Partikeln eine Thermoanalyse erstellt. Die durchgeführte TGA belegt, dass ein un stetiger Abbau unter Sauerstoffzugabe eintritt, der ab 250°C verstärkt in Erscheinung tritt und um ca. 500°C auf einen Veraschungsrest von ca. 14 % verweist. Dieses Ergebnis verweist auf Eisenfreiheit bzw. Mikrospuren. Möglicherweise erweist sich die entnommene Probe aus dem Granulat nicht als repräsentativ.

Aufgrund dessen wurde eine größere Menge des Gummigranulats im Muffelofen 4 Stunden bei 680°C verascht (Gesamteinwaage 49,61 g). Die Rückstandsmenge beträgt 5,35 g und entspricht somit 10,8 % der Einwaage.

Der veraschte Rückstand ist wie folgt zu beschreiben:

- ↳ homogene feinste grau aussehende Aschepartikel ohne inhomogene Auffälligkeiten.

An dieser Stelle ist auszusagen, dass Betrachtungen unter dem Mikroskop diesen Ascherückstand als Füllstoffe des Elastomers definieren. Die Größe dieser Aschepartikel beträgt < 0,25 mm.

Weiterhin erfolgte eine Eisenbestimmung aus dem veraschten Rest - Verfahren über Aufschluss mit Natriumhydrogen-Sulfat photometrisch.

Ergebnis: Qualitativ konnten Eisenspuren nachgewiesen werden, quantitativ liegen die Eisenspuren unterhalb der Bestimmungsgrenze (Bestimmungsgrenze 20 mg/kg).

Fazit:

Die analytischen Untersuchungen des Gummigranulates belegen, dass in der untersuchten Probe keine Eisenanteile vorliegen, die mikroskopisch erkennbar sind bzw. sich durch analytischen Nachweis mengenmäßig belegen lassen.

Es kann jedoch nicht eindeutig ausgeschlossen werden, dass Spuren von Metallen (Eisen, Zink) aus der Oberfläche der Gummigranulate vorliegen.

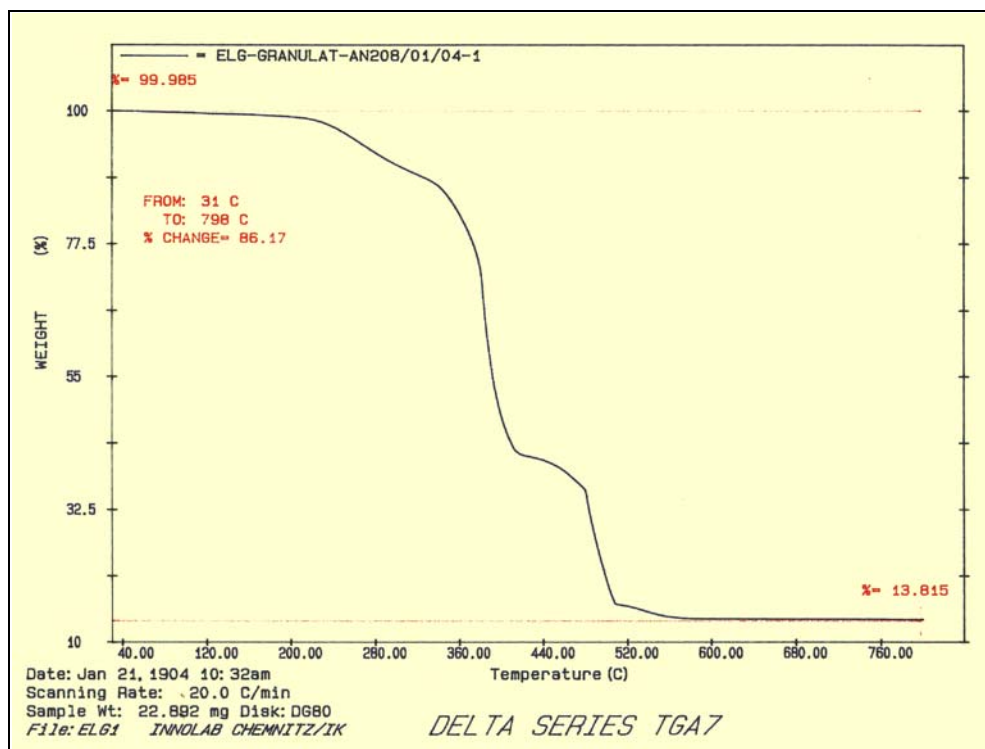


Abb. 2: TGA – schwarzes Gummigranulat

### 3.3 Definition der Anforderungen an die Beschichtung

Die Definition der Anforderungen an die Beschichtung erfolgt unter Betrachtung der Eigenschaften des Gummigranulates und spezifischer Anwendungsparameter.

Nach DIN 18035-7 muss das Kunstrasensystem, so beschaffen sein, dass die Umwelt nicht verschmutzt wird durch:

- a) Freisetzung schädlicher Gase und gefährlicher Teilchen an die Luft;
- b) Wasser- oder Bodenverunreinigungen oder –vergiftungen.
- c) Im Hinblick auf Verwertung und Entsorgung nach der Nutzung ist insbesondere zu achten:
  - auf die Verwendung schadstoffarmer Materialien
  - auf die Beschränkung möglichst wenig unterschiedlicher Materialsorten
  - auf die gute Trennfähigkeit der einzelnen Schichten
  - auf die vorrangige Verwertung der Materialien durch Recycling

Aus den oben genannten Punkten ergibt sich die Forderung, das recycelte Gummigranulat mit einer speziellen Beschichtung zu umhüllen. Die Beschichtung sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- a) Gasundurchlässigkeit:
  - ⇒ Verhinderung der Geruchsbelästigung durch Altgummigaudünstungen
- b) Wasser- und Schadstoffundurchlässigkeit:
  - ⇒ enorme Entlastung für die Umwelt, da keine schädlichen Bestandteile aus dem Altgummi mehr ausgetragen werden und so in das Grundwasser gelangen
- c) Gute Haftfähigkeit der Beschichtung am Untergrund (Recyclinggranulat):
  - ⇒ Oberfläche des Gummigranulates soll zur Minderung der Rutschgefahr frei von öligen und fetthaltigen Substanzen sein – Beschichtung muss Granulat vollflächig umhüllen
- d) Frostbeständigkeit:
  - ⇒ Verhinderung von Abplatzungen der Beschichtung von der Gummigranulatoberfläche
- e) Abriebbeständigkeit:
  - ⇒ Verhinderung von Fehlstellen der Beschichtung infolge Abriebs
- f) Vollflächige Umhüllung der Gummigranulate bei gleich bleibender Schichtdicke:
  - ⇒ Verhinderung von Fehlstellen der Beschichtung bei Optimierung der Schichtdicke
- g) Verbesserung der thermischen Eigenschaften:
  - ⇒ Minderung der thermischen Belastung durch Wärmeaufnahme bei Sonneneinstrahlung
- h) Verbesserung der Brandeigenschaften:
  - ⇒ Beschichtetes Gummigranulat soll den Anforderungen an die Baustoffklasse B2 nach DIN 4102 genügen

### 3.4 Untersuchung der Schichtdicke der Beschichtung

Die Untersuchungen zur Schichtdicke der Ummantelung mit Bindemittel wurde in Abhängigkeit der zugegebenen Menge an Polyurethan (5 bis 15 M.%) durchgeführt.

- Untersuchung:
  - ↳ visuelle Begutachtung der Gummigranulate in Abhängigkeit der zugegebenen Polyurethanmengen (grünes PUR)
  - ↳ mikroskopische Betrachtung der Gummigranulate in Abhängigkeit der zugegebenen Polyurethanmengen (grünes PUR) mittels Stereomikroskop STEMI 2000-C Zeiss
  
- Probenmaterial: Untersuchung von PUR-beschichtetem Granulat als loses Granulat
  - ⇒ loses Granulat in der Korngröße 2,5 bis 7,0 mm, umhüllt mit unterschiedlichen Mengen an zugegebenem Polyurethan (PUR grün); Zur Vorbereitung der Untersuchungen wurden die Gummigranulate mit unterschiedlichen Mengen an grünem Polyurethan (5, 10, 15 M.%) im Innenmischer vermischt und zur Ermittlung des Benetzungsverhaltens mittels STEMI in Epoxydharz eingebettet und angeschliffen.
  - ⇒ loses Granulat in der Korngröße 0,4 bis 2,5 mm, umhüllt mit ca. 10% Polyurethan (PUR grün); Zur Vorbereitung der Untersuchungen wurden die Gummigranulate mit grünem Polyurethan (ca. 10 M.%) in der Mischanlage der MRH vermengt und zur Ermittlung des Benetzungsverhaltens mittels STEMI in Epoxydharz eingebettet und angeschliffen.

- Visuelle Begutachtung:

Bei der rein visuellen Betrachtung der Proben ist festzustellen, dass die Probe mit 5 M.-% Polyurethan Lücken in der Beschichtung aufweist. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei einigen Partikeln nicht das gesamte Gummigranulateilchen mit grünem Polyurethan umhüllt ist. Bei den anderen Proben hingegen, konnten bei der visuellen Begutachtung keine Fehlstellen in der Beschichtung identifiziert werden.

- Betrachtungen im Stereomikroskop:

Eine genaue Begutachtung der Oberflächenzustände erfolgte mittels Stereomikroskop. Bei einem 6,5 bis 50fachen Vergrößerungsbereich entsteht ein räumlicher Eindruck der Probeoberfläche bei guter Schärfentiefe und hoher Auflösung. Bei der Betrachtung der mikroskopischen Bilder (Abb. 3 bis 14) sind die Unterschiede der einzelnen Proben deutlich sichtbar:

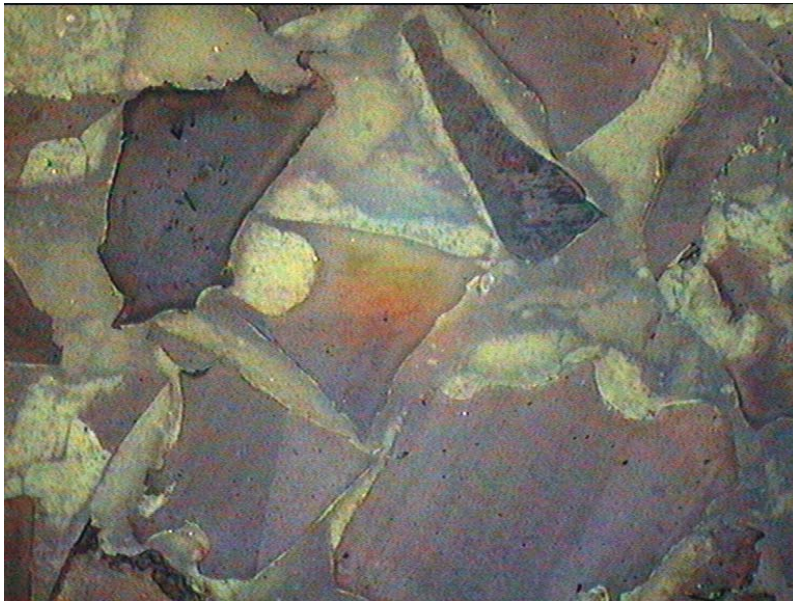
Probe 1: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 5 Masseprozent grünem PUR

Abb. 3:

Probe 1:

5 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 7 : 1



Abb. 4:

Probe 1:

5 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 20 : 1

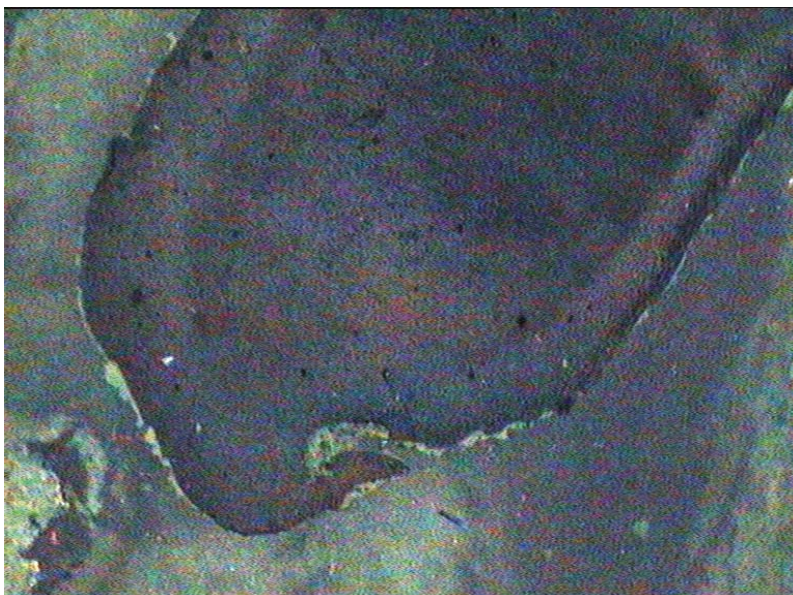


Abb. 5:

Probe 1:

5 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 30 : 1

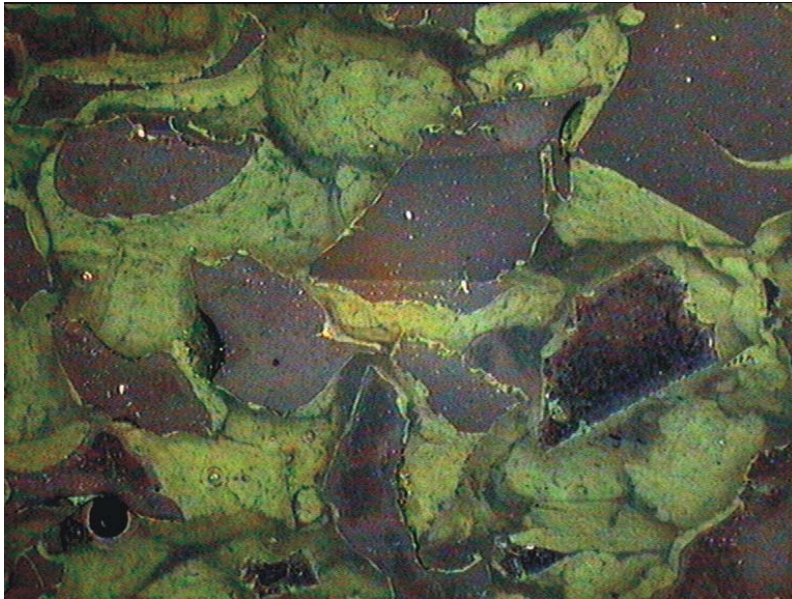
Probe 2: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 10 Masseprozent grünem PUR

Abb. 6:

Probe 2:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 7 : 1

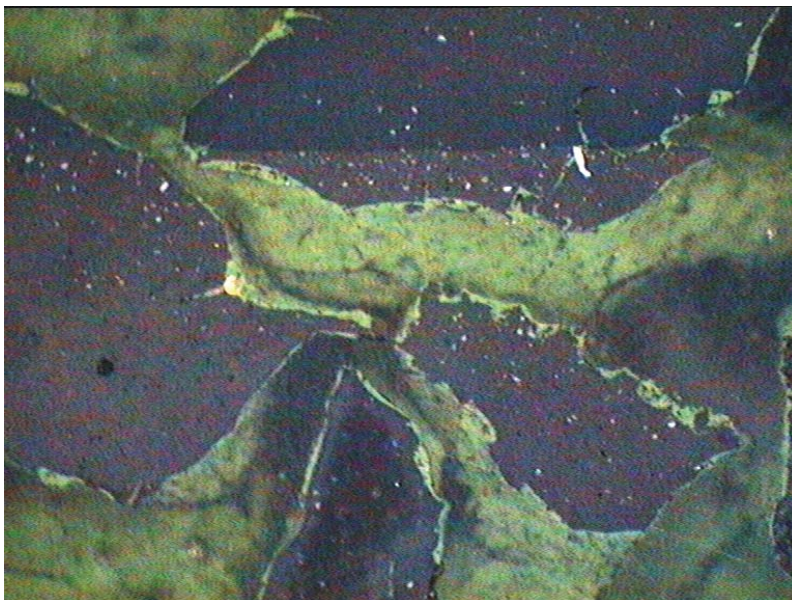


Abb. 7:

Probe 2:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 20 : 1

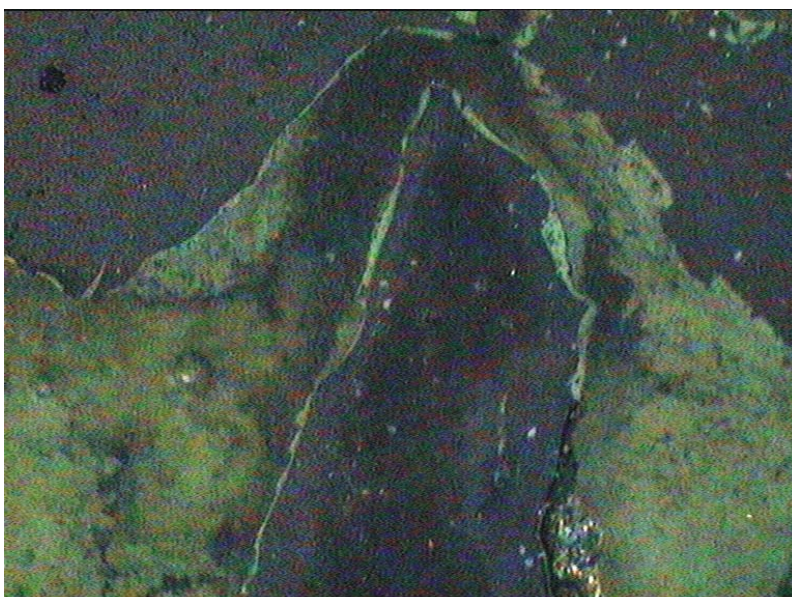


Abb. 8:

Probe 2:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 30 : 1



Probe 3: Gummigranulat 2,5-7,0 mm umhüllt mit 15 Masseprozent grünem PUR

Abb. 9:

Probe 3:

15 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 7 : 1

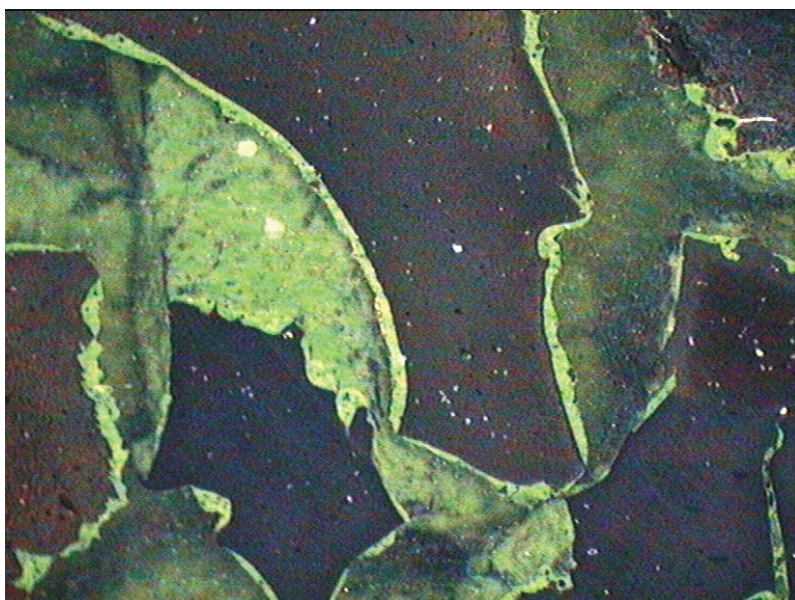


Abb. 10:

Probe 3:

15 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 20 : 1

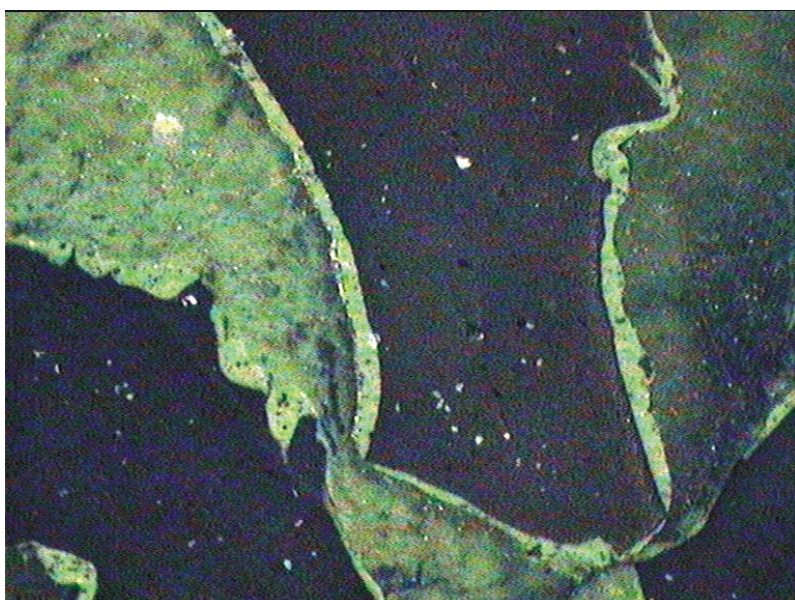


Abb. 11:

Probe 3:

15 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 2,5-7,0 mm

Vergrößerung: 30 : 1

Probe 4: Gummigranulat 0,4-2,5 mm umhüllt mit 10 Masseprozent grünem PUR

Abb. 12:

Probe 4:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 0,4-2,5 mm

Vergrößerung: 7 : 1

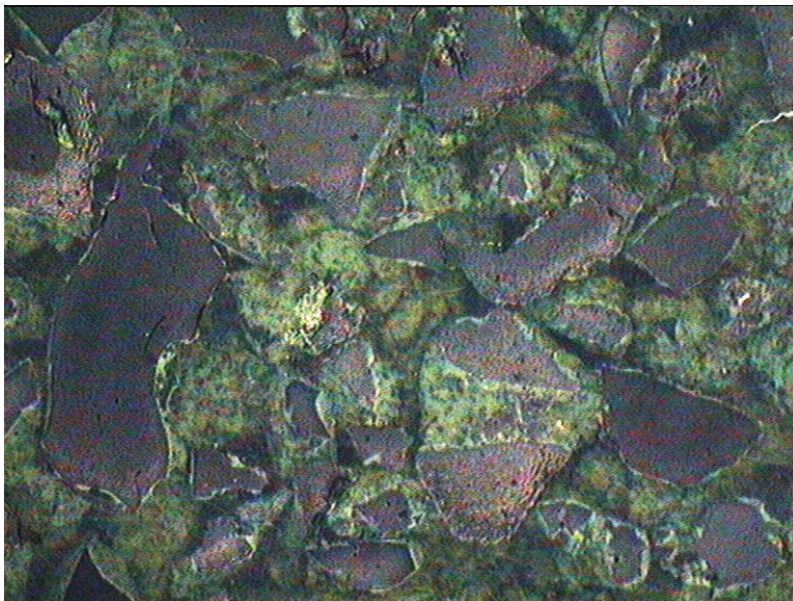


Abb.13:

Probe 4:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 0,4-2,5 mm

Vergrößerung: 20 : 1

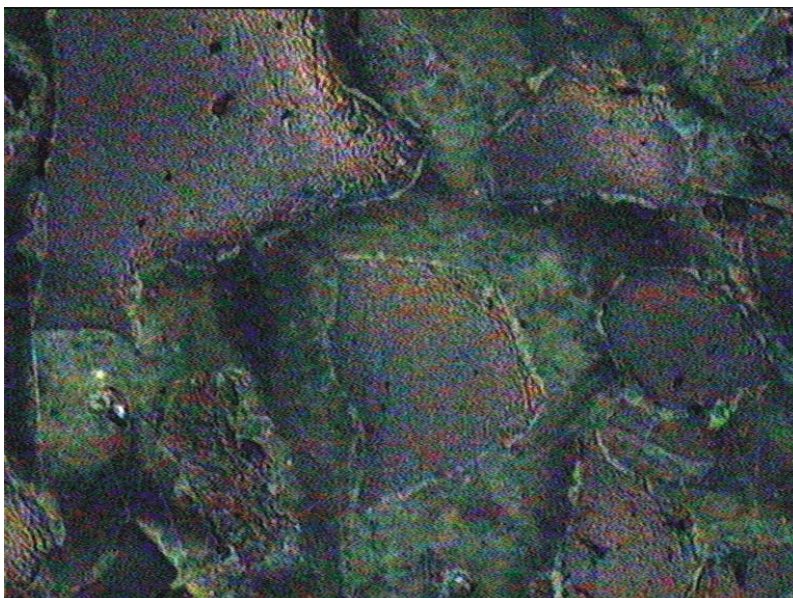


Abb. 14:

Probe 4:

10 M.% grünes PUR +  
Gummigranulat 0,4-2,5 mm

Vergrößerung: 30 : 1

▫ Tab. 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Beobachtungen im Stereomikroskop:

Proben		Ergebnisse
1	5 M.% grünes PUR + Gummigranulat 2,5-7,0 mm	- PUR - Beschichtung weist deutliche Lücken/Fehlstellen auf - sehr dünne, inhomogene Polyurethanschicht - Dicke der Beschichtung: 0 bis 10 µm ⇒ keine vollständige Beschichtung des Gummigranulats
2	10 M.% grünes PUR + Gummigranulat 2,5-7,0 mm	- keine sichtbaren Lücken in der PUR - Beschichtung - gleichmäßige, etwas dickere Polyurethanschicht - Dicke der Beschichtung: 5 bis 20 µm, örtlich bis zu 30 µm ⇒ vollständige Beschichtung des Gummigranulats
3	15 M.% grünes PUR + Gummigranulat 2,5-7,0 mm	- gleichmäßige, wesentlich dickere Polyurethanschicht - örtliche Anhäufung von PUR – inhomogene Verteilung - örtliche Verklumpungserscheinungen - Dicke der Beschichtung: 15 bis 40 µm, örtlich bis zu 50 µm ⇒ vollständige Beschichtung des Gummigranulats
4	ca. 10 M.% grünes PUR + Gummigranulat 0,4-2,5 mm	- minimale Lücken in der PUR - Beschichtung - dünne, homogene Schicht aus grünem Polyurethan - Dicke der Beschichtung: 5 bis 20 µm, örtlich bis zu 35 µm ⇒ nahezu vollständige Beschichtung des Gummigranulats

▫ Fazit:

Schlussfolgernd aus den Untersuchungen bezüglich der Dicken der Beschichtung werden die Probenvarianten 2 und 4 favorisiert. Bei diesen beiden Varianten werden jeweils 10 Masseprozent des grün pigmentierten Polyurethans als Beschichtung zugegeben. Somit wird eine vollflächige Umhüllung der Gummigranulate mit Polyurethan, ohne Lücken oder Fehlstellen in der Beschichtung, gewährleistet. Die so erhaltenen Gummipartikel sind nicht miteinander verklebt, rieselfähig und an ihrer kompletten Oberfläche dauerelastisch umhüllt, mit einer mittleren Schichtdicke von ca. 10 bis 20 µm. Bedingt durch die unregelmäßige Form der Partikel ist die Schicht an manchen Stellen auch 30 bis 35 µm dick. Die schwarze Farbe des Altgummis wird durch die grünen Farbpigmente vollständig überdeckt.

Aus diesen Untersuchungen schlussfolgernd, werden demnach für weitere Tests Recyclinggummigranulate mit einer Korngröße von 0,4 bis 7 mm mit grün pigmentiertem Polyurethan in einer Menge von 10 Masseprozent beschichtet.

### 3.5 Untersuchung des thermischen Verhaltens

#### 3.5.1 Wärmeaufnahmefähigkeit bei Wärmeerbringung mittels Infrarotstrahlung

- Versuchsaufbau: Anordnung von Infrarotstrahlern auf einer Platte, worunter sich die Probe in Form von losem Granulat befindet
  - ↳ Erwärmung der Probe über einen gewünschten Zeitraum (*Temperaturbereich bis 60°C*)
  - ⇒ Aufnahme einer Temperaturkurve mittels Thermokamera
  - ⇒ Vergleich der Wärmeaufnahmefähigkeiten verschiedener Gummigranulate
  
- Probenmaterial: Untersuchung von PUR -beschichtetem Recyclinggummigranulat im Vergleich zu schwarzem Recyclinggummigranulat als lose Schüttung
  - ⇒ PUR -beschichtetes, loses Gummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm
  - ⇒ schwarzes, loses Gummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm

#### ▫ Untersuchung:

Zur Beurteilung einer prinzipiellen Eignung von schwarzem Gummigranulat als Einstreugranulat für Kunstrasensysteme, wurden Messungen zur Wärmeaufnahmefähigkeit durchgeführt.

Zur Untersuchungen wurden folgende Granulate ausgewählt:

- (1) schwarzes Recyclinggummigranulat als lose Schüttung (Korngröße 2,5 - 7,0 mm)
- (2) mit grünem Polyurethan beschichtetes Recyclinggummigranulat (als lose Schüttung; Korngröße 2,5 bis 7,0 mm)
- (3) schwarzes EPDM -Granulat als lose Schüttung (Korngröße 2,5 bis 7,0 mm)

Die Messungen der Wärmeaufnahmefähigkeiten der verschiedenen Gummigranulate erfolgten mittels Thermokamera. Dabei wurden zeitabhängige Temperaturmessungen infolge Erwärmung der Granulatoberfläche mittels Infrarotstrahlern durchgeführt.

Nach der Ausführung der Messungen wurde festgestellt, dass die Wärmeaufnahmefähigkeit des schwarzen Gummigranulates am größten ist. Wird das schwarze Recyclinggummigranulat mit grünem Polyurethanbinder beschichtet, ist eine Reduktion der Wärmeaufnahmefähigkeit um circa 5°C zu beobachten. Werden vergleichsweise andere Granulate aus Neugummi, wie ist zum Beispiel EPDM -Granulat, betrachtet, so ist hier die geringste Wärmeaufnahmefähigkeit zu messen. Diese Tendenzen werden in der nachfolgenden Abbildung 15 grafisch dargestellt.

Es ist dabei zu betonen, dass die Temperaturunterschiede (ca. 5 bis 10°C) zwischen den einzelnen Granulaten nicht sehr groß sind. Werden jedoch wärmetechnische Aspekte betrachtet, können 5 bis 10°C Temperaturunterschied, bezogen auf einen Kunstrasenfußballplatz (6000 m<sup>2</sup>), erheblich über die Wärmebelastung vor Ort entscheiden.

▫ grafische Darstellung der Untersuchungsergebnisse:

Zur Verdeutlichung der temporären Wärmeaufnahmefähigkeit der Gummigranulate bei Infrarotstrahlung werden im Anhang verschiedene Thermobilder gegenübergestellt.

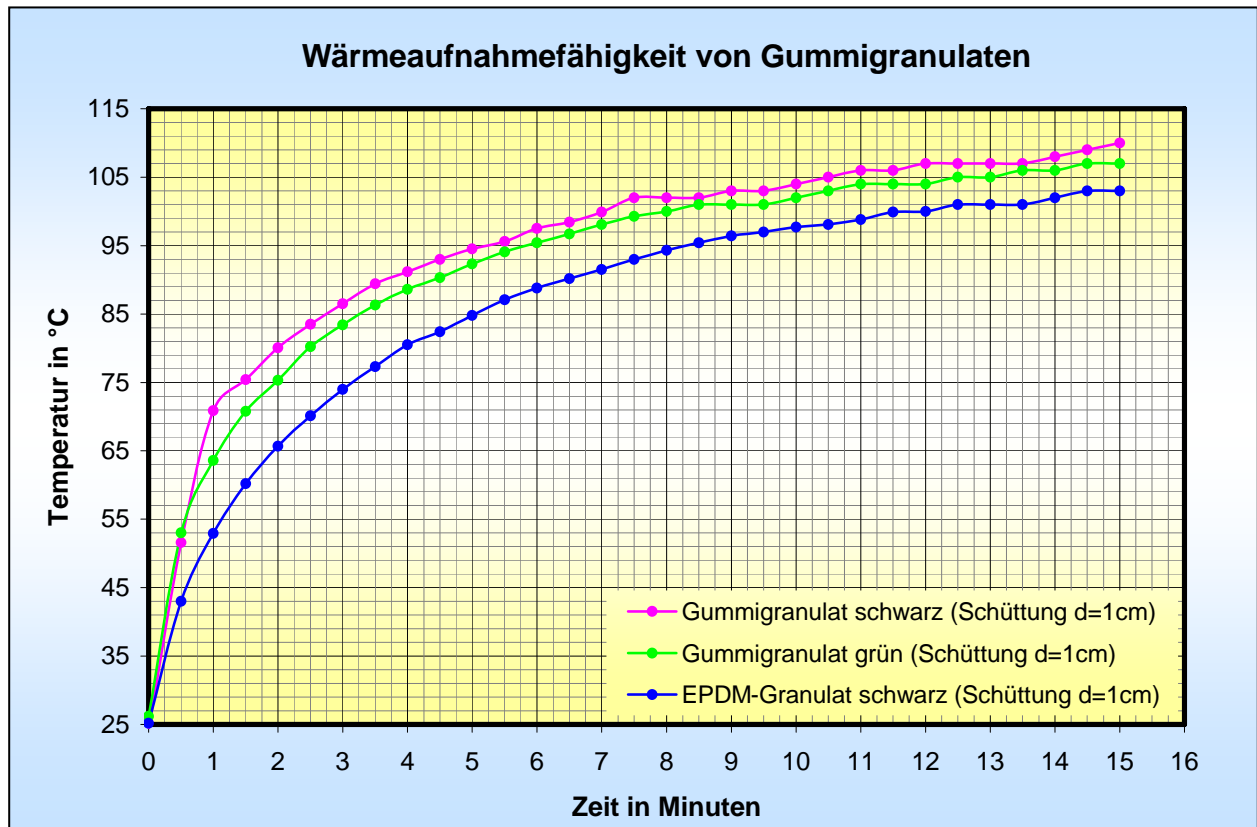


Abb. 15: Wärmeaufnahmefähigkeit von verschiedenen Gummigranulaten

### 3.5.2 Wärmeaufnahmefähigkeit bei Sonneneinstrahlung

- Versuchsaufbau: Anordnung der Proben in Form von losem Granulat auf einer neutralen Unterlage
- ↳ Erwärmung der Probe durch Sonneneinstrahlung
  - Messdatum: 20.07.2005 bei direkter Sonneneinstrahlung
  - Beginn der Messung: 10:30 Uhr
  - ⇒ Aufnahme der Wärmeaufnahme mittels Thermokamera
  - ⇒ Vergleich der Wärmeaufnahmefähigkeiten der verschiedenen Gummigranulate und Gummigranulatmatten
- Probenmaterial: Untersuchung von PUR -beschichtetem Recyclinggummigranulat im Vergleich zu schwarzem Recyclinggummigranulat als lose Schüttung
- ⇒ PUR -beschichtetes, loses Gummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm
  - ⇒ schwarzes, loses Gummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm
  - ⇒ EPDM-Granulat – als Vergleichsgranulat; Korngröße 0,4 - 7 mm

▫ Untersuchung:

Zur Beurteilung einer prinzipiellen Eignung von schwarzem Gummigranulat als Einstreugranulat für Kunstrasensysteme, wurden Messungen zur Wärmeaufnahmefähigkeit bei Sonneneinstrahlung im Sommer durchgeführt. Zur Untersuchungen wurden verschiedene Gummigranulate ausgewählt.

Die Messungen der Wärmeaufnahmefähigkeiten der verschiedenen Gummigranulate bei Sonneneinstrahlung erfolgten in Analogie zur vorhergehenden Untersuchung.

Nach der Beendigung der Messungen wurde festgestellt, dass die Wärmeaufnahmefähigkeit des schwarzen Gummigranulates, wie auch bei den Messergebnissen bei Infrarotstrahlung, am größten ist. Wird das schwarze Gummigranulat mit grünem Polyurethanbinder beschichtet, ist eine Reduktion der Wärmeaufnahmefähigkeit um circa 6 bis 7°C zu beobachten. Werden vergleichsweise andere Granulate aus Neugummi, wie ist zum Beispiel EPDM-Granulat, betrachtet, so ist hier die geringste Wärmeaufnahmefähigkeit zu messen.

▫ grafische Darstellung der Untersuchungsergebnisse:

Die Darstellung der Wärmeaufnahmefähigkeit der verschiedenen Gummigranulate bei Sonne erfolgt in der nachfolgenden Abbildung sowie im Anhang mittels Thermobilder.

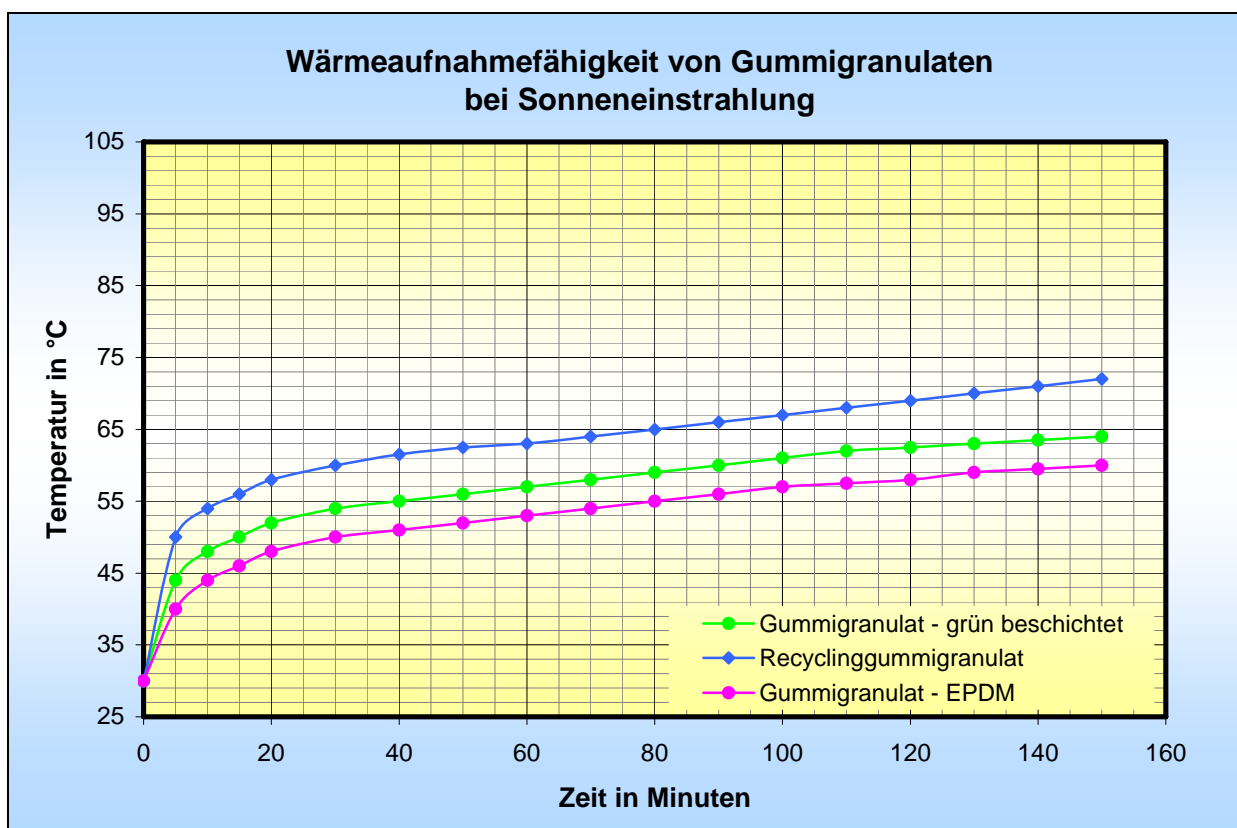


Abb. 16: Wärmeaufnahmefähigkeit von verschiedenen Gummigranulaten bei Sonneneinstrahlung

### Fazit:

Schlussfolgernd aus den Untersuchungen zur Wärmeaufnahmefähigkeit ist festzustellen, dass bei Sonneneinstrahlung eine Erwärmung der verschiedenen Gummigranulate bis auf ca. 60 bis örtlich 70°C stattfindet. Wird Infrarotstrahlung als Wärmequelle benutzt, so ist eine Aufheizung der Gummigranulate von 100 - 110°C zu erkennen. Bei beiden Wärmequellen sind bei den verschiedenen Gummigranulaten gleiche Tendenzen beobachtet worden. Demnach erwärmt sich unbehandeltes Recyclinggranulat am stärksten. Die Proben aus PUR -beschichtetem Recyclinggummigranulat verzeichneten eine im Vergleich zum unbehandelten Recyclinggranulat um ca. 4 bis 7°C geringere Erwärmung. Der Grund dieser Tendenz liegt in der Umhüllung der Gummigranulate mit Polyurethan.

Es ist zu betonen, dass die Temperaturunterschiede (ca. 4 - 10°C) zwischen den einzelnen Granulaten nicht sehr groß sind. Werden jedoch wärmetechnische Aspekte betrachtet, können derartige Temperaturunterschiede, bezogen auf einen Kunstrasenfußballplatz (6000 m<sup>2</sup>), erheblich über die Wärmebelastung vor Ort entscheiden.

## **3.6 Ermittlung der Brandbeständigkeit nach DIN 4102**

Die Prüfung von verschiedenen Gummigranulaten auf Normalentflammbarkeit, d.h. die Klassifizierung der Baustoffklasse B2, erfolgte nach DIN 4102 Teil 1.

- Versuchsaufbau: Einfüllen der Gummigranulatpartikel in einen Drahtkäfig (gemäß ABM-Beschluss). Prüfung auf Normalentflammbarkeit nach DIN 4102 Teil 1
  - ➔ Abschnitt 6.2.5.2 – Kantenbeflammung und
  - ➔ Abschnitt 6.2.5.3 Flächenbeflammung.
- ⇒ visuelle Begutachtung
- ⇒ Messung der Flamme/Entflammung, Rauchentwicklung, etc.
  
- Probenmaterial: Untersuchung von Recyclinggummigranulat im Vergleich zu Neugranulat
  - ⇒ PUR -beschichtetes, loses Gummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm
  - ⇒ schwarzes, loses Recyclinggummigranulat; Korngrößen: 0,4 - 7 mm
  - ⇒ schwarzes EPDM -Granulat als lose Schüttung Korngrößen: 0,4 - 7 mm

### ▫ Untersuchung:

Die Prüfung der Normalentflammbarkeit (Baustoffklasse B2) stellt die Beanspruchung durch eine kleine, definierte Flamme (Streichholzflamme) dar. Unter dieser Beanspruchung müssen die Entzündbarkeit und die Flammenausbreitung innerhalb einer bestimmten Zeit begrenzt sein. Die Prüfung findet im Brennkasten nach DIN 50051 statt (Abb. 17). Die Klassifizierung als B2-Baustoff kann dann erfolgen, wenn bei Kantenbeflammung und bei Flächenbeflammung die Flammspitze die Messmarke innerhalb der vorgegebenen 20 Sekunden nicht erreicht.



Abb. 17: Prüfung B2 - Brennkasten nach DIN 50051

▫ Untersuchungsergebnis:

Die Prüfung der lose geschichteten, verschiedenen Gummigranulate im ABM-Drahtkäfig erfolgte aufgrund der Geometrie nur als Flächenbeflammung. Eine Zusammenfassung der Messwerte wird in Tabelle 2 dargestellt. **Im Ergebnis sind alle Proben als B2-Baustoffe einzuordnen.**

▫ Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Flächenbeflammung nach DIN 4102-1 (6.2.5.3):

Angaben gemäß DIN 4102-1	Prüfergebnisse (Mittelwert aus 10 Einzelmessungen)			Anforderung
	Unbehandeltes Recyclinggranulat	PUR-beschichtetes Recyclinggranulat	EPDM-Gummigranulat	
Entflammung [s]	6	10	16	-
Flammenhöhe [mm]	95	55	30	-
Zeitpunkt des Auftretens [s]	19	19	18	-
Flammenspitze an der Messmark [s]	0	0	0	max. 20
Erlöschen der flamme vor Erreichen der Messmarke [s]	48	26	20	-
Weiterbrennen nach Versuchsende [s]	27	6	0	-
Entzündung des Filterpapiers [s]	0	0	0	1)
Aussehen der Probe nach Brandversuch	Im Einwirkungsbereich der Flammen oberflächlich thermisch geschädigt.			
Rauchentwicklung	Geringe Rauchentwicklung.			

0 = kein Auftreten des Ereignisses

1) = keine Entzündung innerhalb 20 Sekunden nach Versuchsbeginn



### 3.7 Untersuchungen des Abriebverhaltens

Das Abriebverhalten und die Haftfähigkeit der Polyurethanbeschichtung an recyceltem Gummigranulat wurde in Anlehnung an DIN EN 1097-1 geprüft.

- Versuchsaufbau: Einfüllen von losen, mit grünem Polyurethan beschichteten Gummigranulaten in eine Trommel, worin sich Keramikugeln befinden, die bei Rotation der Trommel Abrieb an der Gummigranulatoberfläche erzeugen.
  - ➔ zeitabhängige Trommelbewegung
  - ⇒ visuelle Begutachtung der Granulatoberfläche
  - ⇒ Messung der zeitbedingten Gewichtsreduktion infolge Abriebs

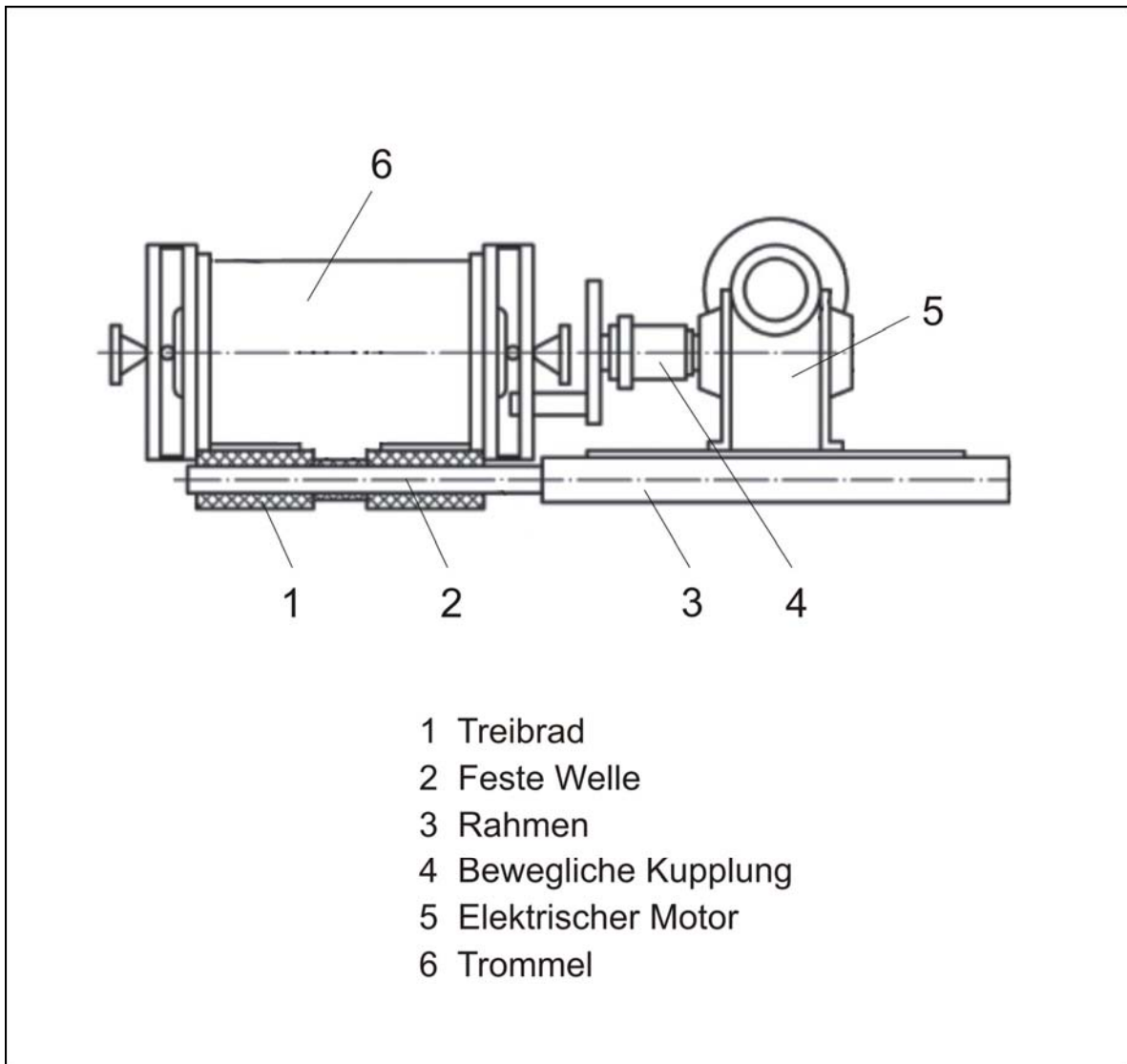


Abb. 18: Prüfgerät zur Bestimmung des Abriebs

- Probenmaterial: Untersuchung von mit grünem Polyurethan beschichteten Granulaten  
⇒ Form: loses Granulat in verschiedenen Korngrößen

- Untersuchung:

Die Prüfung der Haftfähigkeit der Polyurethanbeschichtung am recycelten Gummigranulat erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 1097-1. Gemessen wird der erzeugte Abrieb, der durch Reibung zwischen den einzelnen beschichteten Gummigranulaten und einer Reibmittelladung aus einer definierten Menge Keramikugeln in einer rotierenden Trommel unter festgelegten Bedingungen. Nach Abschluss des Rotierens der Keramiktrommel wird die massenbezogene Menge des Abriebes unter trockener Beanspruchung gemessen. Dabei dient der Siebrückstand auf einem 1,6-mm-Sieb zur Berechnung des Abriebs.

- Versuchsparameter:

Trommel:	Keramiktrommel Ø 10 mm
Reibladung:	Keramikkugeln
Rotationsgeschwindigkeit:	100 U/min
Rotationszeit:	120 min = 12.000 Umdrehungen der Trommel

- Untersuchungsergebnis:

Es erfolgte die Untersuchung der Haftfähigkeit der Polyurethanbeschichtung am recycelten Gummigranulat an 5 Einzelproben. Dabei wurde eine durchschnittliche, massenbezogene Abriebmenge von 0,30 Masseprozent gemessen. Diese Abriebmenge deutet auf einen hohen Widerstand der PUR - Beschichtung gegen Abrieb hin.

Nach einer ausführlichen optischen Betrachtung waren auch keine äußerlichen Zeichen von Abrieb bzw. Fehlstellen oder Schäden in der Beschichtung erkennbar.

- Fazit:

Nach Durchführung der Abriebprüfung in Anlehnung an DIN EN 1097 Teil 1 wurde festgestellt, dass der Widerstand des beschichteten Gummigranulates gegen Abrieb sehr hoch ist. Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann eine sehr gute Haftfähigkeit der Polyurethanbeschichtung am recycelten Gummigranulat nachgewiesen werden.

### 3.8 Untersuchungen des beschichteten Gummigranulats gemäß den ökologischen Anforderungen der DIN V 18035-7

Im Rahmen dieser Prüfung wurde das PUR- beschichtete Recyclinggummigranulat gemäß den Anforderungen (Tabelle 7) der DIN V 18035-7 (Sportplätze – Teil Kunststoffrasenflächen) untersucht und bewertet. Die Untersuchungen bzw. die Zertifizierung nach DIN V 18035-7 wurden vom SGS *Institut Fresenius GmbH* durchgeführt.

- Prüfverfahren:
  - ⇒ Elution mit Wasser nach DIN V 18035-7
  - ⇒ Elution mit CO<sub>2</sub>-gesättigtem Wasser nach DIN V 18035-7
  - ⇒ Bestimmung des gelösten organisch gebundenen Kohlenstoffs (DOC) nach DIN EN 1484 (H3)
  - ⇒ Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atomemissionsspektrometrie ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 (E22)
  - ⇒ Bestimmung von Quecksilber nach DIN EN 1483 (E12) mittels AAS
  - ⇒ Bestimmung der extrahierbaren organisch gebundenen Halogene (EOX) nach DIN 38414-S17
  
- Probenmaterial: Untersuchung von mit grünem Polyurethan beschichteten Granulaten aus recyceltem Altgummi (PUR-Beschichtung = 10 Masseprozent)
  - ⇒ Form: loses Granulat in verschiedenen Korngrößen (0,4 bis 7 mm)
  
- Untersuchung:

#### (1) *Elution mit Wasser:*

Zur Bestimmung des DOC, der Toxizität und des Zinkgehaltes werden 100 Gramm der Probe in einem Liter entionisiertem Wasser während 24 Stunden bei Raumtemperatur über Kopf geschüttelt und anschließend das so entstandene Eluat für die Abtrennung von Partikeln durch einen Glasfilter (säuregewaschen; 0,3 bis 1 µm) abgefiltert (1. Elution: 0 bis 24 h). Die gleiche Probe wird dann einer zweiten Elution mit einem Liter frischem Wasser über 24 Stunden unterzogen (2. Elution: 24 bis 48 h) und das Eluat abgefiltert. Für die Bewertung werden die im 48-Stunden-Eluat bestimmten Konzentrationen des DOC und von Zink sowie die in diesem Eluat erfasste Toxizität herangezogen.

#### (2) *Elution mit CO<sub>2</sub>-gesättigtem Wasser:*

Zur Bestimmung der Konzentration der Schwermetalle werden 100 Gramm Probenmaterial in einer Flasche mit CO<sub>2</sub>-Einleitungseinrichtung mit einem Liter entionisiertem Wasser unter ständiger CO<sub>2</sub>-Begasung während 24 Stunden eluiert. Das Eluat wird durch einen Glasfilter abgefiltert. Anschließend erfolgt eine zweite Elution (24 bis 48 h) mit Abfilterung.

Zur Ablösung der anhaftenden Gasblasen wird die Flasche während der Elution gelegentlich geschüttelt. Die Bewertung erfolgt anhand der im 48-Stunden-Eluat bestimmten Schwermetallkonzentrationen.

*(3) Bestimmung des gelösten organisch gebundenen Kohlenstoffs (DOC)*

Die Bestimmung des DOC erfolgt am membranfiltrierten Extrakt nach DIN 1484. Der anorganische Kohlenstoff in der Wasserprobe kann durch Ausblasen mittels Glasrohr entfernt werden (Probe mit konzentrierter Salzsäure auf pH = 2 bis 3 einstellen und ausblasen).

Für die Bewertung des DOC-Wertes wird das zweite Eluat herangezogen.

*(4) Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppeltes Plasma*

*Atomemissionsspektrometrie ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 (E22)*

Die Grundlage des Verfahrens ist die Messung der Atomemission durch eine optische spektrometrische Technik. Die Proben werden zerstäubt und das gebildete Aerosol wird mit Hilfe eines Trägergases in ein induktiv gekoppeltes Plasma (ICP) transportiert, in dem die Anregung erfolgt. Die charakteristischen emittierten Elementlinien werden mit einem Photometer zerlegt und die Linienintensitäten mit Detektoren gemessen. Mit Hilfe einer Untergrundkompensation werden verschiedene Untergrundbeiträge bei der Bestimmung der Spurenelemente kompensiert.

*(5) Bestimmung von Quecksilber nach DIN EN 1483 (E12) mittels AAS*

Die Bestimmung von Quecksilber erfolgt im sauren Medium durch Zinn(II)-chlorid als Reduktionsmittel. Dabei wird Quecksilber zur elementaren Form reduziert. Das elementare Quecksilber wird dann mit Hilfe eines Inertgasstroms ausgetrieben und als atomares Gas in eine Küvette transportiert. Die Extinktionen (= Abschwächung von Strahlungen) werden dann bei einer Wellenlänge von 253,7 nm im Strahlengang eines Atomabsorptionsspektrometers AAS bestimmt. Die Konzentrationen werden mit Hilfe einer Bezugskurve ermittelt.

*(6) Bestimmung der extrahierbaren organisch gebundenen Halogene (EOX)*

Proben (Granulate) werden in die Extraktionshülse eingewogen und während 24 Stunden im Soxhlet mit *n*-Hexan extrahiert. Dabei quillt das Material zum Teil stark. Der Extrakt wird am Rotationsverdampfer vom Lösungsmittel befreit und im Trockenschrank bei 105°C bis zur Massekonstanz getrocknet und das Gewicht bestimmt. Anschließend wird der Rückstand aus der Soxhlet-Extraktion mit Diisopropylether, Endvolumen 25 ml, aufgenommen. Nachfolgend wird dieser Rückstand im Messkolben möglichst vollständig in Lösung gebracht. Für den Nachweis der halogenorganischen Verbindungen wird nur die überstehende, klare Lösung verwendet.

▫ Tab. 3: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse:

Parameter	Messwert	Anforderung
EOX	< 10 mg/kg	≤ 100 mg/kg
DOC	9,3 mg/l	≤ 20 mg/l bzw. ≤ 40 mg/l
Blei, saures Eluat	< 0,005 mg/l	≤ 0,040 mg/l
Cadmium, saures Eluat	< 0,0005 mg/l	≤ 0,005 mg/l
Chrom gesamt, saures Eluat	< 0,005 mg/l	≤ 0,050 mg/l
Chrom VI, saures Eluat	< 0,005 mg/l	≤ 0,008 mg/l
Quecksilber, saures Eluat	< 0,0002 mg/l	≤ 0,001 mg/l
Zinn, saures Eluat	< 0,005 mg/l	≤ 0,050 mg/l
Zink, saures Eluat *	2,33 mg/l; 1,46 mg/l	≤ 3 mg/l; k.o.-Kriterium 20 mg/l
Zink, neutrales Eluat *	0,03; < 0,01; 0,01 mg/l	≤ 0,5 mg/l; k.o.-Kriterium 1 mg/l

\*) Eine der alternativen Anforderungen (saures oder neutrales Eluat) muss erfüllt sein.  
Das Überschreiten eines der k.o.-Kriterien führt zum Ausschluss des Produktes.

 ▫ Bewertung der Untersuchungsergebnisse:

 (1) *DOC, EOX:*

Die Menge der mit Wasser eluierbaren bzw. mobilisierbaren organischen Inhaltsstoffe (gemessen als DOC) ist 9,3 mg/l und erfüllt somit die Anforderung  $DOC \leq 20 \text{ mg/l}$ .

Die Summe der extrahierbaren halogenorganischen Inhaltsstoffe (gemessen als EOX) ist < 10 mg/kg. Da die Menge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe (die halogenischen Verbindungen umfassend) jedoch  $\leq 20 \text{ mg/l}$  ist, muss gemäß den Anforderungen der DIN der EOX nicht bewertet werden. Eine Bewertung und Beschränkung des EOX auf 100 mg/kg ist nur erforderlich, falls der DOC zwischen 20 und maximal 40 mg/l ist.

 (2) *Schwermetalle:*

Die Menge der im sauren Milieu eluierbaren bzw. mobilisierbaren Schwermetalle Blei (Pb), Chrom (Cr), Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg) und Zinn (Sn) erfüllen die Anforderungen der Norm ( $Pb \leq 0,04 \text{ mg/l}$ ,  $Cd \leq 0,005 \text{ mg/l}$ ,  $Cr \text{ gesamt} \leq 0,05 \text{ mg/l}$ ,  $Cr \text{ VI} \leq 0,008 \text{ mg/l}$ ,  $Hg \leq 0,001 \text{ mg/l}$  und  $Sn \leq 0,05 \text{ mg/l}$ ).

Die Zinkgehalte im sauren Eluat erfüllen mit 2,33 mg/l und 1,46 mg/l die Anforderungen der Norm  $Zn \leq 3 \text{ mg/l}$ , der als Alternative zum Zinkgehalt im sauren Milieu zugelassene Eluatgehalt im wässrigen Milieu von  $\leq 0,5 \text{ mg/l}$  wird mit den drei Messungen 0,03 mg/l, < 0,01 mg/l und 0,01 mg/l auch erfüllt.

**Die Anforderungen der DIN V 18035-7 bezüglich der Umweltverträglichkeit werden vom Probenmaterial (PUR- beschichtetes Gummigranulat aus Recyclingaltreifen) erfüllt.**

### 3.9 Druckspannungs- Verformungseigenschaften nach DIN EN ISO 3386-2

Die Druckspannungs- Verformungseigenschaften sind ein Maß für die tragenden Eigenschaften des zu prüfenden Materials, lassen jedoch keine Aussage zum Verhalten des Stoffes bei Langzeitbelastung zu. ⇒ Kurzzeitbelastungskennwert

- Prüfverfahren: ⇒ Bestimmung der Druckspannungs- Verformungseigenschaften in Anlehnung an DIN EN ISO 3386-2
- Probenmaterial: Untersuchung von mit grünem Polyurethan beschichteten Granulaten aus recyceltem Altgummi (PUR-Beschichtung = 10 Masseprozent)
  - ⇒ Form: loses Granulat in verschiedenen Korngrößen (0,4 bis 7 mm)
  - ⇒ Dichte:  $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$

▫ Untersuchung:

Die Druckspannungs- Verformungseigenschaften des zu prüfenden PUR-beschichteten Recyclinggummigranulats sind abhängig von der Korngröße der einzelnen Granulatpartikel. Das hier angewandte Prüfverfahren beruht auf einer Spannung, resultierend aus der Verformung mit konstanter Verformungsrate während bestimmten Belastungszyklen, als Funktion der Verformung.

Nach entsprechender Konditionierung der Proben wurden die Druckspannungs-Verformungsgrößen in Anlehnung an die DIN EN ISO 3386-2 mit der ZWICK (Druck-Zug-Prüfmaschine) gemessen. Die Probekörper wurden dabei so in die Prüfmaschine eingesetzt, dass die Kraft längs der Mittellinie der Prüfmaschine flächig wirkt. Mit Hilfe der Druckplatte sind die Proben anschließend mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 mm/min auf eine Länge von 3 mm (50 Prozent der Probendicke) zusammengedrückt worden. Es wurde die Kraft bestimmt, die aufgewendet werden musste, um die Proben 3 mm zusammen zu drücken. Dieser Vorgang wurde dreimal wiederholt. Beim vierten Zyklus ist die Kraft in Newton bei der festgelegten Verformung von 3 mm abgelesen worden. Anhand dieser Kraft  $F$  kann die Spannungs-Verformungseigenschaft  $CC_{xx}$ , ausgedrückt in Kilopascal berechnet werden:

$$CC_{xx} = 1000 \cdot \frac{F}{A} \quad \text{in kPa} \quad (1)$$

Hier bedeuten:

$CC_{xx}$  - Druckspannungs- Verformungseigenschaft  
bei einer Verformung  $xx$  ( $xx$  in Prozent)

$F$  - Kraft in Newton bei einer festgelegten Verformung

$A$  - Fläche des Probekörpers in Quadratmillimeter

▫ Untersuchungsergebnisse:

Im Ergebnis der Untersuchungen wird deutlich, dass bei den geprüften Proben mit der Dichte  $1,0 \text{ g/cm}^3$  eine erhebliche Kraftaufwendung nötig ist, um eine Deformation zu erzeugen (Abb. 19). Dabei sind Korngröße und Bindemittelgehalt eher von untergeordneter Bedeutung.

Der aus den Versuchen anhand der Kraftänderung berechnete Spannungs- Verformungswert (Mittelwert aus 5 Messungen) ist:

$$CC_{50} = 3400 \text{ KPa} = 3,4 \text{ MPa} \quad (\text{bei einer Verformung von 50 Prozent})$$

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Gummigranulate mit einer Korngröße von 0,4 bis 7 mm, mit einem Bindemittelgehalt von 10 Masseprozent und einer Dichte von  $1,0 \text{ g/cm}^3$  optimale Druckspannungs-Verformungseigenschaften aufweisen, da bei diesen Proben der Widerstand gegen Deformation groß ist.

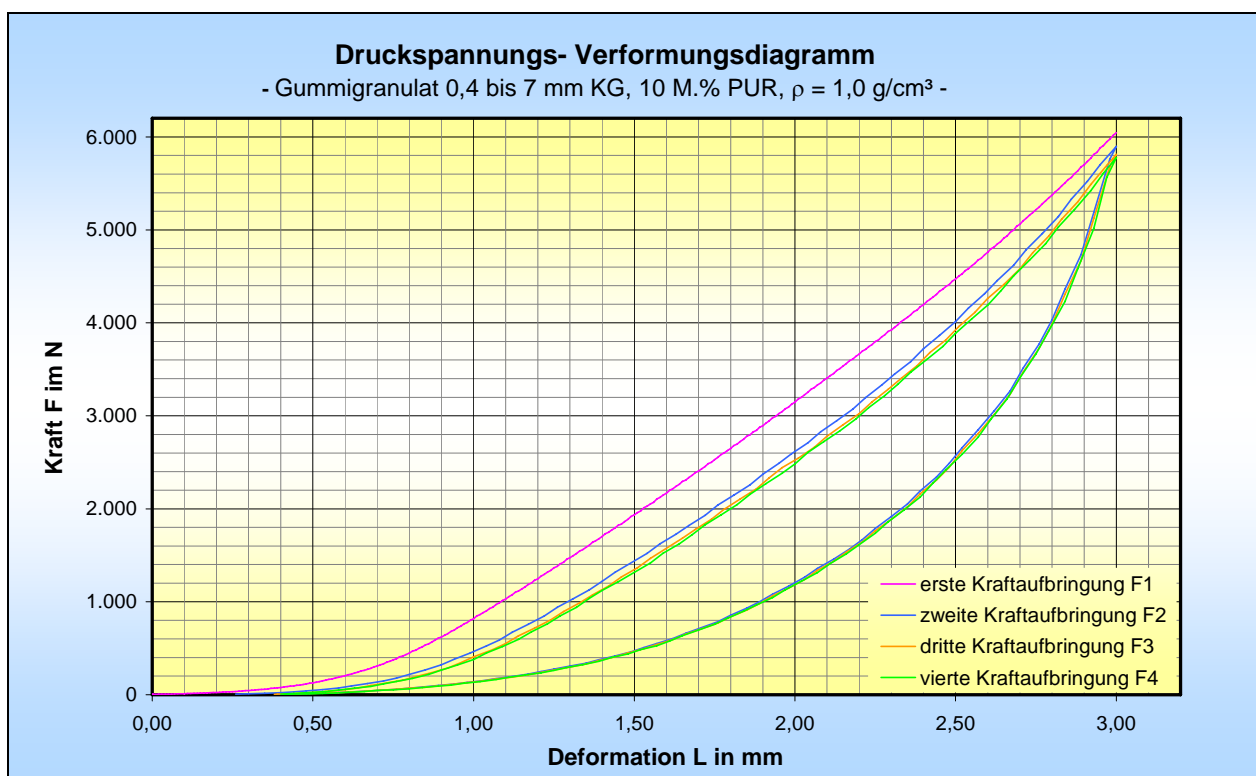


Abb. 19: Druckspannungs-Verformungs-Diagramm

Die Anforderungen der DIN V 18035-7 bezüglich der Druckspannungs- Verformungs- Eigenschaften (Tab. 9) werden vom Probenmaterial (PUR- beschichtetes Gummigranulat aus Recyclingaltreifen) erfüllt.

### 3.10 Verfahrensentwicklung zur Herstellung des Einstreugranulates

#### 3.10.1 Herstellung des Recyclinggranulates:

##### (1) Reifenaufgabe:

Die Reifen werden mit LKWs angeliefert und auf einer Brücke verwogen. Die Zwischenlagerung der Reifen erfolgt auf asphaltierten Freiflächen, die für unterschiedliche Reifen aufgeteilt sind.

Eine entsprechende Befestigung der Freifläche (Beton, Asphalt oder Pflasterstein) ist unbedingt erforderlich, um den Eintrag an Schmutz in die Aufbereitungsanlage zu minimieren.

Vom Reifenlager werden die Reifen mit Radiader zu den Aufgabebändern transportiert;

- PKW-Reifen werden direkt aufgegeben
- LKW-Reifen sind vorher auf Fremdkörper (Metall, Steine, etc.) zu untersuchen



Abb. 20, 21, 22: Lieferung und Lagerung

##### (2) Vorzerkleinerung:

Das Reifenaufgabeband dient der gleichmäßigen und lastabhängigen Beschickung des Reifenshredders. Der speziell ausgeformte Einlauftrichter ist mit einer Wassersprüheinrichtung ausgerüstet. Unter dem Shredder läuft eine Austrags- und Entwässerungsschnecke. Dieses Konstruktionsprinzip hat den Vorteil, dass ein großer Teil der Verunreinigungen in und an den Reifen bereits in dieser Stufe ausgeschieden werden. Das verschmutzte Wasser wird über eine Reinigungsanlage geleitet, die entsorgt wird. Das aufbereitete Wasser wird wieder verwendet.

##### *Reifenshredder:*

- Langsam laufender Shredder mit hohem Drehmoment, bestehend aus 2 gegenläufig rotierenden Wellen, die mit austauschbaren Messern bestückt sind. Die Messerblöcke können bei Verschleiß aufgepanzert und geschliffen werden. Der Antrieb des Shredders besteht aus einem Elektromotor (90 kW/1.500 n), Keilriemenübertragung und Aufsteckgetriebe.
- Leistung ca. 5 Tonnen / Stunde. Die Reifenstücke werden über ein Trommelsieb geführt.
- Reifenstücke (Soll-Größe 100x200mm) gelangen über Transportbänder in Mahlanlage bzw. Vorratsbehälter.



Abb. 23: Reifenshredder



### (3) Hauptvermahlung (Warmvermahlung = ambientes Mahlsystem):

Über Dosiervorrichtungen werden die vorzerkleinerten Stücke lastabhängig über den Einlauftrichter der Hauptmühle zugeführt. Die Hauptmühle (Antrieb aus 2 Stück 180 kW/1.500 n Motoren, Leistung: ca. 5 Tonnen/Stunde) dient zum Mahlen von geshredderten Reifen, einschließlich Reifenwülste. Der Mahlvorgang ermöglicht die Trennung der Reifenkomponenten Gummi, Stahl und Textil bei Umgebungstemperatur. Bei diesem Prozess wird Wasser als Kühlmedium eingesetzt. Das Prozesswasser wird umgewälzt und die Bürden über Nassabscheider abgeleitet.

In vier Trennstufen erfolgt die Separierung des Stahldrahtes, der schließlich in wieder verwertbarer Form in Transportcontainern gesammelt wird. Die Separierung wird durch einen Trommel-Magneten, auch als Separiertrommel bezeichnet, durchgeführt. Der Magnet der Trommel separiert das eisenhaltige Material aus dem Fördergut. Durch die Drehbewegung der Trommel werden diese eisenhaltigen Materialien aus dem Magnetbereich transportiert und fallen danach ab. Das von Stahl befreite Mahlgut wird über eine Siebstation geführt, wobei freie Textilien abgesaugt werden, Grobgranulat in zwei Zwischensilos und Feingranulat in ein weiteres Zwischensilo gefördert wird. Von hier aus wird das Feingranulat dann über ein Trennsieb geführt. Das Material in gewünschter Korngröße ( $< 7$  mm) wird separiert und pneumatisch in Vorratsbunker gefördert. Das Restmaterial wird über einen gravimetrischen Separiertisch geführt und dort von Resttextilien gereinigt.

### (4) Nachvermahlung:

Das Material mit einer Korngröße  $> 7$  mm wird in einem nach geschalteten Granulator auf  $< 7$  mm nach vermahlen.

*Granulator:*   ⇒ Rotor mit Hartmetallmahlwerkzeugen  
- geeignet für Granulierung der Korngröße 4 bis 15 mm  
- Ausgangsmaterial 0 -7 mm

Das Material wird pneumatisch einem Textiltrennsieb zugeführt. Textilien werden abgesaugt und das Überkorn über Zwischensilos wieder der Mühle zugeführt. Das Restmaterial wird in Zwischensilos für Endprodukte gelagert und der Reinigung zugeführt.



Abb. 24: Granulator der MRH

#### (5) Feinzerkleinerung:

Aus den Zwischensilos wird das Material (kleiner 15 mm) über eine Förderschnecke der Rotormühle zugeführt.

*Rotormühle:* ⇨ Keilriemenantrieb

- Mahlung von Granulat von 0 bis 25 mm

→ Ausgang: 0 - 3 mm

Das Material wird einem Textiltrennsieb zugeführt. Textilien werden abgesaugt und über Silos der Mühle zugeführt. Das Restmaterial wird in Silos gelagert und der Reinigung zugeführt. Um die Wärmeentwicklung deutlich unter der für Gummi kritischen Temperatur zu halten, ist ein Kühlluftsystem montiert. Die Kühlluft dient gleichzeitig zum Transport des Mahlgutes. Die gesamte Förder- und Abluft der Staubquellen wird über Nassabscheider und Kamin in die Atmosphäre geleitet.



Abb. 25: Rotormühle der MRH

#### (6) Sieb- und Reinigungsanlage:

Das Endprodukt wird mittels Austragsschnecken, vom Zwischensilo, über einen Trommelmagneten, hier werden neu aufgeschlossene Stahlpartikel separiert, der Siebstation zugeführt. Die verschiedenen Korngrößen werden getrennt (je nach geforderter Korngröße kommen verschiedene Siebbeläge zum Einsatz) und über Elevatoren zum Steinausleser und Cordausleser transportiert.

#### (7) Stein- und Cordausleser (Schwerteilausleser):

Der Schwerteilausleser ermöglicht die einfache und sichere Separation der leichten und schweren Produktionsanteile. Die Separation erfolgt auf einen schwingenden Siebkasten. Der Sortiertisch ist mit Spezialgewebe bespannt und Luft durchströmt. Auf dem Sortiertisch wird das Produkt nach spezifischem Gewicht geschichtet. Die Arbeitsluft wird durch den untergebauten Ventilator erzeugt und über seitliche Jalousien angesaugt.



Abb. 26: Steinausleser der MRH

Die Luftmenge ist einstellbar. Die Schwerfraktion wird über einen mitschwingenden Auslauf aus der Maschine geführt, die Leichtfraktion wird über einen Auslauf auf der gegenüberliegenden Seite abgegeben. Im Anschluss wird das jeweilige Granulat über einen Hochgradienten-Separator geführt. Dieses System ermöglicht das Separieren von magnetischen Teilchen aus verschiedenen Grundstoffen. Gummigranulat wird über eine Schüttrinne zugeführt. Kommt das Granulat an der Antriebsrolle (Magnet) vorbei, werden magnetische Teilchen angezogen, wodurch sie nach hinten fallen. Nicht magnetische Teilchen fallen nach unten.

### 3.10.2 Herstellung der Beschichtung des Recyclinggranulates:

Die einzelnen recycelten Gummipartikel werden in einem nächsten Arbeitsgang über ihre komplette Oberfläche mit einem 5 µm bis 35 µm dicken Überzug versehen. Vorteilhaft bildet diese Umhüllung eine dauerelastische Ummantelung, die das Auswaschen von Schadstoffen wie zum Beispiel Zink verhindert. Außerdem wird durch diese Verkapselung der für Altgummi typische Gummigeruch auf ein Minimum reduziert. Die Ummantelung enthält Farbpigmente, welche die schwarze Farbe des Gummis komplett überdecken.

Die rieselfähigen, losen Gummipartikel werden durch ein Verfahren hergestellt, bei dem zerkleinerte Gummipartikel mit einem Bindemittel vermischt werden und die Matrix während des Vermischens und bis zum vollständigen Vernetzen der Polymerkomponenten kontinuierlich oder quasi kontinuierlich in intensiver Bewegung gehalten wird, so dass das Bindemittel die Partikel vollständig umhüllt, ohne die einzelnen Partikel miteinander zu verkleben.

Die Herstellung der Ummantelung erfolgt, indem 100 Gewichtsanteile Altgummigranulat mit 5 bis 10 Gewichtsanteilen Bindemitteln vermischt werden. Als Zusatzstoffe können weiterhin bis zu 50 Gewichtanteile Kreide und Farbpigmente, bezogen auf das Bindemittel, beigemischt werden. Die Zusatzstoffe werden mit dem Bindemittel vermischt oder separat beim Mischen mit den Gummipartikel zugeben. Die Aushärtung des Bindemittels (PUR) wird durch Zugabe von Wasser oder bei einem Mehrkomponentensystem durch Mischen der Komponenten injiziert. Das Ummanteln der Gummipartikel wird unter ständiger intensiver Bewegung durchgeführt. Durch die Zufuhr von kinetischer Energie, wird ein Verkleben der Gummipartikel während des Aushärteprozesses des Bindemittels vermieden. Unter ständiger intensiver Bewegung ist dabei jede kontinuierliche oder quasikontinuierliche, zyklische oder auch intermittierende, Bewegung zu verstehen, die vermeidet, dass sich die Partikel auf dem Boden bzw. an der Wandung des Mischbehälters absetzen oder aneinander anlagern. Diese intensive Bewegung wird mittels eines Mischers (Fluidmischer) erreicht. Dabei wird die Umfangsgeschwindigkeit, d. h. die Drehzahl des Mischers in Abhängigkeit des Durchmessers, hoch genug eingestellt, um ein Verkleben der Partikel untereinander zu verhindern, aber auch nicht so hoch, dass die Haftung des Bindemittels auf der Oberfläche der Partikel beeinträchtigt würde. Vorzugsweise wird dies in einem Fluidmischer mit einer optimalen Umfangsgeschwindigkeit zwischen 15 m/s und 20 m/s erreicht. Das Mischen wird kontinuierlich bis zum Aushärten des Bindemittels nach ca. 15 Minuten weitergefahren.

Das fertig beschichtete Granulat wird in verschiedenen Korngrößen mittels Elevatoren in Endproduktsilos gefördert und von dort abgesackt in Big Bags.

### 3.11 Bewertung der Ergebnisse des Forschungsprojektes

⇒ Ökologische Bewertung:

Grundlage des Forschungsprojektes stellte für die Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH die Suche nach einer umweltfreundlichen Verwendung von recyceltem Gummigranulaten aus Altreifen in Form von losem ungebundenen Füllmaterial für Kunstrasen dar, wobei vornehmlich der Schutz der Umwelt vor dem Austrag von Schadstoffen aus dem Recyclinggranulat im Vordergrund stehen sollte. Das daraus resultierende Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung einer umweltfreundlichen, langzeitstabilen, dauerelastischen, wasser- und gasundurchlässigen Beschichtung für Gummigranulatpartikel aus recycelten Altreifen, bei dem die einzelnen Partikel nicht verkleben und rieselfähig bleiben. Zusammenfassend wurde die Zielstellung des Projektes derart gelöst, dass jedes einzelne Altreifenrecyclinggranulat auf seiner kompletten Oberfläche eine dauerelastische Beschichtung mit definierter Dicke (5 bis 35 µm) aufweist. Diese Beschichtung besteht aus einem Bindemittel (vorzugsweise Polyurethan) und speziell abstimmt Zusatzstoffen, zur Verbesserung der Eigenschaften. Diese Umhüllung bildet eine dauerelastische Ummantelung, die das Auswaschen von Schadstoffen wie zum Beispiel Zink verhindert, was aus ökologischer Sicht von entscheidender Bedeutung ist. Des weiteren wird durch diese Verkapselung der für Altgummi typische Gummigeruch auf ein Minimum reduziert.

Bei der Verwendung von Gummigranulat als Füllmaterial für Kunstrasensysteme werden nach DIN 18035-7 (2002): „Sportplätze -Teil Kunstrasenflächen“ verschiedene Umweltaforderungen, die auf deutschem Gebiet zwingend einzuhalten sind, definiert. Die ökologischen Grenzwerte, die einzuhalten sind, werden in Tabelle 7 der DIN 18035-7 festgelegt. Nach DIN 18035-7 muss das Kunstrasensystem so beschaffen sein, dass die Umwelt nicht verschmutzt wird durch:

- a) Freisetzung schädlicher Gase und gefährlicher Teilchen an die Luft;
- b) Wasser- oder Bodenverunreinigungen oder –vergiftungen.
- c) Im Hinblick auf Verwertung / Entsorgung nach der Nutzung ist insbesondere zu achten:
  - auf die Verwendung schadstoffarmer Materialien
  - auf die Beschränkung möglichst wenig unterschiedlicher Materialsorten
  - auf die gute Trennfähigkeit der einzelnen Schichten
  - auf die vorrangige Verwertung der Materialien durch Recycling

⇒ Der Nachweis der Einhaltung der ökologischen Anforderungen gemäß DIN V 18035-7 wurde für das neu entwickelte, speziell beschichtete Recyclinggummigranulat der MRH erbracht. Damit wurde eindeutig die Vermeidung von Schadstoffauswaschungen, durch flächendeckende Beschichtung nachgewiesen.

Zusammenfassend wurden folgende umweltrelevante Aspekte im Forschungsprojekt erfüllt:

- a) wasser- und gasundurchlässige Umhüllung für das Recyclinggranulat
  - ⇒ enorme Entlastung für die Umwelt, da keine schädlichen Bestandteile aus dem Altgummi mehr ausgetragen werden können und so in das Grundwasser gelangen
- b) Wiederverwendung von Altgummi (Recyclingprodukt aus alten Reifen)
  - ⇒ Ressourcen können geschont und Abfallprodukte als neuwertige Rohstoffe wieder verwendet und so zurück in den Stoffkreislauf geführt werden
  - ⇒ da das Kreislaufwirtschaftsgesetz die stoffliche oder energetische Verwertung von Reststoffen fordert, ist der erneute Einsatz in einem Produktionsprozess von höchster Priorität
- c) Energieersparnis beim Recycling von Altreifengranulat im Vergleich zu einer Neuherstellung von EPDM-Granulat (Einstreugranulat – Einsatz nach Stand der Technik)
  - ⇒ positives umwelttechnisches Resultat

⇒ Technologische und ökonomische Bewertung:

Die Erläuterung des neu entwickelten Verfahrens zur Herstellung des beschichteten Einstreugranulates aus Altreifenrecyclingprodukten wird im Abschnitt 3.10 detailliert beschrieben. Aus dieser Beschreibung wird ersichtlich, dass die Wiederverwertung von Altgummi aus LKW- und PKW-Reifen, und damit die Rückführung von Abfallprodukten in den Stoffkreislauf durch dieses umweltschonende, energiesparende Verfahren realisiert werden kann. Somit können Ressourcen geschont und Abfallprodukte als neuwertige Rohstoffe wieder verwendet werden. Diese Technologie bildet die Grundlage dafür.

In der Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft mbH werden bis zu 22.000 Tonnen Altreifen pro Jahr verarbeitet und bis zu 14.000 Tonnen pro Jahr Recyclinggummigranulate produziert. Das neue Herstellungsverfahren von Einstreugranulat ist für die MRH wirtschaftlich und profitabel, und bildet die Grundlage für ein weiteres Wachstum des Produktionsvolumens. Damit begründet das neue Einstreugranulat für die MRH einen deutlichen Marktvorlauf gegenüber Mitkonkurrenten.

### 3.12 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Die Verbreitung der Vorhabensergebnisse erfolgt in erster Linie durch die Veröffentlichung im Rahmen der Patentanmeldung. Im Anhang wird diese Patentanmeldung durch die Offenlegungsschrift sowie die Bestätigung der Patentanmeldung dargelegt. Des Weiteren sind Veröffentlichungen in verschiedenen Fachzeitschriften bzw. Internetportalen geplant. Zusammen mit der Firma Polytan GmbH, die das Einstreugranulat in ihr Kunstrasensystem einsetzen, erfolgt eine weitere Verbreiterung der Ergebnisse des Forschungsprojektes.

<http://www.altreifen-recycling.de>

[http://www.polytan.com/technik\\_test\\_d.html](http://www.polytan.com/technik_test_d.html)

Im Anhang befinden sich Artikel zur Veröffentlichung der Projektergebnisse. Da die Verwendung des neuen Einstreugranulates immer im Zusammenhang mit dem gesamten Kunstrasensystem steht, wird bei der Präsentation immer die Neuentwicklung als komplettes System im Vordergrund sein.

Es ist besonders zu betonen, dass seit 2006 eine Zulassung des neuen Kunstrasensystems einschließlich neu entwickelten Einstreugranulats von der FIFA als „FIFA RECOMMENDED“ - System vorliegt.

## 4 Fazit

---

Mit der Realisierung des Forschungsprojektes ist eine dauerelastische, langzeitstabile, wasser- und gasdichte Ummantelung für Gummipartikel aus recyceltem Altgummi geschaffen worden, wodurch umweltschädliche Zinkauswaschungen aus dem Gummigranulat vermieden werden. Es wurde somit ein kostengünstiges, umwelt- und geruchsneutrales Einstreugranulat für Kunstrasensysteme mit gleichzeitig schwingungsdämpfenden und stoßabsorbierenden Eigenschaften entwickelt, welches nach Beendigung der Nutzungsdauer wieder zu 100% recycelt werden kann.

*Produkt:* Einstreugranulat für Kunstrasensysteme:

Das Einstreugranulat der MRH: SOCCgran® PG 0520/1525

- erfüllt die Umwelanforderungen nach DIN V 18035-7
- genügt den Anforderungen an normal entflammaren Baustoffen der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102 Teil1
- ist aufgrund des hohen Polymergehalts abriebfest und witterungsstabil

⇒ Vorteile des ummantelten Granulates:

- Verbesserung der Umweltverträglichkeit
- geringere Aufheizung des Einstreugranulates bei intensiver Sonneneinstrahlung
- Reduzierung des typischen Gummigeruchs
- verbesserte Optik des Kunstrasensystems

Das ummantelte Einstreugranulat SOCCgran® PG 0520/1525 ist eine wirtschaftliche sowie umweltfreundliche Alternative zum bekannten Neugummigranulat EPDM-Granulat.

Mit den Ergebnissen des Projektes wurden für das Unternehmen MRH folgende Effekte erzielt:

- Schaffung eines qualitativ neuen Produkte, welches sich vom Angebot konkurrierender Unternehmen deutlich absetzt und zusätzliches Absatzpotential (Markt) sichert
- Verringerung der Herstellungskosten für Einstreugranulate im Kunstrasensystem
  - ↳ Kunstrasenhersteller können ihre Systeme wesentlich preiswerter anbieten
  - ↳ breites Kundenspektrum, aufgrund von Kostenminimierung
- größere Mengen an Altreifen werden durch gesteigerte Nachfrage verwertet
  - ↳ Produktion kann erhöht werden – Unternehmen expandiert ⇒ neues Absatzpotential
  - ↳ große Mengen eines Abfallproduktes können in den Stoffkreislauf rückgeführt werden
  - ⇒ mehr Gewinn; Sicherung der Arbeitsplätze und Schaffung neuer Arbeitsplätze
- Sicherung des „Know-how“ im Unternehmen – Schutzrecht durch Patentanmeldung
- Etablierung am Markt
- Qualitätssicherung

**Als Resultat des Projektes ist die Schutzrechtanmeldung des neuen Produktes zu betrachten.**

## 5 Literaturverzeichnis

---

### Normen und Richtlinien:

DIN V 18035-7

DIN EN ISO3386-2:

DIN EN ISO 11885

DIN EN 1483

DIN 38414-S17

DIN EN 1484

DIN EN 1097-1

DIN 4102

### Patente und Gebrauchsmuster:

WO2005/021625A1

WO 02/18706 A1

DE 19833819 A1

DE 2110327

DE 19631251 A1

DE 2455679

DE 102 51 818 A1



## 6 Anhang

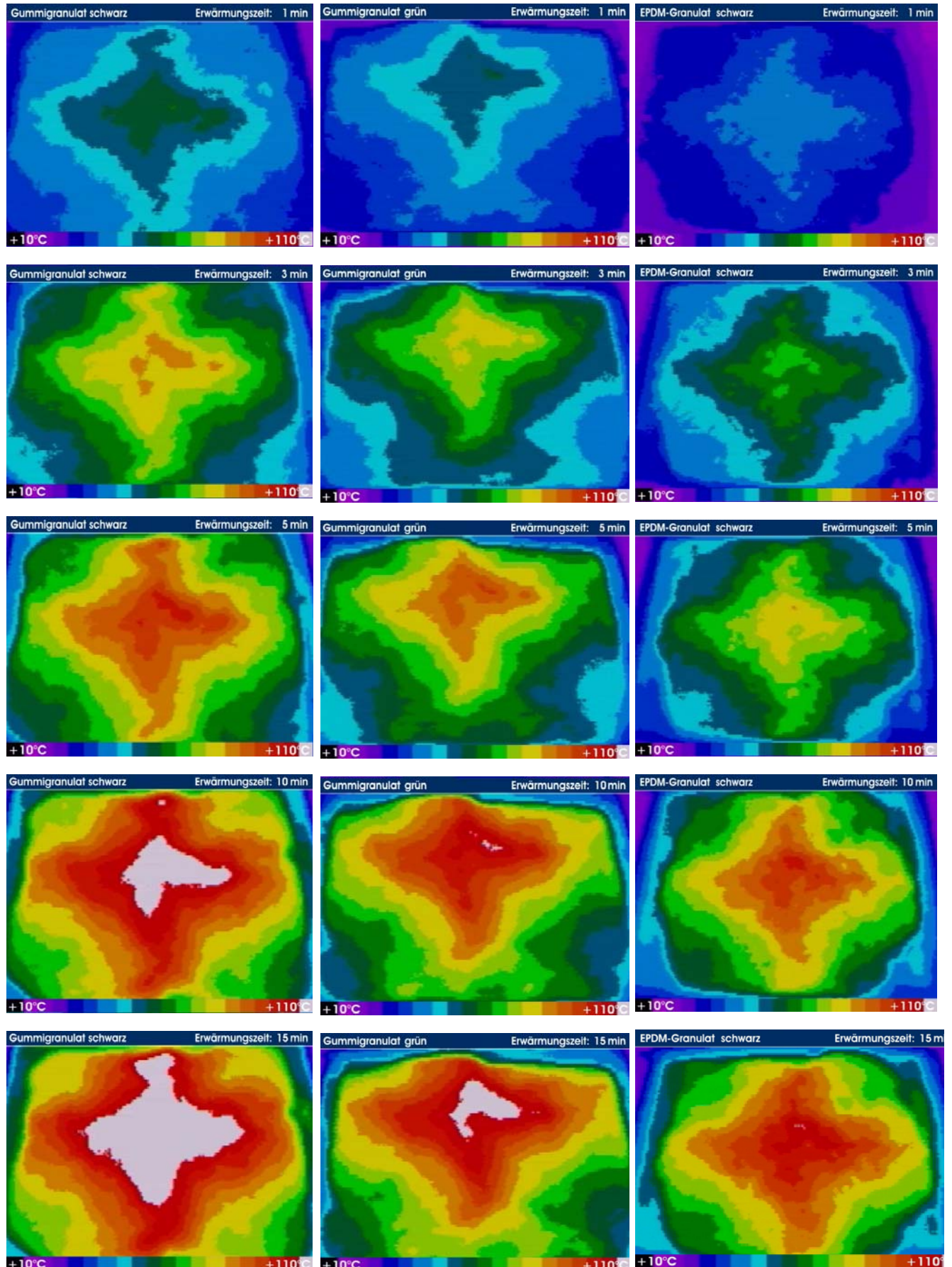
---

A1 Thermographie-Bilder von verschiedenen Gummigranulaten bei Infrarotstrahlung

Recyclinggummigranulat schwarz

Gummigranulat grün beschichtet

EPDM-Granulat schwarz



## A2 Thermographie-Bilder von verschiedenen Gummigranulaten bei Sonnenstrahlung

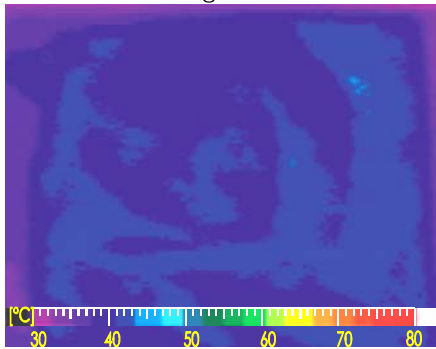
- bei maximaler Sonneneinstrahlung (20.07.2005; Beginn 10:30 Uhr) -

Recyclinggummigranulat schwarz

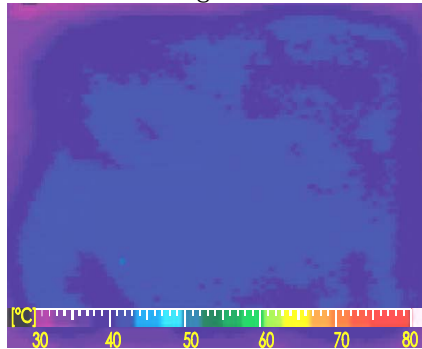
Gummigranulat grün beschichtet

EPDM-Granulat schwarz

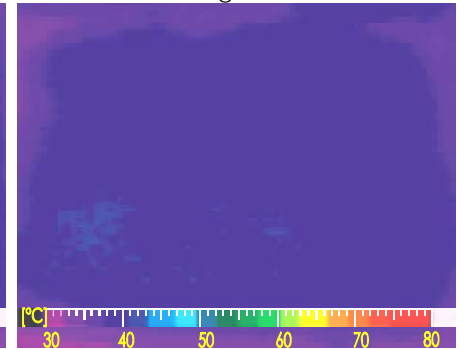
Erwärmungszeit: 5 min



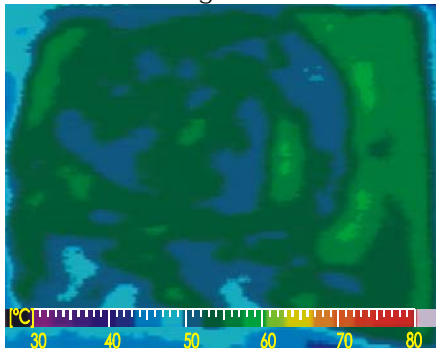
Erwärmungszeit: 5 min



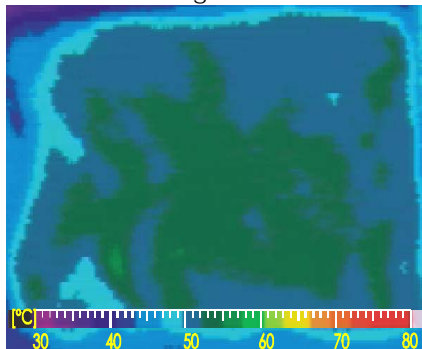
Erwärmungszeit: 5 min



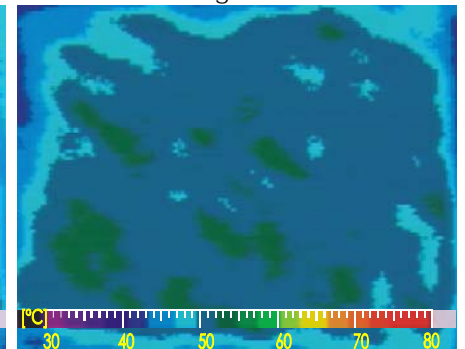
Erwärmungszeit: 20 min



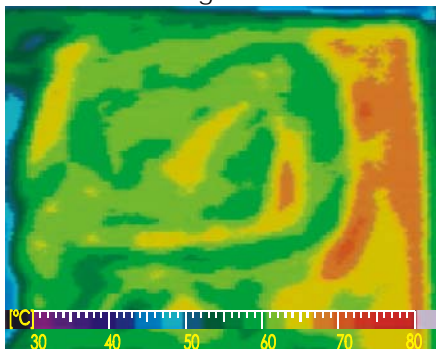
Erwärmungszeit: 20 min



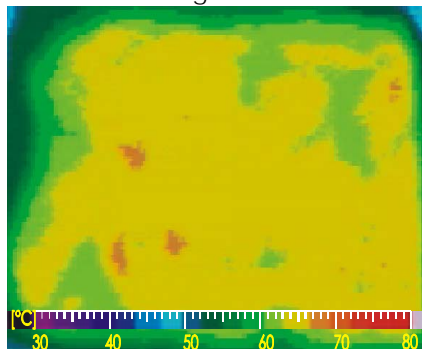
Erwärmungszeit: 20 min



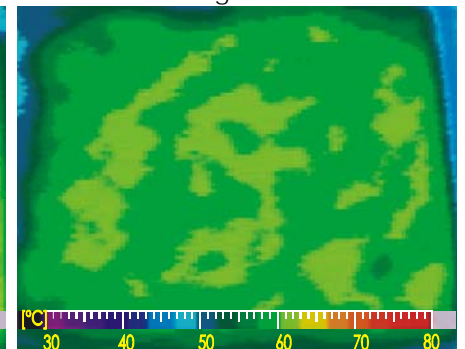
Erwärmungszeit: 90 min



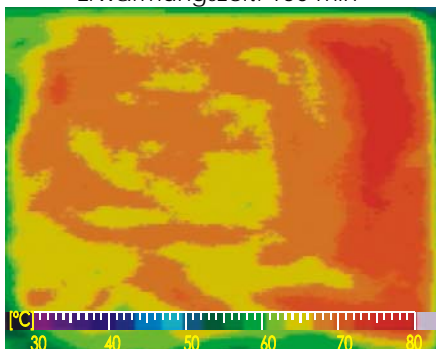
Erwärmungszeit: 90 min



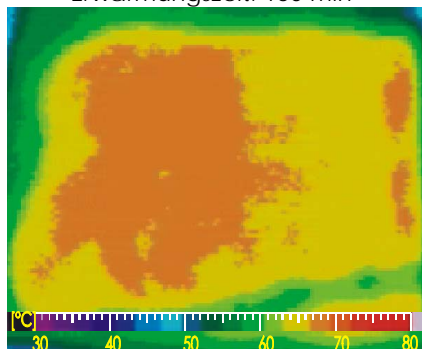
Erwärmungszeit: 90 min



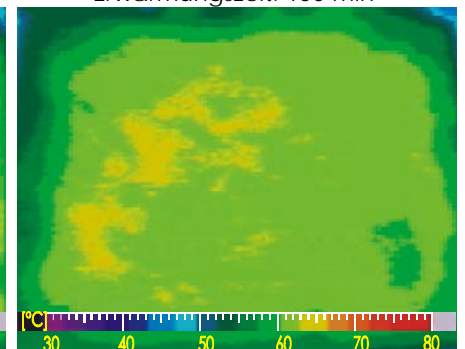
Erwärmungszeit: 150 min



Erwärmungszeit: 150 min



Erwärmungszeit: 150 min



### A3 Patentanmeldung



#### A4 Veröffentlichungen