

113 – Kunststoff- und Kunststoffrasenflächen

Verhalten unter natürlichen Witterungsverhältnissen



Untersuchungen über das Verhalten von Kunststoff- und Kunststoffrasenflächen unter natürlichen Witterungsverhältnissen

Kurzbericht

Arbeitsgruppe «Kunststoffbeläge»

12. November 2007

Analytik

Labor Dr. Meyer AG, Bern

Verfasser: Edwin Müller

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
1. Versuchsplanung	5
2. Versuchsdurchführung	6
• Analytische Voruntersuchungen	6
• Pilotversuch	6
• Hauptversuch	6
• Chemisch-physikalische Granulatuntersuchungen	8
• Eluatversuche im Labor	8
3. Ergebnisse	8
• Niederschlagsverhältnisse und Sickerwassermengen	8
• Analyseresultate	8
• Chemisch-physikalische Granulatuntersuchungen	19
• Eluatversuche im Labor	20
• Sickerwasseruntersuchungen im Stade de Suisse (Bern)	24
4. Beurteilung der Gewässerbelastung	24
5. Schlussfolgerungen	25
6. Ergänzende Bemerkungen	26
Anhang 1	
Lysimeteranlage Bern-Liebefeld (Fotos)	27
Anhang 2	
Sickerwassermengen	27
Anhang 3	
Abkürzungen	28

Einleitung

Bis Anfang der 80er-Jahre beanstandeten Umweltschutzbehörden die damals gebauten elastischen Kunststoffbeläge. Für die Herstellung der Beläge wurden in den PU-Bindemitteln Quecksilberverbindungen eingesetzt! Bei unsachgemässer Verarbeitung der verwendeten Bindemittel konnten mit dem Regenwasser Stoffe mit nachteiligen Auswirkungen in die Gewässer gelangen. Mit der Richtlinie 105 für die Umweltverträglichkeit von elastischen Kunststoffbelägen auf Freianlagen von 1993 und der inhaltlich gleichen, jedoch wesentlich gekürzten Richtlinie 105 von 1997 veröffentlichte die Eidg. Sportschule Magglingen ESSM (heute Bundesamt für Sport BASPO, Magglingen) Empfehlungen zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von synthetischen Sportplatzbelägen. Damit sollte gewährleistet werden, dass der Einbau, der Betrieb und die Entsorgung von elastischen Kunststoffbelägen umweltschonend erfolgt.

Die in der Richtlinie 105 beschriebenen Prüfverfahren, Anforderungen und die empfohlenen Richtwerte sind zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von elastischen Belägen aus der heutigen Sicht des Gewässerschutzes nicht mehr geeignet. Zudem ist die Beurteilung von Kunststoffrasen nicht enthalten.

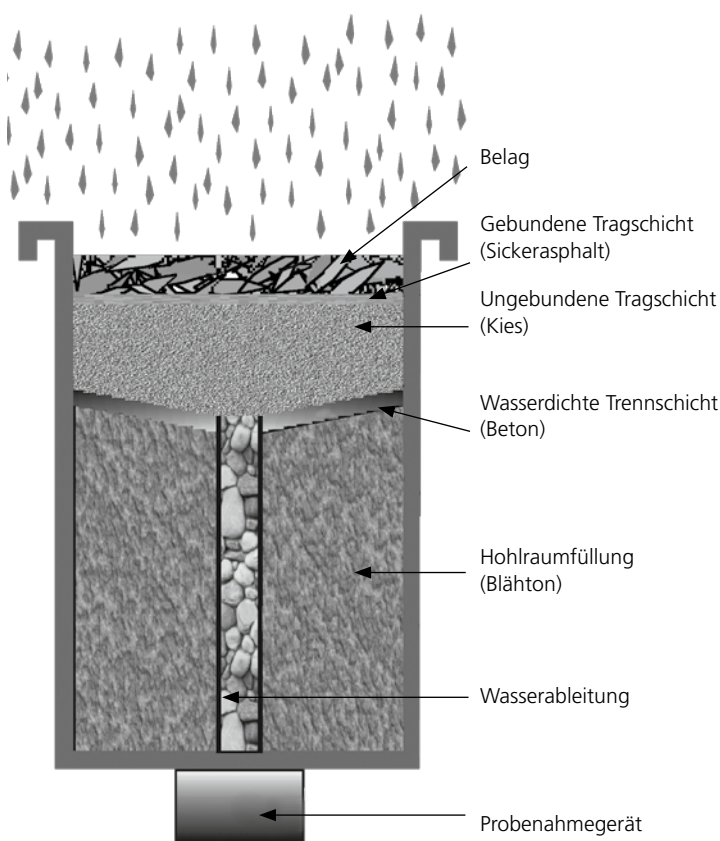
Das Bundesamt für Sport BASPO setzte deshalb 2004 eine Arbeitsgruppe zur Überprüfung und Anpassung der Richtlinie 105 ein. Nach eingehenden Vorberatungen hat die Arbeitsgruppe entschieden, als Grundlage für die Erarbeitung eines neuen Beurteilungskonzepts, einen möglichst praxisnahen Feldversuch durchzuführen. Mit diesem Versuch sowie weiteren ergänzenden chemischen und physikalischen Analysen (Eluatversuche und Materialuntersuchungen) wurde zwischen November 2005 und Mai 2007 untersucht, welche Stoffe und Stoffgruppen unter natürlichen Witterungsbedingungen mit dem Niederschlagswasser aus Kunststoffbelägen (Kunststoffrasen und elastische polyurethanegebundene Beläge) ins Wasser gelangen. Hauptziel war dabei das Verhalten der verschiedenen Beläge (Belagstypen) zu ermitteln und nicht einzelne Produkte zu prüfen.

Die nachstehenden Ausführungen sind ein Auszug aus den umfangreichen Untersuchungen und Untersuchungsergebnissen des gesamten Projekts.

1. Versuchsplanung

Die Arbeitsgruppe entschied, für die Feldversuche sogenannte Lysimeter zu benutzen. Lysimeter sind Versuchseinrichtungen, die für wissenschaftliche Untersuchungen in der landwirtschaftlichen Forschung, z. B. zur Untersuchung der Auswaschung von Nährstoffen oder Pestiziden durch Regenwasser aus Böden verwendet werden. Die landwirtschaftliche Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) stellte dem BASPO für die Untersuchungen 10 Lysimeter in der Grosslysimeteranlage in Bern-Liebelfeld zur Verfügung (siehe Foto Anhang1).

Die nachstehende Schnittzeichnung zeigt den Aufbau der Lysimeter.



Die Lysimeter weisen eine bewitterte Fläche von exakt 1 m² auf und sind mit Probenahmegeräten ausgerüstet. Mit diesen langjährig erprobten Geräten ist es möglich, die durch die Lysimeter sickernde Niederschlagsmenge genau zu bestimmen, das Sickerwasser mengenproportional aufzufangen, zu analysieren und Stoffbilanzen zu erstellen. Zusätzlich wurden die örtlichen Niederschlagsmengen (Regen und Schnee) während der gesamten Versuchsdauer gemessen.

2. Versuchsdurchführung

Der gesamte Versuch umfasste:

- die **analytischen Voruntersuchungen** (Evaluation und Entwicklung der Analytik, Auswahl der zu analysierenden Spurenstoffe),
- einen **Pilotversuch** zur Überprüfung der gewählten Versuchsanordnung,
- den **Hauptversuch**,
- ergänzende **chemische und physikalische Untersuchungen** der Gummigranulate,
- **Eluatversuche** mit Gummigranulaten.

2.1 Analytische Voruntersuchungen

Ziel der analytischen Untersuchungen war es, im Sickerwasser nicht nur den gemäss Richtlinie 105 gewählten Summenparameter DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) zu messen, sondern einzelne ausgewählte chemische Verbindungen (Spurenstoffe, sog. Mikroverunreinigungen) zu identifizieren und zu quantifizieren. Um die Summe der gelösten organischen Stickstoffverbindungen (N-org.) erfassen zu können, wurde auch dieser Parameter gemessen. Da die Bestimmung der organischen Spurenstoffe (vor allem Gummichemikalien und deren Abbau- und Umwandlungsprodukte) keine Routineanalytik vorhanden war, musste eine Stoffauswahl getroffen und die Analytik für diese Stoffe entwickelt werden.

2.2 Pilotversuch

Mit der Durchführung der Feldversuche in Lysimetern und der Analyse einzelner chemischer Verbindungen im Sickerwasser wurde – weltweit gesehen – «Neuland» betreten. Da keine Erfahrungen mit solchen Untersuchungen von Kunststoffbelägen vorhanden waren, wurde zunächst nur in einem Pilot-Lysimeter ein Belagstyp (Kunststoffrasen mit peroxidvernetztem EPDM-Granulat auf einer Elastiksicht) eingebaut und während 4 Monaten (Ende Dezember 2005 bis Mai 2006) untersucht. Dabei wurden das Durchflussverhalten sowie die Dichtigkeit des Systems überprüft. Aufgrund der Analysenresultate dieser Pilotphase konnte das definitive Messprogramm für den Hauptversuch festgelegt werden.

2.3 Hauptversuch

Witterungsbedingt konnte der Einbau der Beläge erst im Mai 2006 erfolgen. Der Hauptversuch erfolgte in der Zeit von Mitte Mai 2006 bis Mitte Mai 2007.

2.3.1 Eingebaute Belagssysteme

Alle Beläge sind auf einem Kieskoffer und einer Kiesausgleichsschicht verlegt worden.

Bei einigen Belägen wurde zusätzlich eine gebundene Tragschicht, d.h. ein Asphaltsickerbelag, PAS 16, Dicke 50 mm, eingebaut.

Für die Versuche standen nur 10 Lysimetergefässe zur Verfügung. Deshalb beschränkte man sich auf die Untersuchung von vier Kunststoffrasen, drei polyurethanegebundenen elastischen Belägen sowie drei Null-Proben.

In die Lysimeter eingebaute Belagssysteme

Kunststoffrasen	
Belag Nr. 1 (Pilotversuch)	Kunststoffrasen, Floorhöhe 40 mm, verfüllt mit EPDM-Gummigranulat, peroxidvernetzt, auf einer Elastikschicht 25 mm*) und einem Asphaltsickerbelag
Belag Nr. 2	Kunststoffrasen, Floorhöhe 70 mm, verfüllt mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat)
Belag Nr. 3	Kunststoffrasen, Floorhöhe 40 mm, verfüllt mit EPDM-Gummigranulat, schwefelvernetzt, auf einer Elastikschicht 25 mm*)
Belag Nr. 4	Kunststoffrasen unverfüllt
Elastische polyurethanegebundene Kunststoffbeläge	
Belag Nr. 5	Wasserdurchlässiger Kunststoffbelag, EPDM 1-schichtig 12 mm auf einem Asphaltsickerbelag
Belag Nr. 6	Wasserdurchlässiger Kunststoffbelag, mehrschichtig 15 mm, 1. Schicht 9 mm PUR-Bindenmittel-gebundenes Recycling-Gummigranulat, 2. Schicht 6 mm PUR-Bindenmittel-gebundenes EPDM-Gummigranulat mit PUR-Spritzbeschichtung 1,5 kg/m ² , auf einem Asphaltsickerbelag
Belag Nr. 7	Wasserundurchlässiger Sandwichbelag mehrschichtig 15 mm, 1. Schicht 10 mm PUR-Bindenmittel-gebundenes Recycling-Gummigranulat, 2. Schicht PUR-Verlaufsbeschichtung 5 mm mit EPDM-Gummigranulat abgestreut auf einem Asphaltsickerbelag (Wasserableitung direkt in die Kiesausgleichsschicht durch ein Loch in der Mitte des Belages)
Null-Proben	
Belag Nr. 8	Kieskoffer und Kiesausgleichsschicht (ohne Kunststoffbeläge)
Belag Nr. 9	Kieskoffer, Kiesausgleichsschicht und Asphaltsickerbelag (ohne Kunststoffbeläge)
Belag Nr. 10	Elastikschicht 25 mm*) auf Kieskoffer und Kiesausgleichsschicht

*) 25 mm dicke in-situ eingebaute Elastikschicht aus Recycling-Gummigranulat (und PUR-Bindemittel)

2.3.2 Analysen

Die Untersuchungen des Sickerwassers umfassten Zink, Summenparameter DOC und org. N. sowie organische Einzelstoffe. Letztere sind vorwiegend Chemikalien (z. B. Vernetzer, Vulkanisationsbeschleuniger und Alterungsschutzmittel) die zur Herstellung von Gummi verwendet werden bzw. als Umwandlungs- oder Abbauprodukte während des Herstellungsprozesses (Vulkanisation) entstehen können.

Auf die Untersuchung von Weichmachern und UV-Stabilisatoren musste aus finanziellen Gründen verzichtet werden, da deren Analyse unverhältnismässig hohe Kosten verursacht hätte. Die Vielfalt der in Gummigranulaten enthaltenen chemischen Stoffe ist sehr gross. Folgende Auswahl wurde getroffen:

Summenparameter	Einzelstoffe
<ul style="list-style-type: none"> • DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) • Summe der gelösten organischen Stickstoffverbindungen (Org.-N) 	<ul style="list-style-type: none"> • Anilin • Aryl-Alkyl-p-Phenylendiamine • Benzothiazol • Cyclohexylamin • 16 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • Zink • Ammonium-Stickstoff • Nitratstickstoff • Nitritstickstoff

2.4 Chemisch-physikalische Gummigranulat-Untersuchungen

Zur genauen Charakterisierung der eingesetzten Gummigranulate wurden von den Rückstellproben Thermoanalysen durchgeführt. Zusätzlich wurden die Zinkgehalte der Granulate gemessen.

2.5 Eluatversuche im Labor

Mit Eluatversuchen kann nur das Kurzzeitverhalten der Granulate (Verhalten von Gummi beim Kontakt mit Wasser) beurteilt werden. Eluatversuche mit Granulat eignen sich jedoch nicht für die Beurteilung des Langzeitverhaltens der Beläge unter natürlichen Verhältnissen. Die Resultate der durchgeführten Eluatversuche und der Untersuchung von Einzelstoffen bilden aber eine wichtige Grundlage für den Vergleich mit den Ergebnissen aus den Lysimeterversuchen. Diese Vergleichsuntersuchungen wurden auch im Hinblick auf die laufenden Beratungen der CEN/TC 217/TaskGroup «Environmental Aspects» (CEN = Comité Européen de Normalisation) durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Niederschlagsverhältnisse und Sickerwassermengen

Von Ende Dezember 2005 bis Mitte Mai 2007 wurde in Bern-Liebelfeld eine Niederschlagsmenge von 1657,8 mm gemessen, dies entspricht einer Regenmenge von 1657,8 Liter pro m². Während des Hauptversuches von Mitte Mai 2006 bis Mitte Mai 2007 betrug die Niederschlagsmenge 1100 mm, d.h. 1100 Liter pro m². Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in der Schweiz (Mittelwert von 1961 – 1990) liegt bei 1458 mm bzw. 1458 Liter pro m².

Wie die Messungen der Niederschläge (Regen, Schnee) zeigten, sickert der grösste Teil des Niederschlagswassers durch die Beläge. Einzig in den Sommermonaten erfolgte bei einigen Belägen eine gewisse Verdunstung des Wassers (Evaporation) aus der Belagsoberfläche.

Die Tabelle in Anhang 2 enthält die gemessenen Sickerwassermengen der einzelnen Beläge während der verschiedenen Messperioden.

3.2 Analysenresultate

Für die chemischen Analysen sind mengenproportionale Sammelproben entnommen worden. Alle Proben wurden mit Salzsäure bei ca. pH 1 konserviert und bis zur Analyse gekühlt aufbewahrt. Während des Pilotversuchs (Dezember 2005 bis Mai 2007) sind insgesamt 6 und während des Hauptversuchs (Mai 2005 bis Mai 2007) 4 Sammelproben analysiert worden. Witterungsbedingt (Winter mit Schnee und tiefen Temperaturen) erfolgte die Analyse der ersten Sammelprobe des Pilotversuchs (28.12.2005 – 3.3.2006) bereits nach 48 l/m² und die zweite (4.3. – 15.5.2006) nach weiteren 448 l/m². Die vier Sammelproben des Hauptversuchs wurden nach jeweils rund 200 bis 300 l/m² untersucht.

Aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche und des Pilotversuchs wurden im Sickerwasser der Beläge die folgenden Stoffe bzw. Stoffgruppen analysiert:

Parameter	Belag Nr.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DOC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gesamtstickstoff	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Organischer Stickstoff	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zink (gelöst)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cyclohexylamin	x	x	x		x	x	x			x
Anilin	x	x	x		x	x	x			x
Benzothiazol	x	x	x		x	x	x			x
PBN	x	x	x		x	x	x			x
IPPD	x	x	x		x	x	x			x
16 PAK	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Während der gesamten Versuchsdauer wurden Regenwasseruntersuchungen durchgeführt. Aus dem Regenmengenmessgerät sind Einzelproben entnommen und zu insgesamt 6 Sammelproben vereinigt worden. Darin wurden die folgenden Parameter analysiert: Zink, DOC, anorganischer und organischer Stickstoff, PAK.

3.2.1 DOC

Mit dem DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) wird die Summe der im Wasser enthaltenen organischen Stoffe gemessen. Die Messung des DOC ermöglicht keine stoffliche Charakterisierung und Beurteilung der einzelnen im Wasser enthaltenen Verbindungen wie chemische Struktur, Eigenschaften und Ökotoxizität. Die gemessenen DOC-Konzentrationen sind deshalb nur ein Indikator für die gesamte Menge der im Wasser enthaltenen organischen Stoffe.

Der im Sickerwasser der Lysimeter gemessene DOC setzt sich wie folgt zusammen:

- natürlicherweise im Kieskoffer und in der Kiesausgleichsschicht vorhandene organische Stoffe
- Stoffe aus den Belägen
- ständige Belastung durch Staub aus der Luft (im Sommer u.a. Blütenstaub), im Regenwasser und Schnee enthaltene gelöste organische Stoffe

Bei allen Lysimetern – einschliesslich der Null-Proben ohne Kunststoffbelag – konnten während der Versuchsdauer anfänglich erhöhte und anschliessend stark abnehmende DOC-Konzentrationen festgestellt werden. Die Beläge werden durch Regenwasser relativ schnell ausgewaschen (siehe auch die Ergebnisse der Eluatversuche).

Die Grafik (Abb. 1) zeigt als Beispiel den Verlauf der DOC-Konzentrationsabnahme im Sickerwasser aus dem Belag Nr. 1 (Pilotversuch, Kunststoffrasen verfüllt mit peroxidvernetztem EPDM-Granulat auf einer Elastiksicht) während der Zeit von Ende Dezember 2005 bis Mai 2007.

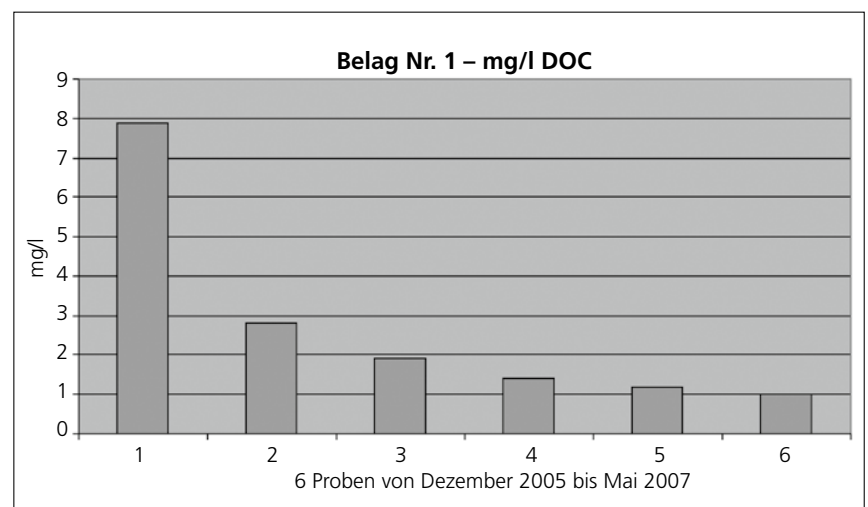


Abbildung 1

Als Vergleich folgt der Konzentrationsverlauf der Null-Probe ohne Belag für die Zeit von Mai 2006 – Mai 2007 (Abb. 2).

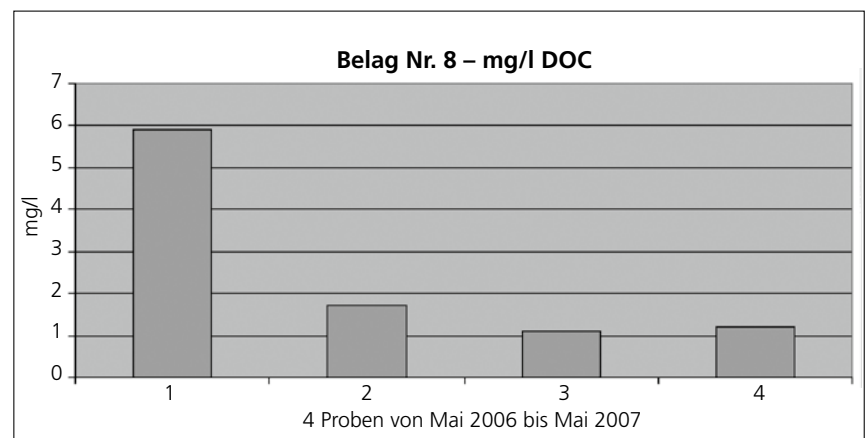


Abbildung 2

Sowohl in der Null-Probe (Kieskoffer ohne Belag) als auch im Belag Nr. 1 ergibt sich am Ende der Versuchsdauer eine Restkonzentration von ca. 1 mg/l DOC.

Der Verlauf der DOC-Konzentrationen (insgesamt 4 Sammelproben von Mai 2006 bis Mai 2007) der übrigen Beläge ist in der nachfolgenden Grafik (Abb. 3) dargestellt.

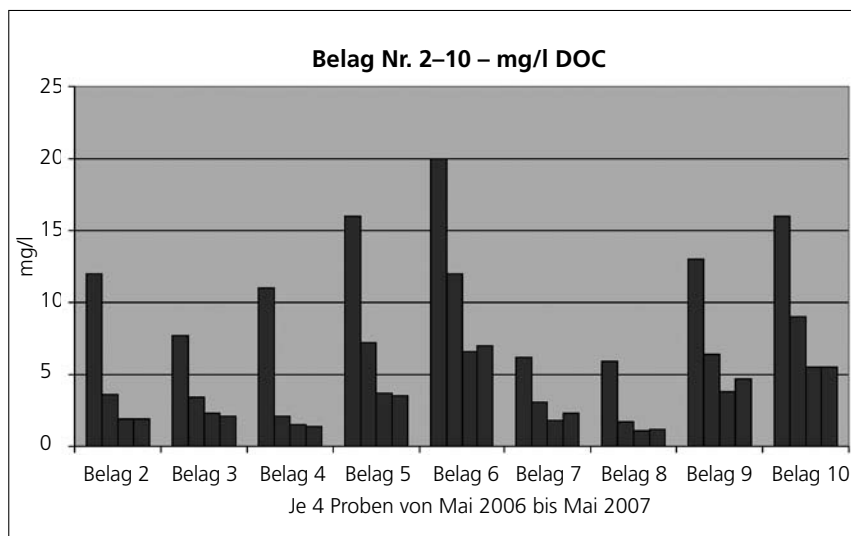


Abbildung 3

Sowohl beim Pilotbelag als auch bei den übrigen Belägen, einschliesslich der Null-Proben (Beläge 8–10) zeigen sich anfänglich etwas erhöhte und anschliessend abnehmende DOC-Konzentrationen. Die tendenziell höchsten Anfangskonzentrationen weisen die elastischen polyurethanegebundenen Beläge (Belag Nr. 5 und 6) sowie die Elastiksicht Nr. 10 auf. Auch der unverfüllte Kunststoffrasen (Belag Nr. 4) weist eine verhältnismässig hohe Anfangskonzentration auf.

Obwohl der DOC keine repräsentative Kenngrösse für die Beurteilung der ökotoxikologisch relevanten Stoffe im Sickerwasser ist, zeigte sich, dass alle Beläge bezüglich DOC im Verlauf der Versuchsperiode eine Reduktion auf <5 mg/l erfahren. Es ist zu beachten, dass die DOC-Konzentrationen in den Sammelproben abhängig sind von den jeweiligen Regenmengen. Der Belag Nr. 6 (wasserdurchlässiger Belag, mehrschichtig, 15 mm, 1. Schicht 9 mm Recycling-Gummigranulat, 2. Schicht 6 mm EPDM-Granulat mit Spritzbeschichtung 1,5 kg/m² auf einem Asphaltsickerbelag) weist gegenüber den übrigen Belägen tendenziell die höchste Belastung auf. Bei allen Belägen muss für die Beurteilung eine natürliche Hintergrundbelastung aus der ungebundenen Kiestragschicht

und – dort wo eingebaut – die DOC-Belastung des Asphaltsickerbelags abgezogen werden. Da sich die einzelnen Belagstypen sehr unterschiedlich verhalten, lassen sich keine schlüssigen DOC-Bilanzen erstellen. So weist z.B. der Belag Nr. 3 (Kunststoffrasen verfüllt mit EPDM-Granulat auf einer Elastiksicht 25 mm) eine wesentlich tiefere DOC-Belastung auf als der Belag Nr. 10 (Elastiksicht alleine). Das heisst, dass aus der Elastiksicht unter einem Kunststoffrasen offenbar eine geringere DOC-Menge eluiert wird, als aus der Elastiksicht, die direkt der Witterung ausgesetzt ist.

Bezogen auf die während der gesamten Versuchsdauer bewitterte Fläche von je 1 m² ergibt sich für die einzelnen Beläge – abzüglich der Belastung aus den jeweiligen Null-Proben – folgendes Bild für die eluierten DOC-Mengen:

Mit Ausnahme der Aussagen, wonach der mehrschichtige Kunststoffbelag Nr. 6 auf einer Asphaltdecke und die der Witterung direkt ausgesetzte Elastikschiebt (Belag 10) die mutmasslich höchsten Belastungen aufweisen, sind weitere differenzierte und schlüssige Aussagen über die Belastung der einzelnen Beläge bezüglich DOC nicht möglich. Ob die DOC-Belastung des Belages Nr. 2 gegenüber dem Belag Nr. 3 signifikant höher ist, kann nicht eindeutig beurteilt werden. Auffallend ist, dass aus dem un-erfüllten Kunststoffrasen eine DOC-Belastung von 2 g/m² resultiert.

Zu beachten ist – wie vorgängig schon erwähnt –, dass der grösste Teil des DOC-Austrags beim ersten Wasserkontakt, d.h. bei der ersten grösseren Beregnung stattfindet.

3.2.2 Organischer Stickstoff

Mit dem Ziel, ergänzend zu den DOC-Messungen und der Analyse bestimmter Einzelstoffe die Summe der stickstoffhaltigen «Gummikemikalien», wie z. B. Vulkanisationsbeschleuniger sowie deren Umwandlungs- und Abbauprodukte, zu erfassen, wurde in allen Proben der organische Stickstoff (N-org.) gemessen (Differenzberechnung aus Gesamtstickstoff minus anorganischem Stickstoff). Für den Belag Nr. 1 (Kunststoffrasen verfüllt mit peroxidvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschiebt) ergibt sich der nachstehend dargestellte Konzentrationsverlauf (Abb. 4). Aus organisatorischen Gründen konnte der N-org. in der zweiten Probe des Pilotversuchs nicht gemessen werden.

Belag Nr.	DOC g/m ²	Bemerkung
1	–	Kunststoffrasen mit peroxidvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschiebt und Asphaltsickerbelag (DOC nicht auswertbar*)
2	3,2	Kunststoffrasen mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat)
3	2,0	Kunststoffrasen mit schwefelvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschiebt
4	2	Kunststoffrasen un-erfüllt
5	0,2	Kunststoffbelag aus EPDM-Granulat einschichtig auf Asphaltsickerbelag
6	5,6	Kunststoffbelag mehrschichtig, Recycling-Gummigranulat und EPDM-Granulate, Spritzbeschichtung auf Asphaltsickerbelag
7	1,1	Wasserundurchlässiger Belag, mehrschichtig (DOC nicht repräsentativ, weil das anfallende Regenwasser in der Mitte des Belages direkt abgeleitet wird)
8	2,0	Null-Probe Kieskoffer ohne Belag
9	7,9	Null-Probe Kieskoffer mit Asphaltsickerbelag**)
10	6	Elastikschiebt aus Recycling-Gummigranulat, 25 mm

*) Der Belag Nr. 1 mit dem eingebauten Asphaltsickerbelag ergab eine geringere DOC-Belastung als der Asphaltsickerbelag (Nr. 9) alleine.

**) Der Wert von 7,9 g/m² DOC bezieht sich auf die Gesamtmenge, d.h. die Belastung aus dem Kieskoffer und dem Asphaltsickerbelag. Die Belastung aus dem Asphaltsickerbelag alleine beträgt demzufolge ca. 5,9 g/m² DOC!

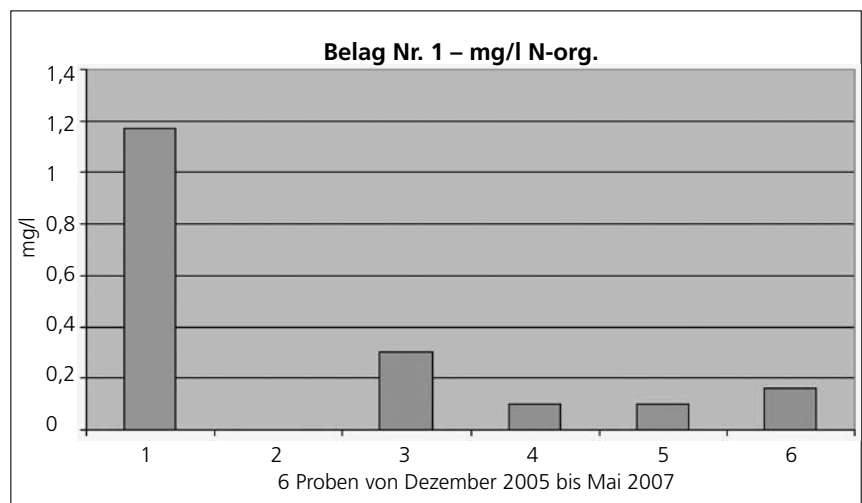


Abbildung 4

Als Vergleich wird nachstehend der Konzentrationsverlauf für die Null-Probe Nr. 8 (Kieskofter ohne Belag) aufgezeigt (Abb. 5).

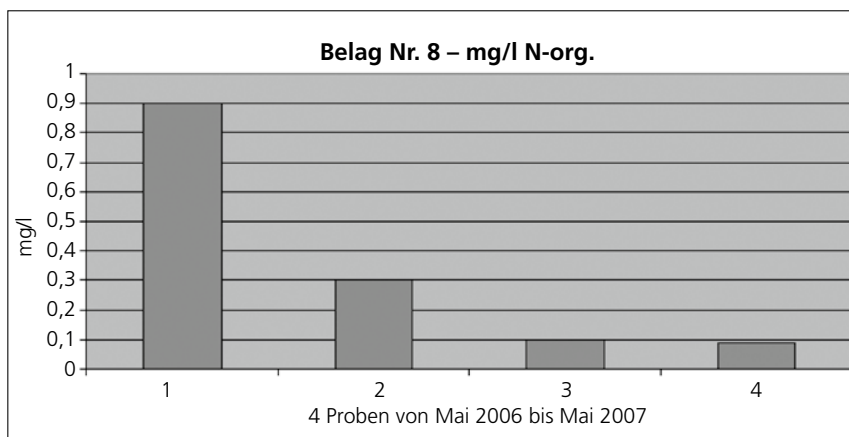


Abbildung 5

Die nachfolgende Grafik (Abb. 6) zeigt den Konzentrationsverlauf des organischen Stickstoffs der Beläge 2–10 (insgesamt 4 Sammelpunkten von Mai 2006 bis Mai 2007).

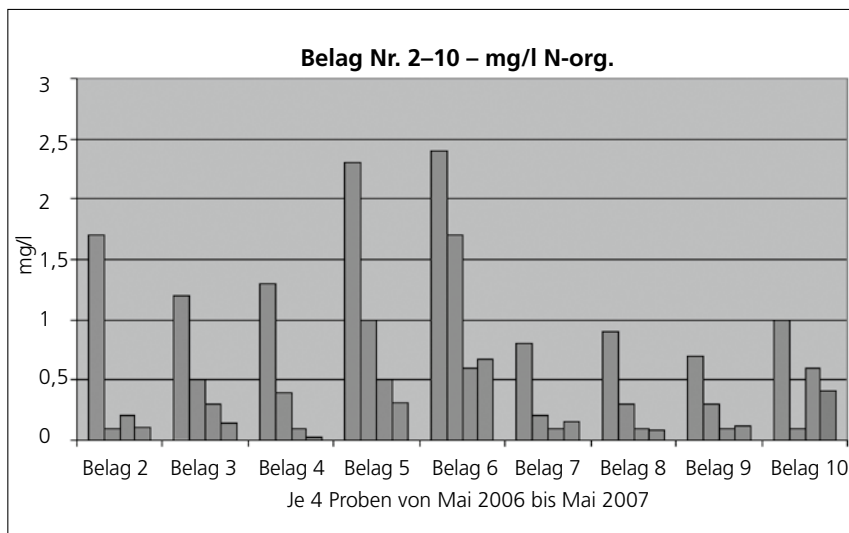


Abbildung 6

Dass aus dem Belag Nr. 1 nach einem Jahr noch geringste Spuren von organischen Chemikalien mit dem Wasser ausgewaschen werden, kann mit der Messung des organischen Stickstoffs nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der Untersuchung der Einzelstoffe mit der Spurenanalytik (siehe «Organische Spurenstoffe»), zeigt sich aber, dass Benzothiazol im Konzentrationsbereich von wenigen Mikrogramm pro Liter am Ende der Versuchsperiode noch festgestellt werden konnte. Ob diese Restkonzentrationen aus dem Granulat oder der Elastiksicht stammen, müsste durch Eluatversuche mit dem peroxidvernetzten Granulat alleine untersucht werden.

Die Konzentrationsangaben für den organischen Stickstoff sind mit einem relativ grossen Fehler behaftet, da die Werte nicht analytisch gemessen, sondern als Differenz aus dem Gesamtstickstoff (N-total) minus den gemessenen anorganischen Stickstoff (N-anorg. d.h. die Summe von Ammonium-, Nitrat- und Nitrit-Stickstoff) berechnet werden. Dennoch können mit den Resultaten die tendenziellen Unterschiede bei den einzelnen Belägen zwischen der Anfangsbelastung bei Versuchsbeginn und der Restbelastung bei Versuchsende aufgezeigt werden. Auch diese Resultate verdeutlichen den bereits beim DOC festgestellten «Auswaschungseffekt». Erhöhte Anfangskonzentrationen bei den Belägen 5 und 6 korrelieren mit den Ergebnissen der DOC-Untersuchungen und den vergleichsweise hohen Benzothiazol-Konzentrationen. Welche Anteile an organischem Stickstoff bei diesen beiden Belägen allenfalls aus dem Bindemittel stammen, müsste durch weitergehende Untersuchungen abgeklärt werden.

Bezogen auf die während der gesamten Versuchsdauer pro m² Fläche eluierte Menge an organischem Stickstoff (abzüglich der Belastung aus den jeweiligen Null-Proben) ergibt sich folgendes Bild:

Belag Nr.	N-org. mg/m ²	Bemerkungen
1	Nicht auswertbar *)	Kunststoffrasen mit peroxidvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschiicht und Asphaltsickerbelag
2	280	Kunststoffrasen mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat)
3	260	Kunststoffrasen mit schwefelvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschiicht
4	180	Kunststoffrasen unverfüllt
5	720	Kunststoffbelag aus EPDM-Granulat einschichtig, auf Asphaltsickerbelag
6	1100	Kunststoffbelag mehrschichtig, Recycling-Gummigranulat, EPDM-Granulate und Spritzbeschichtung auf Asphaltsickerbelag
7	Nicht auswertbar	Wasserundurchlässiger Belag mehrschichtig (N-org. nicht repräsentativ, weil das anfallende Regenwasser in der Mitte des Belages direkt abgeleitet wird)
8	290	Null-Probe Kieskoffer ohne Belag
9	340	Null-Probe Kieskoffer mit Asphaltsickerbelag
10	330	Elastikschiicht aus Recycling-Gummigranulat, 25 mm

*) ein Messresultat fehlt

Soweit sich trotz des relativ hohen Fehlers bei der Bestimmung des organischen Stickstoffs – wie oben erwähnt – vorsichtig beurteilen lässt, gelangte aus dem Belag Nr. 6 die grösste Menge an organischen Stickstoffverbindungen ins Sickerwasser. Vergleichsweise ebenfalls recht hohe N-org.-Mengen werden aus dem Belag Nr. 5 eluiert. Da auch aus dem unverfüllten Kunststoffrasen insgesamt rund 180 mg/m² N-org. eluiert werden, die nicht aus Gummichemikalien stammen können, ist eine schlüssige Bilanz des organischen Stickstoffs dennoch nicht möglich. Insgesamt handelt es sich um kleine Stickstoffmengen. Auffallend ist, dass aus der Elastikschiicht (Belag Nr. 10) eine grössere Menge N-org. eluiert wurde, als aus dem Belag Nr. 3, unter welchem ebenfalls eine Elastikschiicht eingebaut ist.

Mit Hilfe der Bestimmung des organischen Stickstoffs lässt sich im Gegensatz zum DOC eine etwas bessere Abschätzung des Anteils der stickstoffhaltigen Chemikalien im Sickerwasser vornehmen. Allerdings ist zu beachten, dass aufgrund des hohen Berechnungsfehlers Spuren von z.B. einzelnen Gummichemikalien mit dem organischen Stickstoff nach der weitgehend erfolgten Elution nicht mehr detektiert werden können. Welche Anteile an den gemessenen organischen Stickstoffmengen allenfalls bei den polyurethanegebundenen Belägen auf das Bindemittel zurückzuführen sind, konnte nicht ermittelt werden. Zu beachten ist, dass bereits der Belag Nr. 8 (Kieskoffer alleine) eine Belastung von 290 mg/m² N-org. ergeben hat. Der grösste Teil dieser Stickstoffverbindungen wurde jedoch bereits mit dem Regen in der Zeit von Mai bis August 2006 ausgewaschen.

3.2.3 Zink

Im Sickerwasser aller Lysimeter wurden die Zinkkonzentrationen während der gesamten Versuchsdauer gemessen. Die Messwerte lagen alle im Bereich der natürlichen Hintergrundkonzentrationen, d.h. im Bereich der Zinkkonzentrationen des Regenwassers und des Sickerwassers aus der Null-Probe (Kieskoffer mit Kiesausgleichsschiicht), **in der Grössenordnung von 0,003 bis 0,03 mg/l Zink**. Signifikante Konzentrationsveränderungen konnten während der gesamten Versuchsdauer nicht festgestellt werden.

Mit Eluatversuchen kann dagegen nachgewiesen werden, dass Zink aus allen zinkhaltigen Gummigranulaten ausgewaschen wird (siehe Ergebnisse der Eluatversuche).

Dass Zink im Sickerwasser jedoch nicht in erhöhten Konzentrationen auftritt, kann wie folgt erklärt werden:

Das Sickerwasser aller Beläge fließt durch eine Kiesausgleichsschicht und einen ca. 40 cm dicken ungebundenen Kieskoffer. Kies weist ein ausgeprägtes Adsorptionsvermögen für Zinkverbindungen auf. D.h. Zink wird an der Oberfläche der Kiespartikel gebunden. Das Adsorptionsvermögen dieser Kiesschicht ist so gross, dass alles aus den Granulaten eluiert Zink in der Kiestragschicht adsorbiert wird. Dieses Verhalten von Zink ist wissenschaftlich untersucht worden und in der Literatur beschrieben (u.a. Fic M. (1987) Adsorptions- und Desorptionsverhalten von Cd, Cr, Cu und Zink an ausgewählten Böden und Sanden. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität Kiel). Aufgrund der Ergebnisse der Eluatversuche ergibt sich, dass z. B. aus dem Granulat des Belags Nr. 2 (Kunststoffrasen verfüllt mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat) 250 mg Zink pro kg Granulat gelöst werden. Bei einer Füllmenge von ca. 12 kg Granulat pro m² Belag ergibt dies eine Menge von 3 Gramm Zink pro m². Bei einem Volumen von rund 0,4 m³ Kies – und im Falle der Kunststoffrasen von zusätzlich einigen Kilogramm Quarzsand pro m² mit sehr grosser Oberfläche – ergibt sich eine Kiesmenge von rund 600 kg/m² mit einer entsprechend grossen Adsorptionskapazität. Deshalb konnte Zink während der gesamten Versuchsdauer nicht in erhöhten Konzentrationen im Sickerwasser festgestellt werden. Mit gezielten Adsorptionsversuchen könnte dieses Verhalten weiter bestätigt werden. Obwohl das Langzeitverhalten von Gummigranulaten in Kunststoffbelägen bezüglich Zinkverlust noch nicht genügend erforscht wurde, vermuten wir, dass z. B. eine Elastikschicht aus polyurethanegebundenem zinkhaltigem Gummigranulat (z. B. Recyclinggranulat) unter einem Kunststoffrasen auch über Jahre nach der ersten oberflächlichen Auswaschung nicht mehr viel Zink verliert und die Adsorptionskapazität des Kieskoffers für Zink genügend gross ist.

Aus ökotoxikologischer Sicht steht Zink im Blickpunkt, weil bereits relativ niedrige Zinkkonzentrationen nachteilige Auswirkungen auf Wasserlebewesen haben können. Die akute Toxizität für Fische und wirbellose Wasserlebewesen wird in der Literatur mit etwa 100 Mikrogramm/l angegeben. Da das Zink aus den Kunststoffbelägen an der Kiestragschicht adsorbiert wird, sind bei der Einleitung des Sickerwassers in ein Oberflächengewässer keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserlebewesen zu erwarten.

3.2.4 Organische Spurenstoffe

Obwohl Gummi grundsätzlich nicht wasserlöslich ist, werden – wie alle Versuche gezeigt haben – die verschiedenen an der Gummioberfläche und in der Polymermatrix gebundenen organischen Stoffe beim Kontakt von Gummi mit Wasser eluiert; sie können mit der heute verfügbaren Spurenanalytik auch in kleinsten Konzentrationen nachgewiesen werden. Die untersuchten Stoffe können – wie verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt haben (z. B. «Umwelteintrag von Benzothiazolen aus dem Reifenabrieb über Kanalisation und Kläranlage», Dissertation von Dirk Krumwiede, Universität Bremen, 2001) – in allen Strassenabwässern nachgewiesen werden.

Die analytische Bestimmungsgrenze der gemessenen Stoffe liegt im Bereich von 0,2 Mikrogramm pro Liter. Die Anzahl dieser chemischen Spurenstoffe aus dem Gummi ist gross. Mit Hilfe der Bestimmung des organischen Stickstoffs lassen sich gewisse Abschätzungen über die Menge der stickstoffhaltigen Stoffe vornehmen. Aufgrund der analytischen Voruntersuchungen und der Vorevaluation der möglicherweise im Wasser zu findenden Spurenstoffe wurden quasi als Leitsubstanzen die Stoffe Cyclohexylamin, Anilin, Benzothiazol, PBN und IPPD gemessen. An dieser Stelle muss deutlich vermerkt werden, dass die Stoffe Cyclohexylamin, Anilin und Benzothiazol nicht als solche für die Herstellung von Gummi eingesetzt werden, sondern als Umwandlungs- oder Abbauprodukte während des Gummierstellungsprozesses (Vulkanisation) entstehen. Neben den vorgenannten Einzelstoffen können während des Vulkanisationsprozesses noch viele zum Teil heute ebenfalls analytisch erfassbare chemische Verbindungen entstehen. Der analytische Aufwand für die Bestimmung weiterer Stoffe ist aber sehr hoch und entsprechend teuer. Die Summe der stickstoffhaltigen Stoffe kann – wie bereits erwähnt – mit Hilfe der Bestimmung des organischen Stickstoffs abgeschätzt werden.

3.2.4.1 Cyclohexylamin

Cyclohexylamin konnte – mit Ausnahme der Null-Proben und des unverfüllten Kunststoffrasens – in allen Proben zu Beginn der Versuchsperiode nachgewiesen werden. Bei den meisten Belägen lagen die Konzentrationen jedoch bereits nach der ersten Probenahmeperiode (Mai bis August 2006) unter der Bestimmungsgrenze. Dies bedeutet, dass Cyclohexylamin relativ rasch ausgewaschen wird. Bestätigt werden konnte dieses Verhalten auch mit Eluatversuchen (siehe 3.4).

Für den Belag Nr. 1 (Pilotversuch) zeigt die nachfolgende Grafik (Abb. 7) dieses Verhalten.

Für die übrigen Beläge ergibt sich folgendes Bild (Abb. 8).

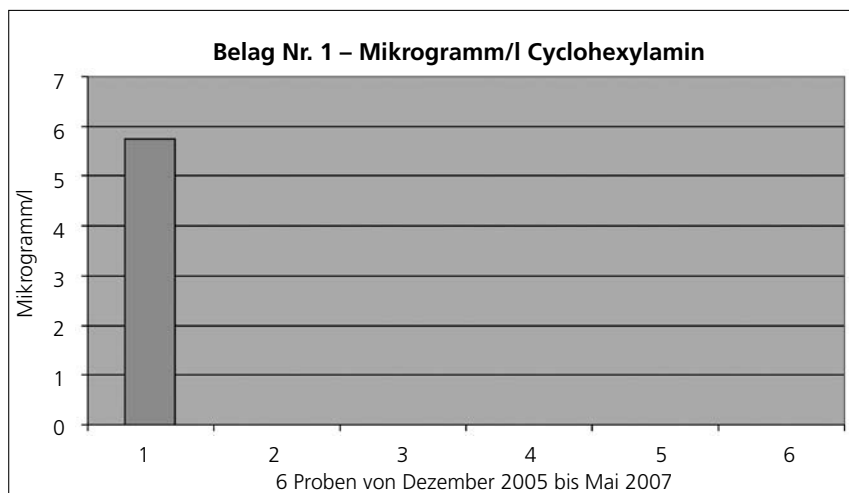


Abbildung 7

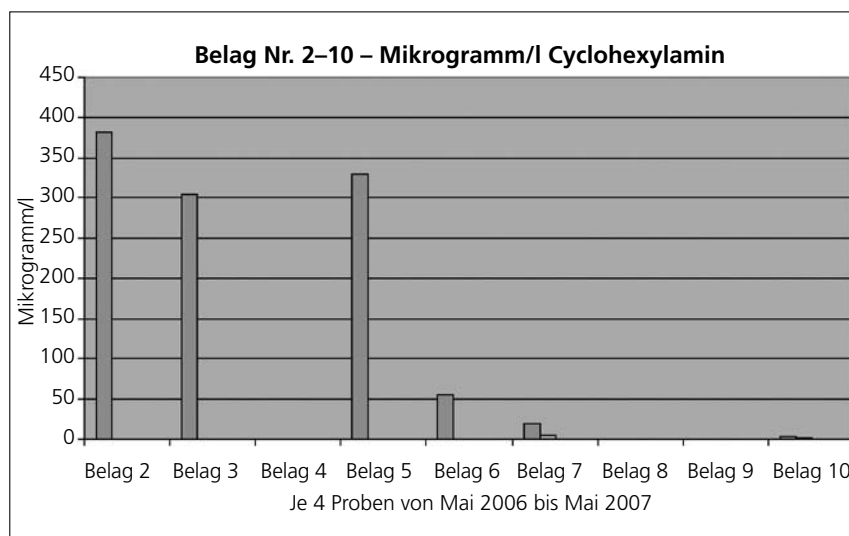


Abbildung 8

Wie die Untersuchungen zeigen, wird Cyclohexylamin relativ rasch aus den Belägen eluiert. Einzig aus den Belägen Nr. 7 (wasserundurchlässiger Elastikbelag) und Nr. 10 (Elastikschicht, Null-Probe) gelangte in der zweiten Wasserprobe noch eine geringe Menge Cyclohexylamin ins Sickerwasser. In den Belägen Nr. 4 (Kunststoffrasen unverfüllt) 8 und 9 ist kein Gummigranulat enthalten.

Die während der gesamten Versuchsdauer eluierten Cyclohexylamin-Mengen sind nebenstehend aufgeführt:

3.2.4.2 Anilin

Aus dem Belag Nr. 1 (Pilotversuch) gelangte während der gesamten Versuchsdauer kein Anilin in das Sickerwasser. Bei den übrigen Belägen (mit Ausnahme der Beläge 4, 8 und 9, in denen kein Gummigranulat enthalten ist) konnte Anilin in kleinsten Konzentrationen nachgewiesen werden. Augenfällig ist der Konzentrationsverlauf aus dem Belag Nr. 10 (Elastikschicht als Null-Probe). Die Grafik (Abb. 9) verdeutlicht, dass Anilin im Sickerwasser aller Beläge gefunden werden kann, die Recycling-Gummigranulate enthalten.

Für Belag Nr. 10 beläuft sich die während der gesamten Versuchsdauer eluierte Anilinmenge auf rund 30 mg/m², wobei auch hier rund 80 Prozent des Anilins während der ersten beiden Messperioden (Mai bis Oktober 2007) eluiert wurden.

Welches die Gründe für die verhältnismässig hohen Anilinmengen beim Belag Nr. 10 (Elastikschicht) sind, lässt sich nicht sicher beurteilen. Da diese schwarze Elastikschicht durch die Sonneneinstrahlung ständig erwärmt wurde, ist nicht auszuschliessen, dass aus diesem Belag, der im Normalfall unter einem Kunststoffrasen liegt, als Folge der extremen Versuchsbedingungen etwas grössere Mengen Anilin freigesetzt werden.

Belag Nr.	Cyclohexylamin mg/m ²	Bemerkungen
1	0,3	Kunststoffrasen mit peroxidvernetztem EPDM auf Elastikschicht und Asphaltsickerbelag
2	102	Kunststoffrasen mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat)
3	86	Kunststoffrasen mit schwefelvernetztem EPDM-Granulat auf Elastikschicht
4	–	Kunststoffrasen unverfüllt
5	98	Kunststoffbelag aus EPDM-Granulat einschichtig auf Asphaltsickerbelag
6	18	Kunststoffbelag mehrschichtig, Recycling-Gummigranulat, EPDM-Granulate und Spritzbeschichtung auf Asphaltsickerbelag
7	6	Wasserundurchlässiger Belag mehrschichtig, auf Asphaltsickerbelag, Niederschlagswasser wird in der Belagsmitte abgeleitet
8	–	Null-Probe Kieskoffer ohne Belag
9	–	Null-Probe Kieskoffer mit Asphaltsickerbelag
10	1,2	Elastikschicht aus Recycling-Gummigranulat, 25 mm

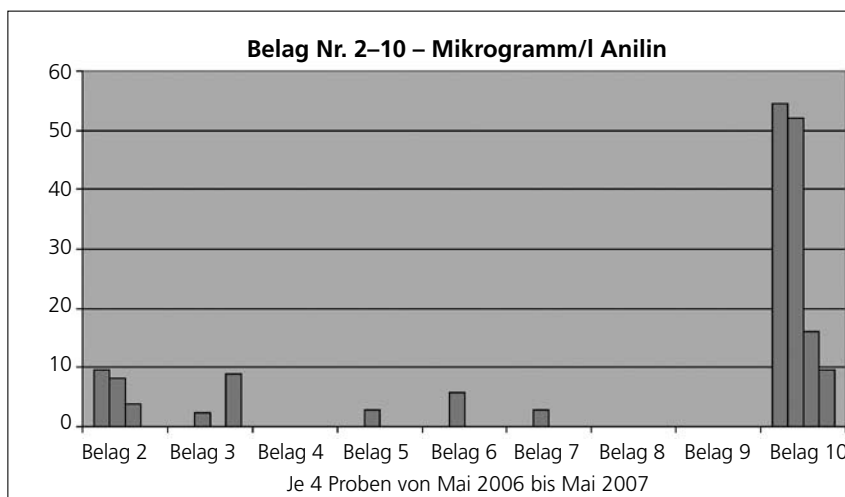


Abbildung 9

3.2.4.3 Benzothiazol

Benzothiazol konnte in den Proben aller Beläge (mit Ausnahme des Belages Nr. 4, unverfüllter Kunststoffrasen, und den Null-Proben Nr. 8 und 9) festgestellt werden. Im Gegensatz zu Cyclohexylamin – sofern die Granulate diesen Stoff enthalten – wird Benzothiazol langsamer von den Gummioberflächen ausgewaschen. Dies verdeutlicht, dass jeder einzelne chemische Stoff im Gummigranulat beim Kontakt von Gummi mit Wasser ein unterschiedliches Auswaschungsverhalten aufweist (Abb. 10 und 11).

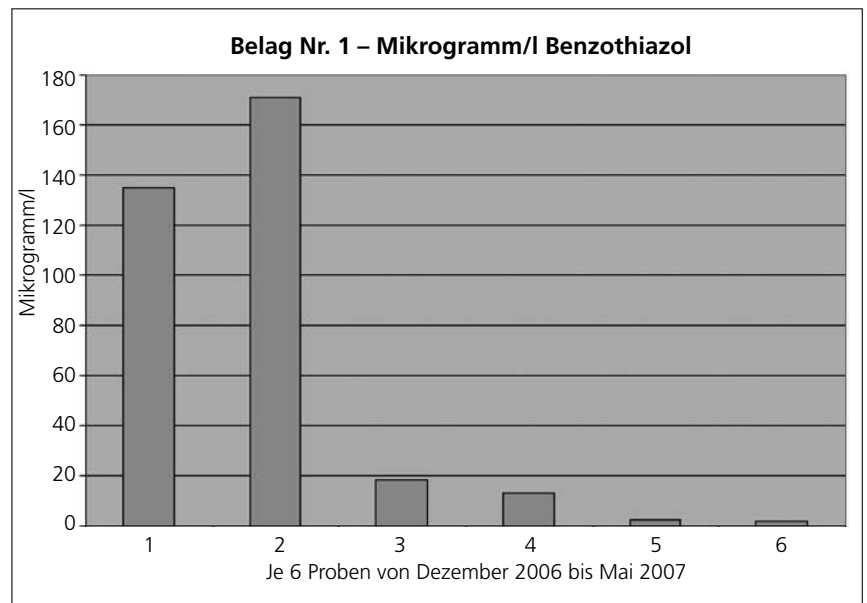


Abbildung 10

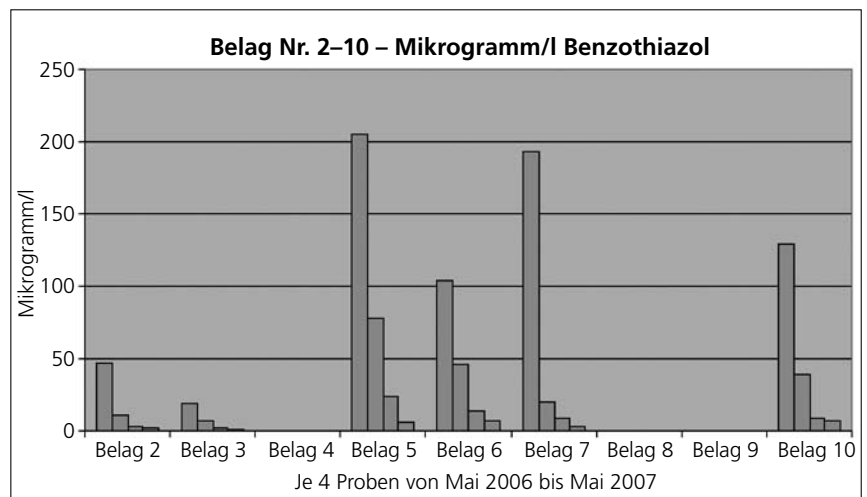


Abbildung 11

Die während der gesamten Versuchsdauer eluierten Benzo-thiazol-Mengen sind nachfolgend dargestellt:

Belag Nr.	Benzo-thiazol mg/m ²	Bemerkung
1	93	Kunststoffrasen mit peroxidvernetztem EPDM auf Elastiksicht und Asphaltsickerbelag
2	17	Kunststoffrasen mit LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat)
3	8	Kunststoffrasen mit schwefelvernetztem EPDM-Granulat auf Elastiksicht
4	–	Kunststoffrasen unverfüllt
5	86	Kunststoffbelag aus EPD-Granulat einschichtig auf Asphaltsickerbelag
6	52	Kunststoffbelag mehrschichtig, Recycling-Gummigranulat, EPDM-Granulate und Spritzbeschichtung auf Asphaltsickerbelag
7	56	Wasserundurchlässiger Belag, mehrschichtig, Asphaltsickerbelag, Niederschlagswasser wird in der Belagsmitte abgeleitet
8	–	Null-Probe Kieskoffer ohne Belag
9	–	Null-Probe Kieskoffer mit Asphaltsickerbelag
10	42	Elastiksicht aus Recycling-Gummigranulat, 25 mm

Bei allen Belägen konnten auch am Ende der Versuchperiode im Sickerwasser noch geringste Spuren von Benzothiazol nachgewiesen werden. Ungeachtet dessen ist aber bei Benzothiazol ebenfalls ein ausgeprägter Auswascheffekt feststellbar.

Aus dem Belag Nr. 2 (Kunststoffrasen verfüllt mit LKW-Reifen-Gummigranulat) wurden beispielsweise während der gesamten Versuchsdauer insgesamt lediglich 17 mg/m² Benzothiazol ausgewaschen, wobei rund 80 Prozent dieser Menge bereits mit den ersten 270 Litern Regenwasser pro m² eluiert wurden. Tendenziell weisen alle Beläge etwa das gleiche Auswaschmuster auf.

3.2.4.4 PBN und IPPD

Diese Stoffe konnten in keiner Sickerwasserprobe nachgewiesen werden (Bestimmungsgrenze 0,2 Mikrogramm/l).

3.2.4.5 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (kurz PAK oder englisch PAH = Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) bilden eine Stoffgruppe von organischen Kohlenwasserstoffverbindungen, die aus mindestens zwei oder mehreren miteinander verbundenen Benzolringen bestehen. Man spricht auch von kondensierten Ringsystemen.

Von den PAK sind mehrere hundert Verbindungen bekannt. Der einfachste PAK ist das Naphthalin (früher als Mottenschutzmittel eingesetzt). PAK sind natürliche Bestandteile von Kohle und Erdöl. Sie entstehen aber auch bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material (Kohle, Holz, Brennstoffe, Tabak etc. etc.) Diese Stoffe sind weltweit überall nachzuweisen im Boden, in der Luft und im Wasser. Zu den gefährlichen PAK (krebserregende Wirkung) gehören die Verbindungen aus der Gruppe der Benzpyrene, z. B. Benz(a)pyren.

Bei der Analyse der Sickerwasserproben wurden die heute routinemässig untersuchten nachstehend genannten 16 PAK gemessen:

- Naphthalin
- Acenaphthylen
- Acenaphthen
- Fluoren
- Phenanthren
- Anthracen
- Fluoranthren
- Pyren
- Benz(a)anthracen
- Chrysen
- Benz(b)fluoranthren
- Benz(k)fluoranthren
- Benz(a)pyren
- Indeno(1,2,3-cd)pyren
- Dibenz(a,h)anthracen
- Benz(g,h,i)perylene

Die Resultate der umfassenden PAK-Untersuchungen im Sickerwasser zeigen folgendes Bild:

In allen Proben – einschliesslich der Null-Probe (Kieskofter ohne Belag) – konnten während der ersten Monate der Versuchszeit Spuren von PAK im Sickerwasser nachgewiesen werden. Es handelt sich um Spuren z.B. von Naphthalin, Phenanthren, Fluoranthren im Konzentrationsbereich zwischen etwa 0,02 und 0,1 Mikrogramm pro Liter. In keiner Probe konnten gefährliche PAK, wie Benz(a)pyren über der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,02 Mikrogramm pro Liter nachgewiesen werden. Das Konzentrationsbild zeigt bei allen Belägen, dass anfänglich noch vorhandene PAK-Spuren ausgewaschen werden, denn bei allen Proben lagen die Konzentrationen aller untersuchten PAK am Schluss der Versuche unter der Bestimmungsgrenze (0,02 Mikrogramm/l). Aufgrund der sehr niedrigen Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenzen ist es nicht sinnvoll, für die einzelnen Verbindungen Stoffbilanzen zu erstellen.

Signifikante Unterschiede bei den PAK-Konzentrationen in den Sickerwasserproben zwischen den einzelnen Belägen konnten nicht festgestellt werden. Aufgrund der Analysenergebnisse kann der Schluss gezogen werden, dass die PAK-Belastung des Sickerwassers mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die natürlicherweise bereits in der ungebundenen Tragschicht (Kieskofter) vorhandenen PAK-Spuren zurückzuführen ist und aus den Belägen keine zusätzlichen, analytisch erfassbaren PAK-Mengen ins Wasser gelangen.

3.3 Chemisch-physikalische Granulatuntersuchungen

Von allen eingebauten Materialien wurden Rückstellproben genommen. Zur genauen Charakterisierung der eingesetzten Gummigranulate wurden Thermoanalysen durchgeführt und zusätzlich die Zinkgehalte der Granulate gemessen. Die Zinkgehalte liegen für Gummi im zu erwartenden Bereich. Die höchste Zinkkonzentration wurde im Granulat des Belags Nr. 2 (Kunststoffrasen verfüllt mit LKW-Reifen-Gummigranulat) gefunden: 21,2 Gramm Zink pro kg Granulat. In den einzelnen Rückstellproben sind folgende Zinkmengen gemessen worden:

Nr. E 1/3	14,3 g/kg
Belag Nr. 1	0,03 g/kg
Belag Nr. 2	21,2 g/kg
Belag Nr. 3	4,51 g/kg
Belag Nr. 5	1,99 g/kg
Belag Nr. 6.1	12,3 g/kg
Belag Nr. 6.2	1,84 g/kg
Belag Nr. 6.3	1,97 g/kg
Belag Nr. 7.1	10,5 g/kg
Belag Nr. 7.2	1,20 g/kg
Belag Nr. 10.1	16,3 g/kg
Belag Nr. 10.2	11,1 g/kg

- Nr. E 1/3: Elastikschicht unter den Belägen Nr. 1 und 3
- Nr. 1: EPDM-Granulat peroxidvernetzt im Kunststoffrasen
- Nr. 2: LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat) im Kunststoffrasen
- Nr. 3: EPDM-Granulat schwefelvernetzt im Kunststoffrasen
- Nr. 5: Kunststoffbelag einschichtig, EPDM-Granulat
- Nr. 6.1: Kunststoffbelag mehrschichtig, 1. Schicht Recycling-Gummigranulat
- Nr. 6.2: Kunststoffbelag mehrschichtig, 2. Schicht EPDM-Granulat
- Nr. 6.3: Kunststoffbelag mehrschichtig, Spritzbeschichtung
- Nr. 7.1: Sandwichbelag wasserundurchlässig, 1. Schicht Recycling-Gummigranulat
- Nr. 7.2: Sandwichbelag wasserundurchlässig, 2. Schicht EPDM-Granulat
- Nr. 10.1: Elastikschicht Recycling-Gummigranulat (Rückstellprobe)
- Nr. 10.2: Elastikschicht Recycling-Gummigranulat (Echt-Probe aus dem Belag)

Wie bereits erwähnt wirkten sich die sehr unterschiedlichen Zinkgehalte der Granulate in den verschiedenen Belägen als Folge des grossen Adsorptionsvermögens der ungebundenen Kiestragschicht für Zink nicht auf die Zinkkonzentration im Sickerwasser aus.

3.4 Eluatversuche im Labor

Ergänzend zu den Lysimeterversuchen wurden mit einzelnen Gummigranulaten Eluatversuche (Schütteln der Granulate mit Wasser) durchgeführt, mit dem Ziel, den Konzentrationsverlauf bei der Eluierung im Laborversuch mit dem Konzentrationsverlauf im Sickerwasser aus den Lysimetern vergleichen und beurteilen zu können. Diese Eluatversuche wurden nach dem Prüfverfahren der Richtlinie 105 durchgeführt, jedoch wurden die Proben nicht nur 48 Stunden sondern bis zu 96 Stunden eluiert, um den Auswaschungseffekt beobachten zu können.

Insgesamt wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Granulate aus den Kunststoffrasen der Beläge Nr. 2 und 3
- je 24/48 Stunden geschüttelt mit Wasser im Verhältnis 1:10, mit CO₂ und ohne CO₂
- je 24/48/72/96 Stunden geschüttelt mit Wasser im Verhältnis 1:25, ohne CO₂

Es wurde auf die gleichen Einzelstoffe und Stoffgruppen wie im Sickerwasser der Lysimeter geprüft (ausgenommen PAK und N-org.).

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen ergibt sich im Vergleich zum Verhalten der Granulate in den Lysimetern kurz zusammengefasst folgendes Bild:

Die Analyseresultate zeigten, dass die für die Eluierung gewählten Verhältnisse zwischen Wasser und Granulatmenge (1:10 oder 1:25) unwesentlich sind für die aus den Granulaten herausgelösten spezifischen Stoffmengen (ausgedrückt als Milligramm Stoff/kg Gummigranulat).

Wie bei den Belägen in den Lysimetern werden bei der Eluierung der Granulate in Laborversuchen die anorganischen und organischen Verbindungen verhältnismässig rasch ausgewaschen. Der grösste Teil der Stoffe wird bereits beim ersten Kontakt der Granulate mit Wasser eluiert. Im Übrigen zeigte sich, dass insbesondere Zink, aber auch andere Stoffe beim Eluattest mit Wasser und CO₂ d.h. im sauren Medium in grösseren Mengen gelöst werden als mit neutralem Wasser ohne CO₂.

Die organischen Gummichemikalien zeigen bei den Eluatversuchen ein grundsätzlich gleiches Verhalten wie Zink. Dagegen ergeben sich Unterschiede zum Sickerwasser: Während das aus den Belägen ausgewaschene Zink in der Kiesschicht vollständig adsorbiert wird, können die organischen Stoffe je nach ihren Eigenschaften, ihrer biologischen Abbaubarkeit, der Wasserlöslichkeit und insbesondere wegen ihres unterschiedlichen Adsorptionsverhaltens im Sickerwasser anfänglich nachgewiesen werden. Jeder organische Stoff weist – wie bereits erwähnt – dabei ein anderes Verhalten auf.

In der nachstehenden Grafik (Abb. 12) wird dieses Verhalten mit dem LKW-Reifen-Gummigranulat aus dem Belag Nr. 2 für den Summenparameter DOC dargestellt (Eluatversuch mit Wasser 1:25, ohne CO₂).

Bei diesem Eluatversuch wurde nach insgesamt 96 Stunden eine Menge von gesamthaft **1 Gramm DOC pro kg Gummi** ausgewaschen.

Der Konzentrationsverlauf beim Belag Nr. 2 des Lysimeterversuches von Mai 2006 bis Mai 2007 in den 4 Sammelproben ergibt als Vergleich folgendes Bild (Abb. 13).

Nach einer Bewitterungszeit von einem Jahr wurden aus dem Belag Nr. 2 mit dem Niederschlagswasser (abzüglich der Menge aus der Null-Probe von Belag Nr. 8 mit Kieskoffer ohne Kunststoffbelag) rund **0,25 Gramm DOC pro kg Gummi** ausgewaschen. d.h. rund ein Viertel, verglichen mit dem Eluatversuch über 96 Stunden. Diese wesentlich geringere Menge kann u.a. darauf zurückgeführt werden, dass im Lysimeter – insbesondere in der Kiestragschicht – biologische Abbauvorgänge stattfinden und die Eluierung im Labortest durch den intensiven Kontakt des Granulats mit Wasser zu höheren spezifischen Auswaschungen führt.

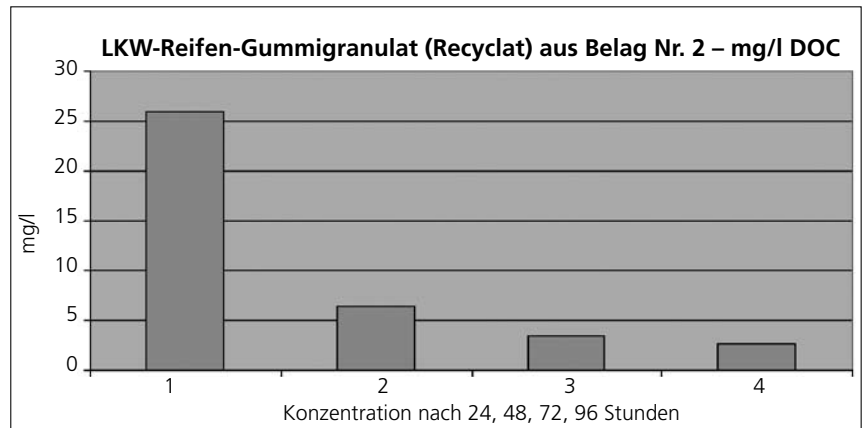


Abbildung 12

Für das Granulat aus dem Belag Nr. 3 (Kunststoffrasen verfüllt mit EPDM-Granulat schwefelvernetzt) ergibt sich beim Eluatversuch folgendes Konzentrationsverhalten (Abb. 14).

Im Vergleich zum Granulat aus dem Belag Nr. 2 ist die Anfangskonzentration tiefer, und der Konzentrationsabfall weniger ausgeprägt. Dies verdeutlicht, dass das Verhalten der organischen Stoffe in den Granulaten beim Kontakt mit Wasser sehr verschieden ist.

Die total eluierte DOC-Menge beträgt bei diesem schwefelvernetzten EPDM-Granulat 0,1 g DOC pro kg Granulat. D.h. der Eluatversuch ergibt gegenüber dem Granulat aus dem Belag Nr. 2 eine 10-fach geringere spezifische DOC-Menge, die pro kg aus dem Granulat gelöst wurde.

Für Belag Nr. 3 (Kunststoffrasen verfüllt mit EPDM schwefelvernetzt) ist ein direkter Vergleich zwischen dem Eluatversuch und dem DOC aus dem Sickerwasser nicht möglich, da unter dem Kunststoffrasen des Belags Nr. 3 eine Elasticschicht eingebaut worden ist.

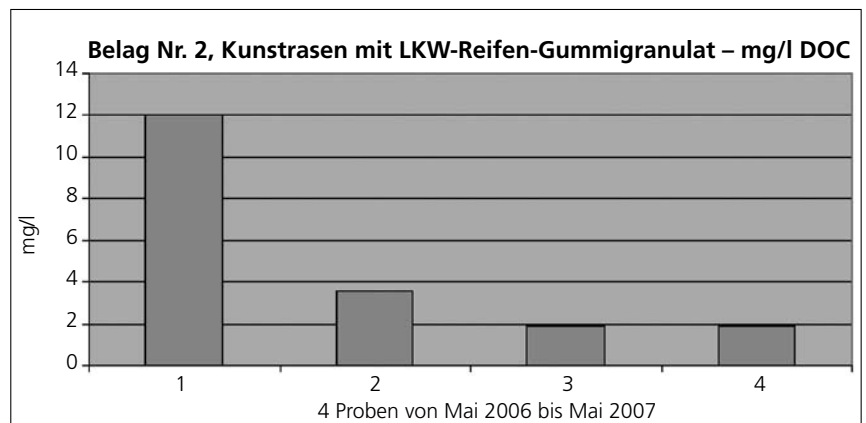


Abbildung 13

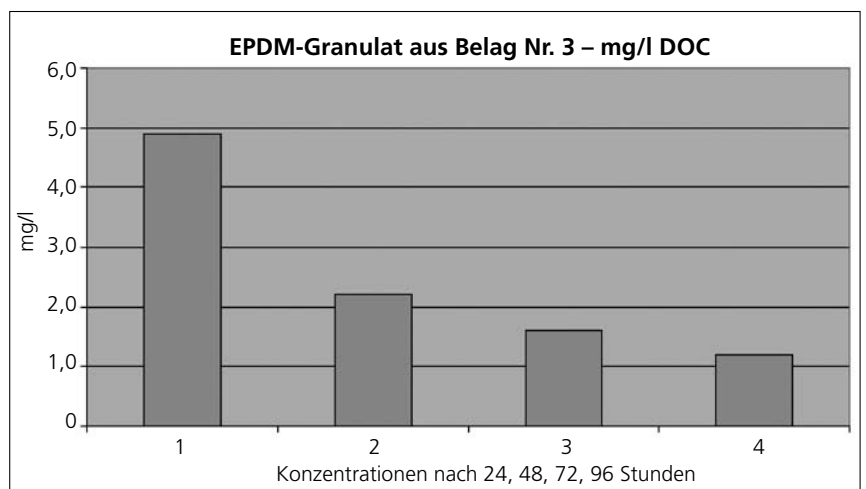


Abbildung 14

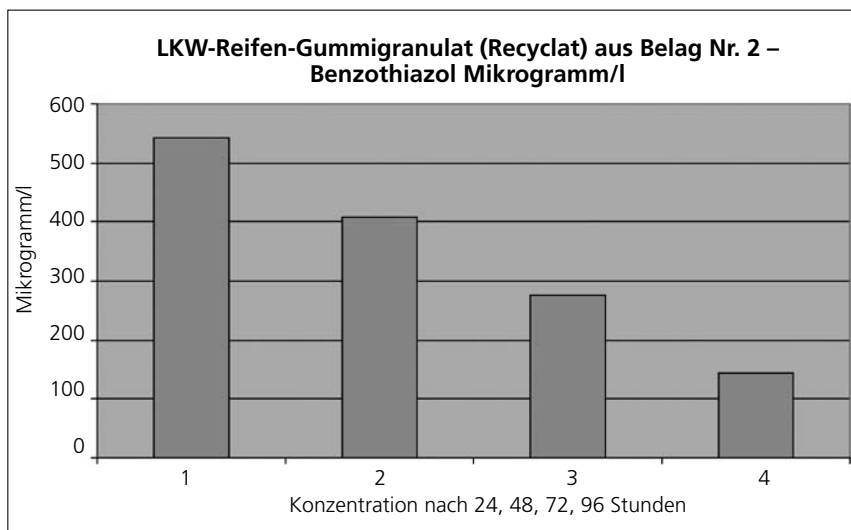


Abbildung 15

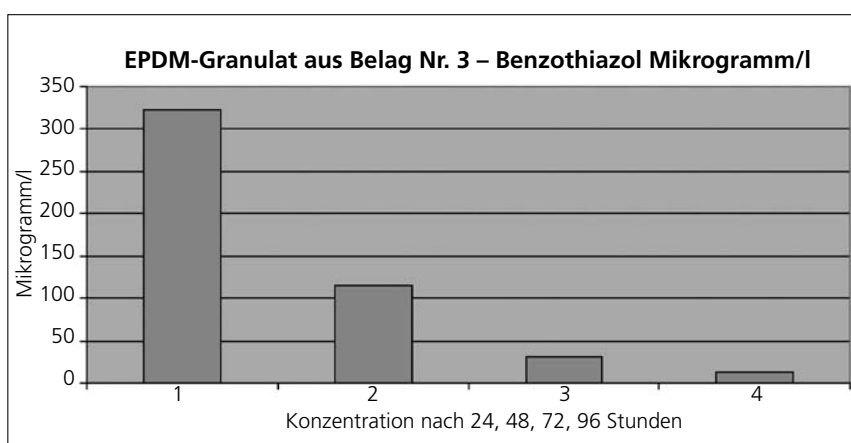


Abbildung 16

Für **Benzothiazol** ergibt sich beim Eluatversuch mit dem Granulat aus dem Belag Nr. 2 (LKW-Reifen-Gummigranulat) folgendes Bild (Abb. 15).

Während 96 Stunden wurde eine Menge von total **34,2 mg Benzothiazol** pro kg Gummi aus dem Granulat gelöst.

Aus dem Belag Nr. 2 sind während eines Jahres total 17 mg Benzothiazol pro m² Belag im Sickerwasser gemessen worden. Unter der Annahme, dass rund 12 kg Granulat pro m² Belag eingesetzt wurden, ergibt dies eine spezifische Menge von rund **1,4 mg Benzothiazol** pro kg Gummigranulat, d.h. wesentlich weniger als aus dem Eluattest.

Damit kann deutlich gezeigt werden, dass die Resultate von Eluattests zwar aufzeigen, welche Mengen an löslichen organischen Stoffen – im vorliegenden Fall Benzothiazol – ins Wasser gelangen könnten, hingegen ergibt sich aus dem praxisnahen Feldversuch, dass die im Sickerwasser schliesslich gemessene Menge wesentlich geringer ist. Vor allem zeigt sich aber sehr deutlich, dass die Ergebnisse der bislang nach der Richtlinie 105 durchgeführten Eluattests eine Beurteilung des wirklichen Verhaltens der Beläge unter den natürlichen Witterungsverhältnissen nicht ermöglichen.

Für das schwefelvernetzte EPDM-Granulat aus dem Belag Nr. 3 zeigt sich beim Eluattest folgender Benzothiazol-Konzentrationsverlauf (Abb. 16).

Umgerechnet ergibt sich aus diesen Konzentrationswerten eine total eluierte Benzothiazolmenge von rund **12 mg pro kg Gummigranulat**, während total 96 Stunden, d.h. rund Drittel im Vergleich zur Menge von **34,2 mg pro kg Gummigranulat** aus dem LKW-Reifen-Gummigranulat von Belag Nr. 2. Ob die mutmassliche Folgerung zutrifft, wonach dieses schwefelvernetzte EPDM-Granulat im Vergleich zum Recycling-Gummigranulat ein insgesamt günstigeres Umweltverhalten aufweist, müsste durch weitere systematische analytische Messungen von organischen Einzelstoffen im Eluat untersucht und schliesslich auch ökotoxikologisch beurteilt werden.

Für **Cyclohexylamin** ergibt sich beim Granulat aus dem Belag Nr. 2 im Eluattest folgendes Konzentrationsverhalten (Abb. 17).

Wie diese Grafik zeigt, wird Cyclohexylamin im Vergleich zu Benzothiazol bereits nach sehr kurzer Zeit von der Oberfläche des Granulats praktisch vollständig ausgewaschen und kann im Eluat schon nach 48 Stunden nicht mehr nachgewiesen werden.

Das tendenziell gleiche Verhalten von Cyclohexylamin wird in den Sammelproben aus dem Lysimeter mit dem Belag Nr. 2, festgestellt, wie die nachfolgende Grafik (Abb. 18) zeigt.

Im schwefelvernetzten EPDM-Granulat aus dem Belag Nr. 3 wurde bei den Eluatversuchen kein Cyclohexylamin festgestellt. Da dieser Kunststoffrasen jedoch auf einer Elastikschiicht mit Recycling-Gummigranulat verlegt worden ist, konnte in der ersten Sammelprobe des Sickerwassers aus dem Lysimeter gleichwohl Cyclohexylamin festgestellt werden. D.h. also: Auch wenn die Füllung des Kunststoffrasens mit einem «cyclohexylaminfreien» Granulate erfolgt, kann dieser Stoff aus einer darunter liegenden Elastikschiicht ins Wasser gelangen.

Anilin: Bei den Eluatversuchen konnte Anilin in abnehmenden Konzentrationen im Granulat aus dem Belag Nr. 2 festgestellt werden, während die Eluate des schwefelvernetzten EPDM-Granulats aus dem Belag Nr. 3 kein Anilin enthielten. Mutmasslich stammt das Anilin nicht aus dem peroxidvernetzten Granulat, sondern aus der darunter liegenden Elastikschiicht.

PBN und IPPD: PBN wurde in keiner Eluat-Probe gefunden, während IPPD im Granulat aus dem Belag Nr. 2 (LKW-Reifen-Gummigranulat) beim Eluatversuch mit CO₂ (Verhältnis 1:10) im Konzentrationsbereich < 10 Mikrogramm/l und bei Eluierung ohne CO₂ im Konzentrationsbereich < 1 Mikrogramm festgestellt wurde.

Eine Untersuchung auf weitere in Reifengummi häufig verwendete Paraphenylendiamine, wie z. B. 6PPD wurde nicht durchgeführt.

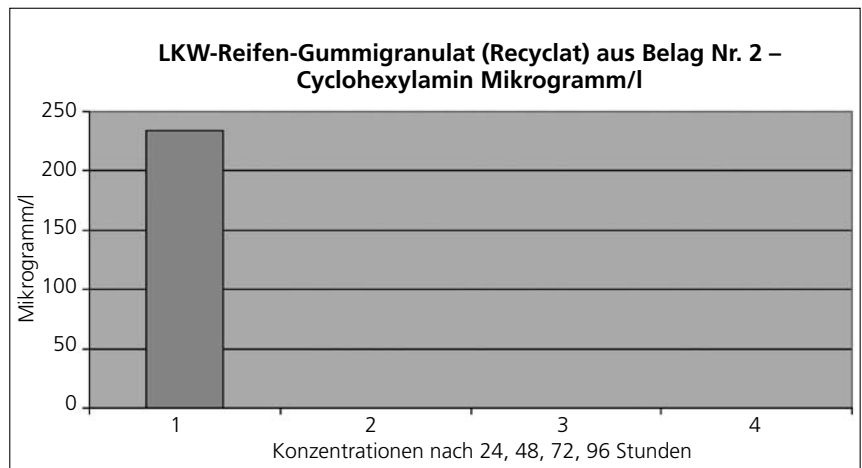


Abbildung 17

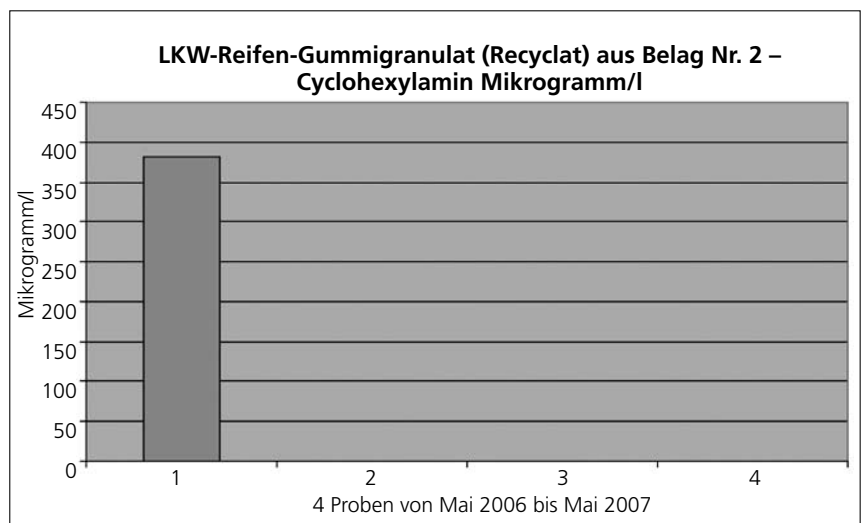


Abbildung 18

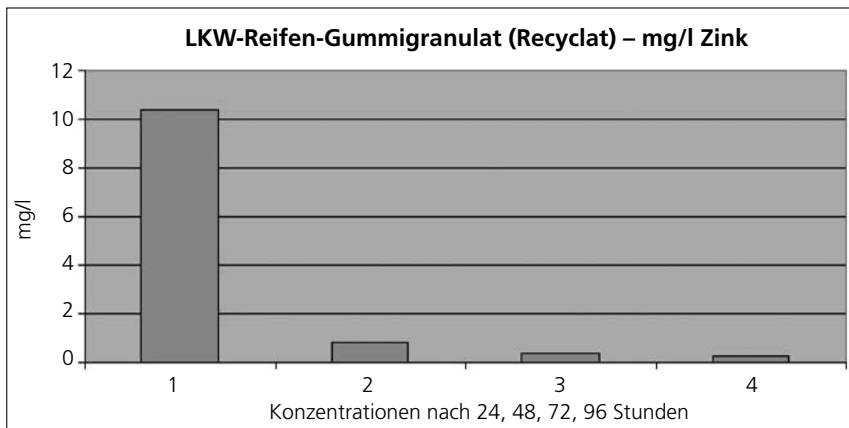


Abbildung 19

Zink: Wie die Eluatversuche gezeigt haben, wird aus den Granulaten mit hohem Zinkgehalt beim ersten Kontakt mit Wasser tendenziell mehr Zink ausgewaschen als bei Granulaten mit niedrigerem Zinkgehalt. Abb. 19 zeigt als Beispiel den Konzentrationsverlauf bei der Eluierung von Zink aus dem im Belag Nr. 2 verfüllten LKW-Reifen-Gummigranulat (Recyclat) bei einem Verhältnis von 1:25 (Granulat/Wasser ohne CO₂). Grundsätzlich gilt aber auch für Zink der bei den organischen Stoffen festgestellte zeitlich abhängige Auswaschungseffekt. Bei der Eluierung mit CO₂ angesäuertem Wasser ist die ausgewaschene Zinkmenge erhöht.

3.5 Sickerwasseruntersuchungen im Stade de Suisse (Bern)

Mit Erlaubnis der für den Betrieb des Stade de Suisse Bern (Wankdorf) verantwortlichen Geschäftsleitung konnten zu Vergleichszwecken Sickerwasserproben (Stichproben) aus dem Kunststoffrasenfeld dieses Stadions entnommen und untersucht werden. Die gesamte Entwässerung des Spielfeldes erfolgt in separaten Leitungen. Soweit aufgrund der vorhandenen Pläne beurteilt werden kann, wird das Sickerwasser aus dem Spielfeld weder mit anderem Abwasser oder Niederschlagswasser verdünnt noch verschmutzt. Da die erste Wasserprobe erst einige Monate nach dem Einbau des Kunststoffrasens entnommen werden konnte, war es nicht möglich, eine Beurteilung des Sickerwassers nach dem ersten Regenereignis zu untersuchen und zu beurteilen.

In den analysierten Sickerwasserproben konnten keine Gummichemikalien und keine PAK nachgewiesen werden. Die Zinkkonzentrationen lagen im Bereich der natürlichen Hintergrundkonzentration von 0,02 – 0,04 mg/l Zink. Während in der ersten Sickerwasserprobe (Oktober 2006) eine DOC-Konzentration von 2,3 mg/l gemessen wurde, ergab sich in der zweiten Probe (Februar 2007) eine Konzentration von 71 mg/l. Ob diese erhöhte DOC-Konzentration eine Folge davon war, dass auf dem Spielfeld kurz zuvor ein Event stattgefunden hat, ist nicht näher geprüft worden. Da die Ableitung des Sickerwassers in die öffentliche Kanalisation erfolgt, ist die erhöhte DOC-Konzentration aus Sicht des Gewässerschutzes nicht von Bedeutung.

4. Beurteilung der Gewässerbelastung

Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, konnten im Sickerwasser von Kunststoffbelägen, die in **Lysimetern** verlegt worden sind, mit Hilfe von Einzelstoffanalysen und der Messung von Summenparametern nach den ersten Regenereignissen zahlreiche chemische Verbindungen nachgewiesen werden. Die anfänglich etwas erhöhte Belastung des Sickerwassers mit diesen Stoffen nimmt meist sehr rasch ab. Jeder einzelne Stoff weist bezüglich der Menge und Zeitdauer ein eigenes Auswaschverhalten auf. Die – zeitlich ständig abnehmende – Belastung des Sickerwassers kann aus der Sicht des Gewässerschutzes als nicht problematisch bezeichnet werden. Bereits kurze Zeit nach Inbetriebnahme des Spielfeldes des Stade de Suisse konnten im Sickerwasser aus dem Kunststoffrasen keine der analysierten Gummichemikalien mehr festgestellt werden.

Gemäss den Gewässerschutzvorschriften kann das Sickerwasser aus Kunststoffbelägen nach dem ersten kurzzeitigen Auswaschen der Stoffe als unverschmutztes Abwasser gelten. Über die allenfalls zu treffenden Massnahmen hat die Behörde im Einzelfall zu entscheiden.

Die Ergebnisse der **Einzelstoffuntersuchungen** von den **Eluatversuchen** mit Gummigranulaten bei möglichst langer Eluierungszeit (mehrere Tage) können Anhaltspunkte für eine qualitative Beurteilung der Beläge über die kurzzeitig insgesamt aus den Granulaten eluierbaren Stoffmengen geben. Diese Ergebnisse bilden jedoch keine ausreichende Grundlage für die Festlegung von Anforderungskriterien an die Granulate bezüglich des Gewässerschutzes. Überdies ist zu erwähnen, dass für den Erlass von Vorschriften zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Kunststoffbelägen keine gesetzlichen Grundlagen vorhanden sind.

5. Schlussfolgerungen

Aufgrund der Lysimeter-Feldversuche (Dauer des Hauptversuchs von Mai 2006 – Mai 2007) sowie der ergänzenden Untersuchungen können zusammenfassend folgende Schlüsse gezogen werden:

- Sowohl mit den Lysimeterversuchen als auch mit den Eluattests kann aufgezeigt werden, dass aus allen Belägen, die Gummigranulate (EPDM-Gummi und Recyclate – meistens aus Reifen –) enthalten, organische Stoffe durch das Regenwasser in Spuren – d.h. in sehr geringen Mengen – eluiert werden. Von der Oberfläche und aus der Polymermatrix der Granulate werden mit zeitlich abfallender Konzentration analytisch detektierbare Spurenstoffe gelöst, Verbindungen die ebenfalls – verursacht durch Reifenabrieb – in Strassenabwässern analysiert werden.
- Die Konzentrationen der gemessenen **Einzelstoffe**, des **DOC** sowie des **organischen Stickstoffs** nehmen sowohl bei den Lysimeter- als auch bei den Eluatversuchen stoffspezifisch und zeitabhängig zunächst sehr stark und in der Folge langsam bis zu einem Minimum ab. Gegen Ende der Versuchperiode, nach einem Jahr, wird für die meisten Einzelstoffe bereits die Bestimmungsgrenze unterschritten. Für jede einzelne

chemische Verbindung aus den Gummigranulaten ist ein stoffspezifischer Konzentrationsverlauf feststellbar.

- Die DOC-Werte der Eluate von Granulaten weisen gegenüber denen der Lysimeter wesentliche Unterschiede auf. Deshalb ist der Eluat-DOC keine geeignete Messgrösse für die Beurteilung des Langzeitverhaltens der Beläge.
- Die sehr geringen **PAK**-Konzentrationen aus den Granulaten sind in gleicher Höhe bei der Nullprobe (Kieskofter ohne Belag) festgestellt worden; sie entsprechen der Umgebungsbelastung (ubiquitär).
- **Zink**, aus dem im Gummi vorhandenen Zinkoxid, zeigt bei den Eluattests ein besonderes Verhalten. Nach den ersten 24 Stunden werden verhältnismässig hohe Mengen gemessen (Granulate von Recyclaten, meist aus Reifen, mit hohem Zinkoxidgehalt, geben höhere Zinkkonzentrationen ab, als EPDM-Granulate mit geringerem Zinkoxidgehalt). Die Eluatversuche mit deionisiertem Wasser, das mit CO₂ gesättigt (angesäuert) wurde, ergaben höhere Zinkkonzentrationen als solche mit neutralem Wasser. Dagegen sind bei keinem Lysimeterversuch im Sickerwasser, im Vergleich zur Null-Probe (Kieskofter ohne Belag), erhöhte Zinkkonzentrationen ermittelt worden. Dies ist auf die hohe Adsorptionskapazität der ungebundenen Kiestragschicht zurückzuführen, d.h. Zink wurde im Kieskofter vollständig zurückgehalten. Bei einem gecoateten Recycling-Gummigranulat, das mit einer Kunststoffschicht, z. B. Polyurethan umhüllt war, zeigte der Eluattest, dass die Zinkkonzentration trotz des hohen Zinkoxidgehalts bereits nach 24 Stunden niedrig war.
- Gummigranulate – in ungebundener Form in Kunststoffrasen oder mit Polyurethan gebunden in elastischen Belägen – weisen beim Kontakt mit Wasser ein sehr komplexes, bislang im Zusammenhang mit Gewässerschutzfragen wissenschaftlich nicht umfänglich untersuchtes Verhalten auf. Die Untersuchungsergebnisse lassen den Schluss zu, dass im Kieskofter Adsorptions- und Abbauprozesse stattfinden.
- Aus wissenschaftlicher Sicht ist es derzeit nicht möglich, mit den heutigen Kenntnissen und Grundlagen, Prüfverfahren oder Prüfnormen zu entwickeln, die eine korrekte Unterscheidung der einzelnen Granulate oder Beläge bezüglich der Gewässerverträglichkeit erlauben.

- Das Langzeitverhalten der einzelnen Beläge und Granulate im Hinblick auf Gewässerschutzfragen ist bis heute wissenschaftlich nicht untersucht worden. Gummi unterliegt einem durch Umwelteinflüsse (Licht, Ozon, Sauerstoff, Wärme) verursachten Alterungsprozess. In welchem Masse dadurch aus den Gummigranulaten – seien es lose oder gebundene Granulate – im Verlauf der Zeit durch das Regenwasser wieder analytisch messbare Mengen organische Stoffe und Zink eluiert werden, lässt sich nur durch Langzeituntersuchungen über mehrere Jahre feststellen. Granulate in polyurethane gebundenen elastischen Belägen sind wahrscheinlich alterungsbeständiger, als lose Granulate in Kunststoffrasen.
- Aufgrund des gegenwärtigen Wissensstands und der mit dem Feldversuch und den zusätzlichen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse gibt es derzeit keine konkreten Anhaltspunkte dafür, dass Beläge, die nach dem Stand der Technik gebaut werden, die Wasserqualität von Oberflächengewässern oder Grundwasser wesentlich oder gar gravierend beeinträchtigen könnten. Sowohl die anfänglich aus den Belägen ausgewaschenen geringen Stoffmengen als auch die ökotoxikologischen Eigenschaften der einzelnen Stoffe bilden aufgrund der heutigen Kenntnisse kein erkennbares Gefahrenpotential für die Gewässer.
- Deshalb müssen die Prüfverfahren und Grenzwerte gemäss der Richtlinie 105 ersatzlos aufgehoben werden. An deren Stelle sind **einfache Entscheidungshilfen** und **Empfehlungen** für den Bau von Kunststoffbelägen und die Materialwahl im Hinblick auf die spätere Entsorgung der Beläge auszuarbeiten.

6. Ergänzende Bemerkungen

Die vorliegenden Ergebnisse und Beurteilungen des Sickerwassers beziehen sich auf die für den Bau der Kunststoffbeläge eingesetzten Materialien und den bestimmungsgemässen Betrieb dieser Plätze. Werden Kunststoffbeläge für alternative Zwecke gebraucht (z. B. Events), ist zu beachten, dass dabei ev. zusätzliche Gewässerbelastungen u.a. durch auslaufende Flüssigkeiten entstehen können. In diesen Fällen sind entsprechende Massnahmen zur Verhinderung von Gewässerverunreinigungen zu treffen.

Anhang 1

Lysimeteranlage Bern-Liebefeld



Anhang 2

Sickerwassermengen

Belag Nr.	Messperiode	Sickerwassermenge l/m ²
1 (Pilotversuch)	28.12.05–03.03.06	48
	04.03.06–15.05.06	448
	16.05.06–14.08.06	312
	15.08.06–10.10.06	234
	11.10.06–19.02.07	297
	20.02.07–16.05.07	273
2	16.05.06–14.08.06	268
	15.08.06–10.10.06	252
	11.10.06–19.02.07	320
	20.02.07–16.05.07	284
3	16.05.06–14.08.06	282
	15.08.06–10.10.06	216
	11.10.06–19.02.07	285
	20.02.07–16.05.07	256
4	16.05.06–14.08.06	249
	15.08.06–10.10.06	235
	11.10.06–19.02.07	310
	20.02.07–16.05.07	277
5	16.05.06–14.08.06	297
	15.08.06–10.10.06	224
	11.10.06–19.02.07	258
	20.02.07–16.05.07	256
6	16.05.06–14.08.06	328
	15.08.06–10.10.06	246
	11.10.06–19.02.07	313
	20.02.07–16.05.07	284
7	16.05.06–14.08.06	253
	15.08.06–10.10.06	193
	11.10.06–19.02.07	241
	20.02.07–16.05.07	242
8	16.05.06–14.08.06	226
	15.08.06–10.10.06	157
	11.10.06–19.02.07	210
	20.02.07–16.05.07	219
9	16.05.06–14.08.06	302
	15.08.06–10.10.06	238
	11.10.06–19.02.07	305
	20.02.07–16.05.07	284
10	16.05.06–14.08.06	244
	15.08.06–10.10.06	177
	11.10.06–19.02.07	224
	20.02.07–16.05.07	242

Anhang 3

Abkürzungen

Gummi- und andere Bezeichnungen:

PUR	Polyurethan
LKW-Reifen	Lastwagen-Reifen
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Gummi

Chemische Bezeichnungen:

DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff
N-org.	gelöster organischer Stickstoff
PAK	Polycyclische aromatische Kohlen-Wasserstoffe
PBN	N-Phenyl-2-naphthylamin
IPPD	N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylendiamin
6PPD	N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylendiamin

Herausgeber: Bundesamt für Sport BASPO
Schriftenreihe Sportanlagen des Bundesamtes für Sport BASPO

113 Kunststoffbeläge
Verhalten unter natürlichen Witterungsverhältnissen

Mitglieder der Arbeitsgruppe:
Mathias Held, Bundesamt für Sport BASPO, Magglingen (Vorsitz)
Ralph Bergs, BASF Construction Chemicals Europe AG, Schaffhausen
Werner Jank, Qualifloor, Rothenburg
Jörg Kaufmann, Gezolan AG, Dagmersellen
Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Sportbodentechnik, Eschenz
Edwin Müller, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern (Projekt-
durchführung)
Günter Preisser, Lörrach (Fachexperte für Gummi)
Ernst Widmer, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, Bern
Heini Zollinger, WALO, Bertschinger AG

Layout: Monique Marzo, BASPO
Fotos: Mathias Held, BASPO; Edwin Müller, BAFU

Ausgabe: März 2008
Copyright: Bundesamt für Sport BASPO
Internet: www.fachstelle-sportanlagen.ch

Bezugsquelle: Bundesamt für Sport BASPO
Fachstelle Sportanlagen
2532 Magglingen
E-Mail: sportanlagen@baspo.admin.ch

Art. Nr. 113/12.2.2008