

Freisetzung von Durchwurzelungsschutzmitteln aus Dachabdichtungen

T 3352

T 3352

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0111-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. BBH 011/2017/281

Freisetzung von Durchwurzelungsschutzmitteln aus Dachabdichtungen

Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben
P 52-5- 20.88-1497/15 und P 52-5- 20.88.2-1999/16
Durchgeführt im Auftrag des
Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt
Kolonnenstraße 30B
10829 Berlin

Der Bericht umfasst
175 Seiten Text
42 Tabellen
53 Abbildungen

Sabine Hübner
Christian Scherer
Regina Schwerd
Christoph Schwitalla

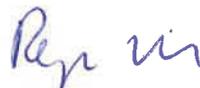
Valley, 4. Juli 2017

Abteilungsleiter

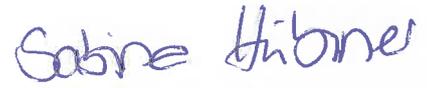


Dr.-Ing. Christian Scherer

Bearbeiter



Dr.-Ing. Regina Schwerd



M. Sc. Sabine Hübner

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
1.1	Freibewitterung	4
1.2	Laborverfahren	5
2	Einleitung	8
2.1	Ziel des Forschungsvorhabens	9
2.2	Inhalte des Forschungsvorhabens	10
3	Stand des Wissens	11
4	Vorgehensweise	16
4.1	Untersuchte Dachbahnen und Prüfparameter	16
4.2	Instrumentelle Analytik von Mecoprop	18
4.3	Mecoprop-Auswaschung von Bitumendachbahnen im Laborversuch	19
4.3.1	Intermittierendes Tauchen in Anlehnung an DIN EN 16105	20
4.3.2	Langzeittauchversuch in Anlehnung an DIN CEN/TS 16637-220	20
4.3.3	Varianten für die Laborversuche	21
4.4	Auswaschung von Mecoprop aus Bitumendachbahnen im 18-monatigen Freilandversuch	22
4.4.1	Probekörper für die Freibewitterung	23
4.4.2	Varianten für die Freibewitterung	27
4.5	Zusammenfassung der Rahmenbedingungen der Auslaugversuche	28
5	Ergebnisse	30
5.1	Intermittierendes Tauchen nach DIN EN 16105	30
5.2	Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2	35
5.3	Freibewitterung	40
5.3.1	Wetterverhältnisse während der Freibewitterung	41
5.3.2	Ablaufwasservolumina und Probenahmen	45
5.3.3	Temperaturen am Probekörper	47
5.3.4	Entwicklung der Vegetation	49
5.3.5	pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten der Ablaufwässer	51
5.3.6	Referenzdachbahnen ohne Wurzelschutz	54
5.3.7	Mecoprop-Polyethylenglykolester	55
5.3.8	Mecoprop-P-n-octylester	58
5.3.9	Mecoprop-P-2-ethylhexylester	61
5.4	Ergänzende Untersuchungen	67
5.4.1	Bestimmung der TOC-Konzentration in den Eluaten	67

5.4.2	Bestimmung von Mecoprop-Estern in den Eluaten	67
5.4.3	Das Abbauprodukt 4-Chlor-2-methylphenol (CMP)	68
5.4.4	pH-Wert-Änderung von Eluaten	69
6	Diskussion	71
6.1	Laborversuche	71
6.2	Berechnung von Freisetzungsmechanismen nach DIN CEN/TS 16637-2	74
6.3	Freibewitterung	78
6.3.1	Homogenität der Probekörper – Streuung der Messwerte der Doppelbestimmung	80
6.3.2	Stoffaustrag und jährliche Freisetzungsraten	84
6.3.3	Witterungseinfluss	87
6.3.4	Freisetzung weiterer organischer Stoffe	92
6.4	Korrelation von Ergebnissen aus Laborversuchen und Freibewitterung	92
7	Weiterer Forschungsbedarf	97
8	Literaturverzeichnis	99
A.1	Anhang: Laborversuche	104
A.1.1	DIN EN 16105	104
A.1.2	DIN CEN/TS 16637-2	109
A.2	Anhang: Freibewitterung	114
A.2.1	Gründachaufbau	114
A.2.2	Ablaufvolumina	116
A.2.3	pH-Werte	126
A.2.4	Elektrische Leitfähigkeit	136
A.2.5	TOC	146
A.2.6	Mecoprop-Konzentrationen	149
A.2.7	Streuung der Einzelwerte	159
A.2.8	Kumulierte Mecoprop-Austräge	166

1 Zusammenfassung

Polymerbitumendachbahnen, die zur Abdichtung von begrünten Dächern verwendet werden, müssen vor Beschädigung oder Durchdringung durch Wurzelwerk geschützt werden.

Dies geschieht z. B. durch den Einsatz von Produkten basierend auf der 2-(4-Chlor-2-methylphenoxy)-propionsäure (Mecoprop, MCPP). Dabei weist nur das (R)-(+)-Enantiomer der Verbindung radizide Wirkung auf (Mecoprop-P, MCPP-P). Mecoprop wird in Form unterschiedlicher Mecoprop-Ester in die Dachbahnen eingearbeitet. Durch Esterhydrolyse wird Mecoprop freigesetzt und kann von den Wurzeln aufgenommen oder auch mit dem ablaufenden Regenwasser ausgetragen werden.

Die Freisetzung von Mecoprop aus Polymerbitumendachbahnen wurde in einem Freiland- und zwei verschiedenen Laborversuchen quantitativ ermittelt. Verwendet wurden – neben einer wirkstofffreien, ansonsten jedoch identischen Referenzvariante - handelsüblich aufgebaute Polymerbitumendachbahnen mit jeweils zwei unterschiedlichen Konzentrationen der verschiedenen betrachteten Mecoprop-Ester:

- 0,5 Masse-% und 0,8 Masse-% Mecoprop-Polyethylenglykolester
- 0,25 Masse-% und 0,4 Masse-% Mecoprop-P-n-octylester
- 0,25 Masse-% und 0,4 Masse-% Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2.

1.1 Freibewitterung

Während eines 18-monatigen Freilandversuches wurden auf Probekörper-Träger aufgebrachte Dachbahnen (jeweils zwei Probekörper pro Variante) ohne und mit Gründachaufbau bewittert. Nach jedem Regenereignis wurde das von den Dachaufbauten ablaufende Wasser asserviert und analysiert.

Die Ergebnisse aus der **Freibewitterung** zeigen, dass bei allen untersuchten Bitumenbahnen die resultierenden Mecoprop-Konzentrationen in den Ablaufwässern direkt an der Unterkante des Bauteils die geltende Umweltqualitätsnorm für Oberflächengewässer von 0,1 µg/L [OGewV 2016] für Mecoprop (Racemat) bzw. die Geringfügigkeitsschwelle für Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP) von 0,1 µg/L [LAWA 2004] erheblich überschreiten. Die in den Ablaufwässern ermittelten Konzentrationen erlauben jedoch noch keine Aussage über die daraus resultierenden Konzentrationen von Mecoprop an einem „Ort der Beurteilung“, für den die jeweiligen Richtwerte anzuwenden sind.

Unter Miteinbeziehung von Daten aus der Literatur kann auf eine langjährige Freisetzung von Mecoprop in hohen, wahrscheinlich mit der Zeit abnehmenden, Konzentrationen aus Dachbahnen geschlossen werden. Die Untersuchungen von realen Ablaufwässern liefern dabei grundsätzlich Momentaufnahmen, da die messbaren Mecoprop-Konzentrationen durch Hydrolyse der Ester, Adsorptions- und Transformationsvorgänge immer in Veränderung begriffen sind.

In der Anfangsphase der Nutzung, also bei neuen Dachbahnen, wird aus Probekörpern mit Substrat mehr Mecoprop freigesetzt als bei Dachbahnen, die ohne weitere Auflage der Witterung ausgesetzt sind. Diese reagieren dafür stärker auf erhöhte Temperaturen, auch mit einer verstärkten Freisetzung weiterer organischer Verbindungen. Bei schwachen Regenereignissen können die flächenbezogenen Austräge der Probekörper mit Substrat trotz höherer Konzentrationen in den Eluaten ähnliche Größenordnungen aufweisen bzw. geringer sein als die der Probekörper ohne Substrat. Ursache hierfür sind die durch die Wasserretention bedingten geringeren Ablaufwasservolumina.

Als Ursache für die mitunter starken Abweichung der Einzelergebnisse eines zur Doppelbestimmung herangezogenen Probekörperpaares kommt eine Aufaddierung verschiedener Fehlerquellen in Betracht. Es ist anzunehmen, dass unterschiedliche Faktoren (Bitumendachbahn, der Aufbau der Probekörper mit dem jeweiligen Substrat, Mächtigkeit und Verdichtung der Substratschicht, Korngrößenverteilung des Substrats, Dichte des Bewuchses, Sorption an den Wänden der Sammelgefäße, etc.)) sich dabei gegenseitig verstärken oder dämpfend wirken können.

Die in den Ablaufwässern der Probekörper bestimmten Mecoprop-Konzentrationen sind abhängig

- vom eingesetzten Mecoprop-Ester,
- von der Einsatz-Konzentration,
- von der Ausführung mit oder ohne Substrat,
- von den Witterungsbedingungen (Ablaufvolumen und Temperaturen)
- und von der Dauer der Bewitterung.

Die Wechselwirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren sind dabei komplex und kaum quantifizierbar.

1.2 Laborverfahren

Als **Laborverfahren** kamen der Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 (Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung) und das intermittierende Tauchen nach DIN EN 16105 zum Einsatz. Beide Laborverfahren lassen sich mit Polymerbitumendachbahnen durchführen. Die kumulierten Austräge beim

Langzeittauchversuch (DIN CEN/TS 16637-2) lagen über denen des intermittierenden Tauchens (DIN EN 16105). Höhere Einsatzkonzentrationen an Ester in der Bitumenmatrix führten erwartungsgemäß auch zu höheren Mecoprop-Konzentrationen im Eluat.

Beim intermittierenden Tauchen nach **DIN EN 16105** wurden mit Fortschreiten des Versuchs abnehmende Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten ermittelt. Beim Vergleich der Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten der beiden unterschiedlichen Einsatzkonzentrationen an Mecoprop-Estern zeigten sich die größten Unterschiede zu Beginn des Versuchs. Die kumulierten Austräge lagen zwischen 12 mg/m² und 18 mg/m² bei niedriger Einsatzkonzentration der Ester bzw. 19 mg/m² und 29 mg/m² bei hoher Einsatzkonzentration.

Beim Langzeittauchversuch nach **DIN CEN/TS 16637-2** stiegen beim Mecoprop-Polyethylenglykolester die Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten mit der Zeit an. Die Unterschiede der Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten der Probekörper mit unterschiedlichen Einsatzkonzentrationen waren gegen Ende des Langzeittauchversuchs am größten. Die Eluate der Dachbahnen mit den anderen beiden Estern wiesen dagegen im Zeitverlauf abnehmende Konzentrationen auf. Die Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten bildeten zu Beginn der Auslaugprüfung die Konzentrationsverhältnisse in den Dachbahnen ab, näherten sich aber im Verlauf der Untersuchung immer stärker an. Bezüglich der Bestimmung von Freisetzungsmechanismen aus den erhaltenen Konzentrationen und Austrägen nach Anhang B der Prüfvorschrift besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

Sowohl in den Eluaten aus den Auslaugprüfungen als auch in den Ablaufwässern aus der Freiland-Untersuchung der wirkstofffrei angelegten **Referenzvariante** wurde Mecoprop in bestimmbar Konzentrationen ermittelt. Ursache hierfür ist möglicherweise eine Verschleppung während des Produktionsprozesses.

Aufgrund der oben bereits erwähnten mitunter starken Abweichungen der Einzelergebnisse eines zur Doppelbestimmung herangezogenen Probekörperpaares ist eine Interpretation der unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich der beiden Produkte mit Mecoprop-P-2-Ethylhexylester nicht mit ausreichender Sicherheit möglich. Den Ergebnissen zufolge ist der kumulierte Mecoprop-Austrag im Freiland bei Produkt 2 größer als bei Produkt 1, während es sich bei beiden Laborversuchen genau umgekehrt verhält. Eine größere Sicherheit würde hier eine Wiederholung der Laborversuche bieten.

Genormte Laboruntersuchungen bilden nicht das Verhalten von Bauprodukten in der Realität ab. Betrachtet wird hier ausschließlich das Bauprodukt selbst bei konstanten Bedingungen (z. B. Temperatur, rel. Feuchte, UV-Strahlung, Einwirkung von Substrat, etc.). Das Ziel standardisierter Verfahren ist es, Einflüsse durch Witterungsbedingungen oder das Einbauszenario, die wiederum in unterschiedlichen pH-Werten, Temperaturen, etc. resultieren und dann in der Realität zu Unterschieden in der Freisetzung führen, auszuschließen. Freilandversuche dagegen beziehen all diese Störgrößen, die auf ein Produkt bei bestimmungs-

gemäßem Einsatz einwirken können, mit ein und geben dadurch Hinweise auf die Größenordnung der in der Realität auftretenden Austräge.

Zur **Bewertung** der Umwelteigenschaften eines Bauprodukts muss wegen der sicherzustellenden Reproduzierbarkeit ein Laborverfahren herangezogen werden. Allerdings muss das Ergebnis des Laborverfahrens dann noch in einem mathematischen Modell verarbeitet werden, das das Einbauszenario und Transportprozesse inklusive Transformationsmechanismen auf dem Pfad in das interessierende Umweltkompartiment berücksichtigt. Es ist daher durchaus möglich, dass verschiedene Bauprodukte unter den Bedingungen eines Laborverfahrens ähnliche Ergebnisse liefern, im Freiland jedoch unterschiedliches Verhalten zeigen. Bei beiden Laborversuchen werden zudem relativ kleinformatige Probekörper verwendet. Auch etwaige Inhomogenitäten bei der Esterverteilung in den Bitumendachbahnen wirken sich daher bei den Laborversuchen stärker auf die Ergebnisse aus als bei größerformatigen Probekörpern im Freiland oder bei realen Dachaufbauten.

Um dennoch einen ersten Eindruck über die Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf reale Verhältnisse zu erhalten, lassen sich die jeweils freigesetzten Mecopropmengen miteinander vergleichen. Es zeigte sich, dass die ausgetragenen Mecopropmengen im Freiland nach einem Jahr Bewitterung (Probekörper ohne Substrat) und in den Laborversuchen ähnliche Größenordnung aufweisen. So wurde zwar weniger als 1 % des eingesetzten und somit grundsätzlich zur Verfügung stehenden Mecoprops aus den Dachbahnen freigesetzt, woraus sich schließen lässt, dass die verbleibende Menge noch über längere Zeiträume zwar die Widerstandsfähigkeit der Dachbahnen gegenüber Durchwurzelung gewährleistet, aber auch weiterhin freigesetzt werden kann. In diesem Zusammenhang besteht Optimierungsbedarf.

2 Einleitung

Gründächer gelten gemeinhin als eine umweltschonende Dachvariante. Zu den häufig genannten Vorzügen zählen das Wasserrückhalte- und Speichervermögen, das gerade bei kurzen und heftigen Regenfällen die Kanalsysteme entlastet, sowie das Abfangen von Temperaturspitzen im Sommer. Gründächer können mit Extensiv- oder Intensivbegrünung ausgeführt werden, abhängig von der Tragfähigkeit der Dachkonstruktion und der beabsichtigten Nutzung der Dachfläche. Allen Gründächern gemein ist die Notwendigkeit einer zuverlässigen und haltbaren Dachabdichtung. Diese kann mit Polymerbitumenbahnen oder auch mit Kunststoff- und Elastomerbahnen ausgeführt werden.

Polymerbitumendachbahnen werden sehr häufig als Dachabdichtung, oft auch in Kombination mit einer Dachbegrünung eingesetzt. Die Funktionsfähigkeit der Dachabdichtung muss über einen langen Zeitraum sichergestellt werden. Der Schutz der Dachbahn vor UV-Bestrahlung erfolgt dabei durch Beschiefung der Oberfläche oder durch die Begrünung selbst. Vor allem die Beschädigung der Dachabdichtung durch Wurzelwuchs kann die Lebensdauer eines Gründachs verkürzen. Die Beschädigung der Dachbahn durch das Wurzelwachstum und das Ausbreiten der Wurzeln im Bitumen wird durch den Einsatz von Produkten basierend auf der 2-(4-Chlor-2-methylphenoxy)-propionsäure (Mecoprop, MCPP) verhindert. Dabei weist nur das (R)-(+)-Enantiomer der Verbindung radizide Wirkung auf (Mecoprop-P, MCPP-P). Zum Einsatz kommt jedoch nicht der Wirkstoff selbst. Vielmehr wird Mecoprop in Form verschiedener Ester in die Dachbahn eingearbeitet. Durch Hydrolyse werden die Ester gespalten und die Säure wird freigesetzt. Für den Mecoprop-P-n-Octylester und den Mecoprop-P-2-Ethylhexylester nennt die ECHA dabei Halbwertszeiten von 4,34 Stunden (Daten für den Mecoprop-Polyethylenglykolester liegen nicht vor) [ECHA 2016, ECHA 2017].

Die freie Säure ist mit Löslichkeiten von 620 mg/L (Mecoprop Racemat) bzw. 900 mg/L (Mecoprop P) in Wasser wesentlich besser löslich als die sehr schlecht löslichen Ester (Mecoprop-Polyethylenglykolester 110 mg/L, Mecoprop-P-n-Octylester < 0,1 mg/L und Mecoprop-P-2-Ethylhexylester < 0,17 mg/L) [ECHA 2016, Gestis 2016, SDB 2012]. Eine gewisse Wasserlöslichkeit ist für Wurzelhemmer zwingend notwendig, damit sie von den Wurzelspitzen aufgenommen werden können. Andererseits können sie auf diese Weise auch mit ablaufendem Regenwasser ausgetragen werden.

Im Fall von Niederschlägen kann es zu einem Austrag sowohl der Ester als auch der freien Säure mit dem ablaufenden Regenwasser kommen. Inwieweit der Austrag der Säure zu einer möglichen Beeinträchtigung der Umweltkompartimente Boden und Grundwasser führen kann, ist bislang noch nicht abschließend geklärt. Bei Untersuchungen an Dachabläufen konnte Mecoprop im Wasser nachgewiesen werden (s. Kapitel 3).

Die Bestimmung des Widerstandes gegen ein eventuelles Eindringen von Wurzeln erfolgt dabei nach DIN EN 13948 bzw. dem Verfahren nach [FLL 2008]. Die

beiden jeweils zwei Jahre unter geregelten klimatischen Bedingungen dauernden Prüfverfahren unterscheiden sich dabei in der Anzahl der untersuchten Proben und v. a. in der Art der Prüfpflanzen. Während im Test nach [FLL 2008] sowohl Quecke und Feuerdorn zum Einsatz kommen, wird das Verfahren nach DIN EN 13948 ausschließlich mit Feuerdorn durchgeführt. Eine Dachbahn gilt dabei als wurzelfest, wenn in allen Prüfgefäßen nach Ablauf der Versuchsdauer keine Wurzeldurchdringung festzustellen ist.

In Anhang I der europäischen Bauproduktenverordnung (Verordnung (EU) Nr. 305/2011 vom 9.3.2011, in Kraft seit 1.7.2013) sind sieben Anforderungen genannt, die an Bauprodukte und daraus errichtete Bauwerke gestellt werden [EU 2011]. Die Anforderung Nr. 3 betrifft die Bereiche Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Im Rahmen der CE-Kennzeichnung entsprechend mandatiertes und harmonisierter Produktnormen ist damit auch eine Leistungserklärung hinsichtlich der Umwelteigenschaften abzugeben. Für die Untersuchung der Umwelteigenschaften von Bauprodukten in Kontakt mit Wasser erarbeiten CEN TC351 WG1 und WG5 die anzuwendenden harmonisierten Prüfverfahren. Für „plattenartig“ („sheet-like“) verbaute Bauprodukte wie Dachbahnen ist im Wesentlichen der Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 [CEN/TS 16637-2] vorgesehen. Trocknungsphasen, wie sie zum Beispiel zwischen Regeneignissen auftreten und die das Austragsverhalten von Inhaltsstoffen der Bauprodukte beeinflussen können, werden durch dieses Verfahren jedoch nicht abgebildet. Diesbezüglich scheint das intermittierende Tauchen nach der nicht mandatierten Norm DIN EN 16105 [DIN EN 16105] u. U. das geeignetere Prüfverfahren zu sein.

2.1 Ziel des Forschungsvorhabens

Die Ergebnisse des praxisorientierten, systematisch angelegten Forschungsvorhabens können als Eingangsdaten für eine spätere Risikoabschätzung der Ablaufwasserbelastung mit Mecoprop und dessen Estern von begrünten Dachflächen, die mit einer radizid ausgerüsteten bituminösen Abdichtung versehen sind, dienen. Sie sollen Hinweise liefern, inwieweit das Ablaufwasser der Dachbegrünungen bei direkter Versickerung eine Gefährdung für die Umweltkompartimente Boden und Grundwasser darstellen kann.

Dabei ist insbesondere von Interesse, ob mit den in Bitumenbahnen enthaltenen Mecoprop-Estern

- die geltende Umweltqualitätsnorm für Oberflächengewässer von 0,1 µg/L [OGewV 2016] für Mecoprop (Racemat),
- die Geringfügigkeitsschwelle für Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP) von 0,1 µg/L [LAWA 2004],
- bzw. der Grenzwert für biozide Einzelstoffe bzw. Pflanzenschutzmittelwirkstoffe von 0,1 µg/L nach [TrinkwV 2001]

im Ablaufwasser eingehalten werden kann. Der Vergleich der freigesetzten Stoffkonzentrationen in Labor- und Freilandversuch soll Hinweise auf die Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf reale Verhältnisse liefern. Die Ergebnisse können in die Erarbeitung von Regularien für bitumenhaltige Dachbahnen am Deutschen Institut für Bautechnik einfließen.

2.2 Inhalte des Forschungsvorhabens

Die Auswaschung von Mecoprop aus mit verschiedenen Mecoprop-Estern geschützten Polymerbitumendachbahnen wurde in einem Freiland- und zwei verschiedenen Laborversuchen quantitativ ermittelt. Verwendet wurden handelsüblich aufgebaute Dachbahnen mit unterschiedlichen Konzentrationen der verschiedenen betrachteten Mecoprop-Ester.

Als Laborverfahren kamen der Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 (Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung) und das intermittierende Tauchen nach DIN EN 16105 zum Einsatz. Beide Laborverfahren dienten zur Gewinnung von wässrigen Eluaten aus den mit verschiedenen Estern ausgerüsteten Dachbahnen. Die Eluate wurden hinsichtlich ihres Gehalts an Mecoprop analysiert. Die gewonnenen Daten wurden anschließend einander gegenübergestellt. Sie geben Aufschluss über die in Laborversuchen zu erwartenden Mecoprop-Austräge, die später in möglichen Bewertungsverfahren zu berücksichtigen sind

In einem 18-monatigen Freilandversuch wurden die in den Laborversuchen geprüften Dachbahnen in Form von realitätsnahen Probekörpern ohne und mit Gründachaufbau der Witterung ausgesetzt. Möglichst zeitnah nach jedem Regenereignis wurde das von den Dachaufbauten ablaufende Wasser asserviert und analysiert. An den hier gewonnenen Ergebnissen können die noch zu erarbeitenden Bewertungsmodelle validiert werden.

3 Stand des Wissens

Seit den 1990er Jahren wird über das Auftreten von Mecoprop in Oberflächengewässern berichtet. Als Quelle für die gefundenen Konzentrationen wird überwiegend die landwirtschaftliche Nutzung Mecoprop-haltiger Produkte angegeben [Ivashechkin 2005, Triebkorn 2008]. Zunehmendes Monitoring, nicht nur von Oberflächengewässern, sondern auch von Kläranlagenzu- und abläufen, zeigte seitdem, dass Mecoprop unabhängig von der Eintrags-Quelle durch die Abwasserbehandlung in Kläranlagen nicht in nennenswertem Ausmaß aus dem Abwasser entfernt werden kann [Abegglen 2012, Köck-Schulmeyer 2013, Fairbairn 2016a, Fairbairn 2016b]. Durch den Transport über Flüsse ist der Nachweis von Mecoprop in niedrigen Konzentrationen z. B. auch in den Ästuar- und Küstengewässern der Ostsee möglich [Skeff 2016]. Die komplexen Prozesse, die in Böden die Adsorption und den (teilweise enantioselektiven) Abbau von Mecoprop beeinflussen, sind z. B. in [Paszko 2016] und [Frkova 2016] beschrieben.

Bucheli et al. [Bucheli 1998a] identifizierten in der Schweiz neben der Landwirtschaft auch bereits Bauprodukte, im konkreten Fall Dachbahnen mit Preventol B2, als Quelle für Mecoprop bei der Entwässerung urbaner Flächen. Auch [Wittmer 2010] und [Singer 2010] stellen die Bedeutung der Freisetzung von Mecoprop aus Bauprodukten für den Eintrag in Gewässer fest. Die in urbanen Bereichen gefundenen Mecoprop-Konzentrationen von teilweise deutlich über 0,1 µg/L überstiegen dabei während Regenereignissen die Mecoprop-Konzentrationen, die in ländlichen Vergleichsgebieten [Wittmer 2010] gefunden werden. In Kläranlagen-Abläufen wurden dabei sogar höhere Konzentrationen gemessen als in den Einläufen, möglicherweise wegen nachträglicher Hydrolyse in der Kläranlage von aus Dachbahnen freigesetzten Mecoprop-Estern [Singer 2010].

Dänische Studien berichten von konstanten Mecoprop-Konzentrationen in der Regenentwässerung von Wohngebieten während eines Regenereignisses [Bollmann 2014a, Bollmann 2014b]. In Deutschland (Stuttgart) fand [Launay 2016] keine jahreszeitlichen Schwankungen der Mecoprop-Konzentrationen im Kläranlagen-Einlauf, aber dafür hohe Konzentrationen in der Mischwasserentlastung bei Starkregenereignissen.

Aktuellen Studien zufolge tritt in Berlin Mecoprop als relevanter Spurenstoff im Regenwasser selbst in Einzugsgebieten mit geringem Dachanteil auf [Riechel 2015, Wicke 2016]. Die von [Wicke 2016] gefundene Maximalkonzentration betrug 6,9 µg/L, die mittlere Konzentration lag bei 0,51 µg/L. Auch hier wurden konstante Konzentrationen während eines Regenereignisses festgestellt und Bitumendachbahnen aufgrund der Probenahmesituation als Quelle identifiziert.

[Jekel 2013] empfiehlt in diesem Zusammenhang „Mecoprop als Indikator für Einträge aus Siedlungsflächen in Abwässer zu verwenden“, da Mecoprop in „ausreichend hohen Konzentrationen“ auftritt, in der „biologischen Abwasserreinigung nicht entfernt wird und in der Bodenpassage persistent ist“.

Neben Aspekten der Siedlungswasserwirtschaft legten im gleichen Zeitraum verschiedene Studien ihren Fokus direkt auf die Freisetzung von Mecoprop aus Dachbahnen.

Bucheli et al. führten Auslaugversuche an Dachbahnen im Labor, künstliche Beregnung von Probedächern und eine Beprobung von realen Dächern, die mit Preventol B2 ausgerüstet waren, durch [Bucheli 1998b]. Dabei wurden Dachbahnen als Quelle von Mecoprop in Oberflächengewässern bestätigt. Bei der künstlichen Beregnung intensiv begrünter Probedächer wurde eine erhöhte Freisetzung von Mecoprop festgestellt, die u. a. durch die längere Verfügbarkeit von Wasser für Löseprozesse begründet wurde. Als weitere Einflussfaktoren für die Freisetzung von Mecoprop wurden die Art der Membran, die mikrobiologischen Prozesse auf der Dachbahnoberfläche und die Durchwurzelung der Membran identifiziert. In den Ablaufwässern der realen Dächer wurden Mecoprop-Konzentrationen zwischen 1,5 und 500 µg/L (im Mittel ca. 4 µg/L) festgestellt. Der jahreszeitliche Temperaturverlauf wirkte sich dabei auch auf die gemessenen Konzentrationen aus - hohe Temperaturen führten zu hohen Konzentrationen in den Ablaufwässern). Hochrechnungen auf dieser Datenbasis ergaben jährliche Freisetzungsraten von Mecoprop in Höhe von 2,4 mg/m² bzw. von ca. 0,1 ‰ des in der Dachbahn eingesetzten Preventol B2 [Bucheli 1998b].

Auch Burkhardt et al. beschreiben umfangreiche Untersuchungen in Labor und Freiland zur Freisetzung von Mecoprop aus Bitumendachbahnen [Burkhardt 2009]. Folgende Freisetzungs-Mechanismen werden postuliert:

- Der Ester wird in der Bitumenbahn hydrolysiert und Mecoprop wird ausgewaschen.
- Der Ester wird ausgewaschen; im Wasser kommt es zur hydrolytischen Freisetzung von Mecoprop.
- Mecoprop wird direkt aus der Bitumenbahn ausgewaschen.

Die in der Studie von Burkhardt et al. untersuchten Produkte zum Schutz vor Durchwurzelung enthielten lt. Herstellerangaben 99,9 % Mecoprop-Ester und < 0,1 % freies Mecoprop [Burkhardt 2009].

Auslaugversuche im Labor [Burkhardt 2009], mit Probekörpern und künstlich beregneten Modelldächern, teilweise mit zwischengeschalteten Alterungszyklen, zeigten über die Zeit abnehmende Mecoprop-Konzentrationen in den Eluat. Aus zwei 7 Jahre alten, extensiv begrüntem Dächern mit Preventol B2 (Einsatzkonzentration 1 %) und Herbitect (Einsatzkonzentration 0,5 %) wurden Proben entnommen und im Laborversuch beregnet und resultierend Mecoprop-Konzentrationen von ca. 0,1 µg/L ermittelt. Die Beprobung des Regenwasserabflusses eines Neubaugebiets ergab mittlere Mecoprop-Konzentrationen von 0,3 bis 3,7 µg/L bzw. maximale Mecoprop-Konzentrationen von 1,8 bis 13,8 µg/L in Abhängigkeit von der Probenahmestelle.

Insgesamt konnte festgestellt werden [Burkhardt 2009], dass:

- die Art des Mecoprop-Esters die Freisetzung von Mecoprop beeinflusst,
- die Mecoprop-Freisetzung abhängig von der Einsatzkonzentration ist,
- ein höherer Bitumenanteil die Mecoprop-Freisetzung reduziert,
- ein höherer Fülleranteil die Mecoprop-Freisetzung erhöht.

Die Wahl der Rezeptur bei der Dachbahnherstellung beeinflusst die Freisetzung von Mecoprop. Unterschiedliche Oberflächenausstattung mit Schiefer oder Talkum-Sand zeigten hingegen keinen Einfluss auf die Mecoprop-Freisetzung [Burkhardt 2009].

Vialle et al. führten in Frankreich Analysen von Dachablaufwässern hinsichtlich einer potentiellen Belastung mit bioziden Wirkstoffen aus unterschiedlichen Quellen durch. U. a. wurden über ein Kalenderjahr hinweg die Ablaufwässer eines mit einer Bitumendachbahn versehenen Flachdaches analysiert. Die Ablaufwässer wurden dabei (ohne weitere Kühlung) in einem 30 m³ fassenden HDPE-Tank gesammelt und monatlich beprobt. In allen Proben wurde Mecoprop nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationen von bis zu 4,8 µg/L traten bei hohen Umgebungstemperaturen in den Monaten Juli, August und September auf [Vialle 2013].

Riechel et al. analysierten die Ablaufwässer von einem 18 Jahre alten Dach mit extensiver Begrünung [Riechel 2015]. Die eingebauten Bitumendachbahnen waren mit Preventol B2 ausgerüstet. In den Ablaufwässern lagen mittlere Mecoprop-Konzentrationen von 1,3 µg/L vor. Maximal wurden 6,6 µg/L und damit Austräge von bis zu ca. 60 µg/m² gefunden. Jährliche Freisetzungsraten wurden auf dieser Basis auf 0,24 mg/m² berechnet und liegen damit für die 18 Jahre alte Dachbahn um Faktor 10 unter dem von [Bucheli 1998b] ermittelten Wert.

Die Ablaufwässer von neuen, unbegrüntem Bitumendachbahnen mit Preventol B5 wiesen in der Freibewitterung mittlere Mecoprop-Konzentrationen von ca. 130 µg/L auf (Mittelwerte aus 89 Einzelproben). Die Maximal-Konzentrationen der Ablaufwässer der beiden beprobten Dächer betragen 644 µg/L bzw. 1270 µg/L [Riechel 2015].

Die Ergebnisse der in den verschiedenen Studien durchgeführten Laborversuche lassen sich aufgrund der jeweils unterschiedlich gewählten Rahmenbedingungen kaum vergleichen. Es wird jedoch klar erkennbar, dass Mecoprop aus Dachbahnen freigesetzt wird und dass die jeweils freigesetzten Mecoprop-Mengen unterschiedlichen Einflüssen wie z. B. der Art der Mecoprop-Ester und dem Alter der Proben unterliegen. Die Rahmenbedingungen und Ergebnisse der oben beschriebenen an Dachbahnen unter realen Witterungsbedingungen durchgeführten Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die in den Ablaufwässern gefundenen Mecoprop-Konzentrationen liegen dabei überwie-

gend deutlich über der derzeit gültigen Umweltqualitätsnorm für Oberflächen-
gewässer von 0,1 µg/L [OGewV 2016].

Tabelle 1:
Freilanduntersuchungen unter realen Witterungsbedingungen zur Freisetzung
von Mecoprop aus Dachabdichtungen

Quelle	Rahmenbedingungen der Untersuchungen	Gefundene Mecoprop- Konzentrationen
[Bucheli 1998b]	<ul style="list-style-type: none"> - Flachdächer unbekanntes Alters mit Bitumendachbahn - Preventol B2 (Fa. Lanxess, Mecoprop-Polyethylenglykolester) 	<p>Mittlere Konzentrationen \approx 4 µg/L</p> <p>Konzentrationen zwischen 1,5 und 500 µg/L gemessen</p>
[Burkhardt 2009]	<ul style="list-style-type: none"> - Sieben Jahre alte Gründachsysteme - 1 % Preventol B2 (Fa. Lanxess, Mecoprop-Polyethylenglykolester) - 0,5 % Herbitect (Fa. Büsscher & Hoffmann, Mecoprop-P-n-2-ethylhexylester) 	<p>Jeweils eine Probe mit Mecoprop-Konzentration = 0,1 µg/L</p>
[Burkhardt 2009]	<ul style="list-style-type: none"> - Fassadenabfluss eines Neubaugebiets aus dem Jahr 2007 - Quelle vermutlich wurzelfeste Abdichtungsbahnen im Fundamentbereich 	<p>Mittlere Konzentration = 3,7 µg/L</p> <p>Maximalkonzentration = 11,4 µg/L</p>
[Vialle 2013]	<ul style="list-style-type: none"> - Flachdach unbekanntes Alters mit nicht näher spezifizierter Bitumendachbahn. - Asservierung der Ablaufwässer in einem 30 m³ HDPE-Tank - monatliche Beprobung 	<p>Maximalkonzentration = 4,8 µg/L (in Mischproben)</p>
[Riechel 2015]	<ul style="list-style-type: none"> - 18 Jahre altes Gründach - Preventol B2 (Fa. Lanxess, Mecoprop-Polyethylenglykolester) 	<p>mittlere Konzentration = 1,3 µg/L</p> <p>Maximalkonzentration = 6,6 µg/L</p>

Quelle	Rahmenbedingungen der Untersuchungen	Gefundene Mecoprop-Konzentrationen
[Riechel 2015]	<ul style="list-style-type: none"> - neue unbegrünte Dachbahnen - Preventol B5 (Fa. Lanxess, Mecoprop-P-n-octylester) 	<p>mittlere Konzentrationen $\approx 130 \mu\text{g/L}$</p> <p>Maximalkonzentration = $644 \mu\text{g/L}$ bzw. $1270 \mu\text{g/L}$</p>

Bei der Einschätzung der Stofffreisetzung in Freilandversuchen sind zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen möglich:

- Betrachtung von kumulierten flächenbezogenen Austrägen, d. h. gemessene Konzentrationen werden in diesem Fall mit den jeweiligen Kontaktwasservolumina verrechnet, die Stofffreisetzung auf die Fläche mit Wasserkontakt bezogen und kumuliert. Die in einem bestimmten Beobachtungszeitraum freigesetzte Menge mit ggf. einer Akkumulation eines Stoffes ist entscheidend für eine Wirkung auf die Umwelt (vereinfacht: „chronische“ Wirkung bzw. Toxizität).
- Betrachtung von Konzentrationen im Einzelfall. Hier wäre ein direkter Vergleich mit diversen Grenzwerten möglich (vereinfacht: „akute“ Wirkung bzw. Toxizität). Allerdings besteht die Gefahr, dass Grenzwerte angewendet werden, die auf einen anderen Geltungsbereich (z. B. Grundwasser, Trinkwasser, etc.) bzw. einen anderen „Ort der Beurteilung“ abzielen.

Als Kompromiss ist im letzteren Fall die Betrachtung von mittleren Konzentrationen über einen bestimmten Beobachtungszeitraum hinweg vorstellbar, wie sie auch für Laborversuche in bestehenden Verfahren zur Bewertung der Stofffreisetzung angewendet wird [DIBt 2011]. Diesbezüglich gilt auch die Umweltqualitätsnorm (als Jahresdurchschnittswert JD-UQN) für Mecoprop als eingehalten, „wenn das arithmetische Mittel der zu unterschiedlichen Zeiten im Zeitraum von einem Jahr an jeder repräsentativen Überwachungsstelle in dem Oberflächenwasserkörper gemessenen Konzentrationen kleiner oder gleich der Umweltqualitätsnorm ist“ [OGewV 2016].

Bei der Fokussierung auf Einzelstoffe bleibt in diesem Zusammenhang vorerst jedoch noch die Betrachtung der ökotoxikologischen Wirkung von Stoffgemischen (inklusive möglicher Transformationsprodukte) unberücksichtigt. Aufbauend auf den „Grundsätzen zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ des Deutschen Instituts für Bautechnik [DIBt 2011] empfehlen daher auch Gartiser et al. eine Kombination von Elutionstests und einer Biotestbatterie mit unterschiedlichen Testorganismen zur Abschätzung einer möglicherweise von einem Bauprodukt ausgehenden akuten Toxizität [Gartiser 2016].

4 Vorgehensweise

4.1 Untersuchte Dachbahnen und Prüfparameter

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP am Standort Valley durchgeführten Untersuchungen erfolgten an Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen (DO/E1 PYE PV 200 S5 nach DIN V 20000-201 und DIN V 20000-202) mit 59 % Bitumenanteil. Sie sind 5,2 mm stark, besitzen eine folierte Unterseite, 250 g/m² Polyestervlies als Trägereinlage und eine mit Naturschiefer versehene Oberfläche.

In derart definierte Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen wurden bei der Herstellung im Werk verschiedene Wurzelschutzprodukte in unterschiedlichen Konzentrationen eingearbeitet. Die Wurzelschutzprodukte enthielten verschiedene Mecoprop-Ester (Tabelle 2). Informationen über die Estergehalte der Produkte liegen nicht vor. Der Mecoprop-P-2-ethylhexylester kam dabei in Form von zwei unterschiedlichen Wurzelschutzprodukten zum Einsatz (Produkt 1 und Produkt 2). Die Matrix, in die die Mecoprop-Ester eingebunden sind, ist bei allen untersuchten Dachabdichtungsbahnen identisch. Als Referenz fungiert eine Dachabdichtungsbahn ohne radiziden Zusatz.

Tabelle 2:
In den Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen (DO/E1 PYE PV 200 S5) eingesetzte Mecoprop-Ester.

Ester	Kenndaten der Substanzen	Konzentration der Wurzelschutzprodukt bzgl. Bitumen
Mecoprop-Polyethylenglykolester (Polyethylenglykol-bis-[2-(4-chlor-2-methylphenoxy)-propionsäureester]) CAS 144768-02-5	Wasserlöslichkeit 110 mg/L Stabilität in Wasser DT50: Keine Angabe log K_{ow} : 7,07 [SDB 2012]	0,5 %
		0,8 %
Mecoprop-P-n-octylester ((R)-2-(4-Chlor-2-methylphenoxy)-propionsäure-n-octylester) CAS 66423-13-0 (R-(+)-Enantiomer)	Wasserlöslichkeit < 0,1 mg/L Stabilität in Wasser DT50: 4,34 h (pH 7,3, 20° C) log K_{ow} : 6,66 [ECHA 2016]	0,25 %
		0,4 %
Mecoprop-P-2-ethylhexylester als Produkt 1 und Produkt 2 ((R)-2-(4-Chlor-2-methylphenoxy)-propionsäure-2-ethylhexylester) CAS 861229-15-4 (R-(+)-Enantiomer)	Wasserlöslichkeit < 0,1 mg/L Stabilität in Wasser DT50: 4,34 h (pH 7,3, 20° C) log K_{ow} : 3,77 [ECHA 2016]	0,25 %
		0,4 %

Alle Dachbahnen für das Forschungsvorhaben wurden innerhalb eines Tages in folgender Reihenfolge hergestellt:

- Variante ohne Durchwurzelungsschutz
- Variante mit Mecoprop-Polyethylenglykolester, Konzentration 0,5 %
- Variante mit Mecoprop-Polyethylenglykolester, Konzentration 0,8 %
- Variante mit Mecoprop-P-n-octylester, Konzentration 0,25 %
- Variante mit Mecoprop-P-n-octylester, Konzentration 0,4 %
- Variante mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1, Konzentration 0,25 %
- Variante mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1, Konzentration 0,4 %

- Variante mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2, Konzentration 0,25 %
- Variante mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2, Konzentration 0,4 %

In den Eluaten, gewonnen bei den Laborversuchen und im Freiland, wurden die Summenparameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und exemplarisch der TOC bestimmt. Das Hauptaugenmerk lag auf der Analytik von Mecoprop. Sofern möglich, sollte zudem ein Analyseverfahren für die eingesetzten Mecoprop-Ester erarbeitet werden.

Die Aufarbeitung der Proben für die anschließende instrumentelle Analytik (Bestimmung von Mecoprop) erfolgte unmittelbar nach der Probenahme. Folgende Schritte wurden durchgeführt:

- Vorlage von 40 µL Acticide NBS, Zugabe von 10 mL des Eluats.
- Filtration eines Aliquots von ca. 1,5 mL durch Cellulose-Acetat-Filter mit Porengröße 0,2 µm (Fa. Sartorius)
- Ggf. Verdünnung mit Reinstwasser (elektrische Leitfähigkeit 0,055 µS/cm, TOC = 2 ppb, Porengröße des Sterilfilters 0,2 µm) um bis zu Faktor 1000
- Überführung in Glasvials

Die instrumentelle Analytik wurde i. d. R. direkt im Anschluss an die Probenvorbereitung durchgeführt, spätestens jedoch nach einer Woche, während der die vorbereiteten Proben im Kühlschrank zwischen +4 °C und +7 °C gelagert wurden.

4.2 Instrumentelle Analytik von Mecoprop

Die Bestimmung von Mecoprop erfolgte mittels Ultrahochleistungsflüssigchromatografie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) im MRM-Modus (multiple reaction monitoring) (s. auch [DIN 38407-35]). Die Gerätekombination bestand aus einer UPLC-Anlage ACQUITY UPLC I-Class und einem Tandem-Massenspektrometer Xevo TQ-S (Waters GmbH, Eschborn). Zur Trennung der Einzelsubstanzen einer Probe kam eine Reversed Phase Trennsäule (ACQUITY UPLC BEH, C₁₈ endcapped, l = 100 mm, Ø = 2,1 mm, Partikeldurchmesser = 1,7 µm, Waters GmbH, Eschborn) bei einer Temperatur von 40 °C zum Einsatz. Als Eluenten wurden Reinstwasser und Methanol, versetzt mit jeweils 0,01 Vol-% Ameisensäure, verwendet. Das Injektionsvolumen betrug 1 µL. Die Identifikation von Mecoprop (Racemat, CAS 7085-19-0) fand anhand von zwei Massenübergängen statt (ESI-Modus, m/z (Precursor-Ion) = 213, m/z (Produkt-Ion 1) = 141, m/z (Produkt-Ion 2) = 71, siehe z. B. [Frkova 2016]). Die Quantifizierung erfolgte anhand externer Kalibrierung (Kalibrationsbereich 1 µg/L bis

200 µg/L). Standardadditionsversuche zeigten keine Beeinflussung der Analysergebnisse durch Matrixeffekte.

Tabelle 3:
Kenngrößen des analytischen Verfahrens für Mecoprop (Racemat) nach DIN 32645.

Analyt	Nachweisgrenze [µg/L]	Erfassungsgrenze [µg/L]	Bestimmungsgrenze [µg/L]
Mecoprop (Racemat, CAS 7085-19-0) Injektionsvolumen 1 µL	0,10	0,21	0,29
Mecoprop (Racemat, CAS 7085-19-0) Injektionsvolumen 10 µL	0,006	0,011	0,017

Eine Trennung der beiden Enantiomere des Mecoprops und der eingesetzten Ester und somit die Bestimmung der genauen Konzentrationen des wirksamen Enantiomeres Mecoprop P ((R)-2-(4-Chlor-2-methylphenoxy)propionsäure) ist mit dem angewandten Analysenverfahren mangels chiraler Säulenmaterialien, die den hohen Drücken von 9000 PSI während der chromatografischen Trennung widerstehen, nicht möglich. Dies ist v. a. für die Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester von Bedeutung, da hier gleiche Anteile der beiden Enantiomere vorliegen, von denen jedoch nur eines wirksam ist. Die Varianten, die mit Mecoprop-P-n-octylester oder Mecoprop-P-ethylhexylester ausgerüstet sind, enthalten nach Herstellerangaben jeweils die „wirksamen“ R-Isomere der entsprechenden Ester in Anteilen über 90 %. Der durch die Analytik resultierende Fehler ist hinsichtlich der tatsächlichen Einsatzkonzentrationen an wirksamem Enantiomer vernachlässigbar.

Eine Enantiomerentrennung ist grundsätzlich mit der in [Burkhardt 2009] beschriebenen Methode via HPLC-UV nach Festphasenextraktion möglich. Allerdings stören Begleitstoffe aus der Bitumenmatrix die exakte Quantifizierung des R-Isomers nach der Auftrennung auf einer chiralen Säule.

4.3 Mecoprop-Auswaschung von Bitumendachbahnen im Laborversuch

Die Freisetzung von Mecoprop-Estern und Mecoprop wird unter kontrollierten Bedingungen mittels zweier standardisierter Laborverfahren bestimmt. Die beiden Verfahren unterscheiden sich wesentlich in der Dauer des Wasserkontakts („Wasserkontaktzeit“) und der Trocknungsmöglichkeiten beim Wechsel des Elutionsmittels. Wie aus Untersuchungen mit anderen Baustoffen bekannt ist, haben diese Unterschiede – in Abhängigkeit von Baustoff und zu untersuchendem Parameter – einen deutlichen Einfluss auf das Freisetzungsverhalten. Die Rahmenbedingungen der Laborauslaugprüfungen sind in Kapitel 4.5 zusammengefasst.

4.3.1 Intermittierendes Tauchen in Anlehnung an DIN EN 16105

Das intermittierende Tauchen nach DIN EN 16105 sieht V/O-Verhältnisse von 25 L/m² vor. Ein Probekörper besteht aus einem Glasträger der Abmessungen 10 x 10 cm², auf dem die Dachbahn durch Erhitzen aufgeklebt wird (Bild 1). Bei Miteinbeziehung der offen liegenden Schnittkanten der Bitumenbahnen beträgt die eluierbare Oberfläche der Probekörper 0,012 m². Als Eluent wird Reinstwasser verwendet. Zwischen den einzelnen Tauchphasen sind definierte Trocknungsintervalle vorgesehen. Auch dieser Versuch wird jeweils als Doppelbestimmung angelegt. Zusätzlich wird immer ein gläserner Probenträger ohne Dachbahn als Blindprobe mitgeführt.



Bild 1:
Herstellen eines Probekörpers für den Laborauslaugversuch nach DIN EN 16105
(oben links: Erhitzen eines vorbereiteten Dachbahnausschnitts; oben rechts:
Aufkleben des gläsernen Probenträgers; unten links: Zuschneiden der Ränder;
unten rechts: fertiger Probekörper).

4.3.2 Langzeittauchversuch in Anlehnung an DIN CEN/TS 16637-2

Der Langzeittauchversuch wird in Anlehnung an DIN CEN/TS 16637-2:2014-11 durchgeführt. Für „plattenartig“ („sheetlike“) verbaute Produkte wie Dachbahnen ist ein Volumen/Oberflächen-Verhältnis (V/O-Verhältnis) von ≥ 20 L/m² vor-

geschrieben. In DIN CEN/TS 16637-2:2014-11, Annex C wird für Dachbahnen ein Prüfzenario empfohlen, in dem ein Streifen der Dachbahn derart in einen Glaszylinder eingebracht wird, dass die Rückseite an der Glaswand anliegt (Bild 2). Die Kanten werden nicht versiegelt. Die nach „oben“ zeigenden, ebenfalls dem Wasser ausgesetzten Schnittkanten des Dachbahnstreifens werden als auslaugbare Fläche in die Berechnung mit einbezogen. Unter den vorherrschenden, durch die Geometrie des Auslaugbehälters bestimmten Rahmenbedingungen, ergibt sich auf diese Weise ein V/O-Verhältnis von 29,6 L/m².

Während der Versuchsdauer wird der Eluent mittels eines Rührfisches bewegt. Die Probekörperoberfläche steht während des gesamten Versuchszeitraums in Kontakt mit Wasser. Zum Schutz vor Verkeimung bzw. vor mikrobiellem Abbau organischer Stoffe wird der Eluent unter Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH, Speyer) konserviert. Der Versuch wird als Doppelbestimmung durchgeführt.

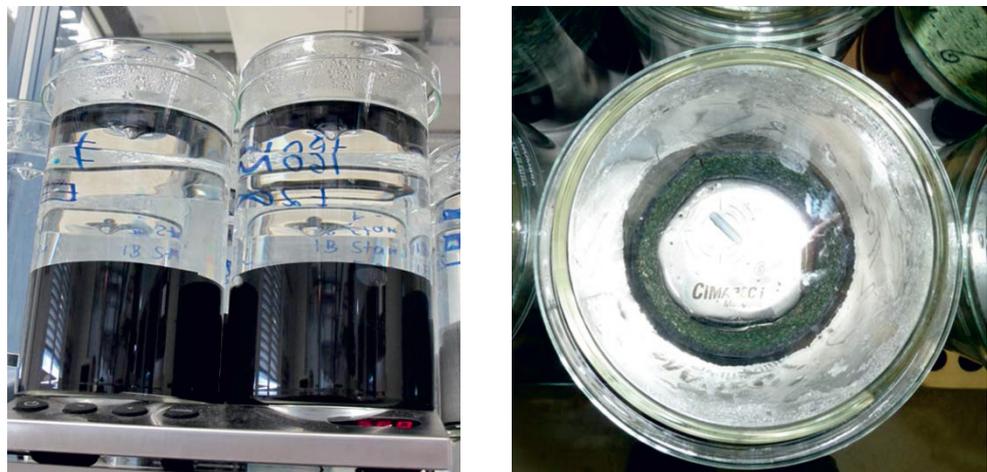


Bild 2:
Durchführung des Langzeitauslaugversuchs nach DIN CEN/TS 16637-2 mit Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen (links: Seitenansicht; rechts: Draufsicht).

4.3.3 Varianten für die Laborversuche

Die Laborauslaugversuche wurden mit Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen durchgeführt, die sowohl in ihren Gehalten als auch hinsichtlich der Art an Mecoprop-Estern variieren (Tabelle 4). Bei der Untersuchung wurde eine Kontroll-Probe ohne radiziden Zusatz mitgeführt.

Tabelle 4:

Varianten zur Untersuchung der Mecoprop-Auswaschung von Bitumenbahnen mit unterschiedlichen Konzentrationen verschiedener Mecoprop-Ester im Laborversuch.

Variante	Ester	Konzentration bzgl. Bitumen
1	Mecoprop-Polyethylenglykolester	0,5 %
2		0,8 %
3	Mecoprop-P-n-octylester	0,25 %
4		0,4 %
5	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25 %
6		0,4 %
7	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25 %
8		0,4 %
9	ohne	--

4.4 Auswaschung von Mecoprop aus Bitumendachbahnen im 18-monatigen Freilandversuch

Auf dem Institutsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in 83626 Valley wurden realitätsnahe Dachaufbauten mit Bitumendachbahnen über 18 Monate hinweg im Freiland bewittert. Die Asservierung und Analyse des Ablaufwassers erfolgte nach jedem Regenereignis. Eine fraktionierte Asservierung von Wässern während eines Regenereignisses wurde nicht durchgeführt.

Die abgedichteten Flächen wurden einmal unmittelbar der Witterung ausgesetzt, zum anderen wurden sie mit einer dünn-schichtigen, extensiven Begrünung versehen. Dabei wurden für jede wirkstoffhaltige Variante jeweils zwei Probekörper bewittert (Doppelbestimmung).

Die Aufbau-Empfehlungen für Gründächer unterscheiden sich nur geringfügig. So werden als Aufbaustärken z. B. in den „Technischen Regeln für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Polymerbitumen- und Bitumenbahnen“ des vdd (Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e.V.) bei extensiver Begrünung 4 bis 10 cm genannt [vdd 2012]. Finanziell gefördert werden z. B. von der Landeshauptstadt München oder der Hamburger Behörde für Energie und Umwelt Extensivbegrünungen ab „mind. 8 cm durchwurzelbarer Aufbaudicke“ [München 2016, Hamburg 2016].

Im Forschungsvorhaben wurde der Dachaufbau mit dem Gründachpaket eines Herstellers ausgeführt. Bei der Verwendung solch eines handelsüblichen „Bausatzes“ für Gründächer liegt der wesentliche Vorteil in der Nähe zur Anwendungsrealität. Die einzelnen Komponenten sind aufeinander abgestimmt, der Aufbau ist einfach zu bewältigen, und die prinzipiell förderfähige durchwurzelbare Substratstärke ist ebenfalls gewährleistet. Größere Substratstärken würden

im Vergleich dazu eine höhere Wasserretention bei Regenereignissen bewirken. Diesbezüglich stellt die gewählte Substratstärke einen Worst-Case hinsichtlich der Auswaschung von Inhaltsstoffen der Dachabdichtungsbahnen dar.

Die Rahmenbedingungen aller durchgeführten Auslaugprüfungen sind in Kapitel 4.5 zusammengefasst.

Über die gesamte Versuchsdauer hinweg wurden die meteorologischen Daten (Regenmengen, Windgeschwindigkeiten, Windrichtung, Temperatur und Globalstrahlung) mit einer direkt vor Ort befindlichen Wetterstation („Vintage Pro“, Fa. Davis) erfasst.

4.4.1 Probekörper für die Freibewitterung

Ein Probekörper-Träger für die Freibewitterung ist in Bild 3 schematisch dargestellt. Es handelt sich dabei um „Wannen“ aus Edelstahlblech, die an einer Seite geöffnet sind und eine Abtropfkante aufweisen. Die Wannen sind auf einem Leiterraum aus Vierkantrohr so montiert, dass eine Durchbiegung und somit eine Pfützenbildung vermieden wird. Die Grundfläche einer Wanne beträgt $1 \times 1 \text{ m}^2$. Unter Miteinbeziehung der Seitenränder (13 cm) und der Abtropfkante (5 cm) ergibt sich eine auslaugbare Oberfläche der zu untersuchenden Polymerbitumen-Dachbahnen von $1,44 \text{ m}^2$.

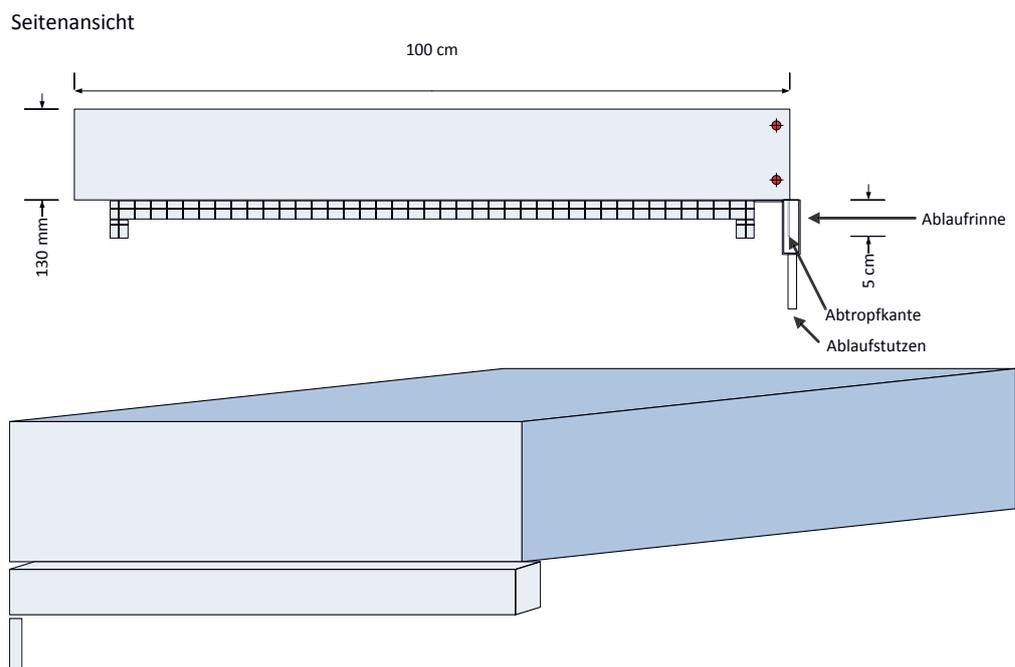


Bild 3:
Schematische Darstellung eines Probekörperträgers für die Freibewitterung.

Die Probekörperträger wurden zunächst mit einem Bitumenvoranstrich („Burkolit V“, Fa. Paul Bauder GmbH & Co. KG) versehen. Die verschiedenen Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen wurden am 15./16. September 2015

aufgebracht. Die Probekörper wurden dabei mit einer Längsnaht (Überlappung ca. 10 cm) gefertigt (Bild 4).

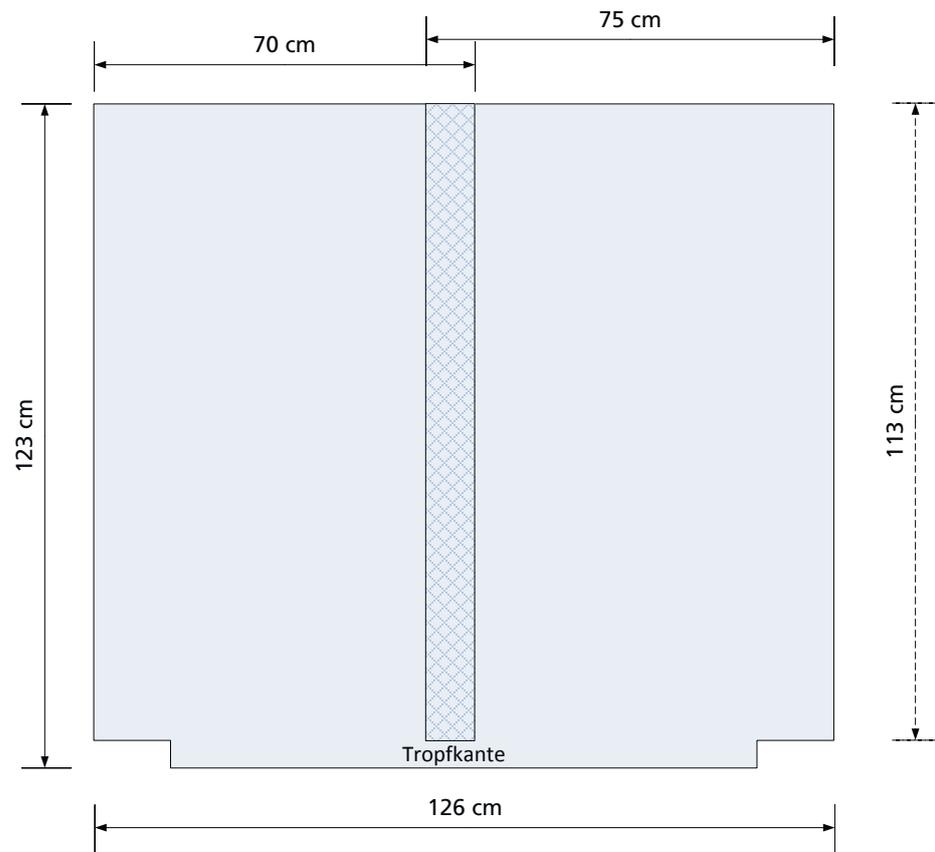


Bild 4:
Schematische Darstellung der Dachbahn-Zuschnitte.

An den beiden hinteren Ecken wurde die überschüssige Dachbahn als Falte ausgeführt. Um ein Eindringen von Feuchtigkeit unter die Dachbahn zu vermeiden, wurde die Dachbahn zusätzlich über den Rand des Probekörperträgers gezogen und auch die Tropfkante beklebt. Nach dem Einbringen der Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen wurden die Probekörper mit einer Blende als vorderem Abschluss versehen. Das bei Regenereignissen ablaufende Regenwasser floss über Rinnen aus Edelstahl und Teflon-Schläuche in PE-Kanister (Volumen 10 L) (Bild 5).



Bild 5:
Probekörper mit Polymerbitumen-Dachbahn. Ansicht von oben (oberes Bild)
und Detailansicht mit vorgesetzter Blende, Ablaufrinne, Schlauch und Kanister
(unteres Bild).

Die Versuchsflächen wiesen ein Gefälle von 2 % nach Westen auf. Wurde bei Starkregenereignissen das maximale Volumen des Kanisters überschritten, standen zur Abschätzung der Regenmenge die Aufzeichnungen aus einer vor Ort bei den Probekörpern lokalisierten Wetterstation zur Verfügung. Zusätzlich waren bei zwei ohne und bei zwei mit Substrat ausgeführten Probekörpern die Auffangkanister in verschlossenen 100 L-Tonnen untergebracht, so dass das Volumen eventuell überlaufenden Wassers bestimmt werden konnte (bei Volumina > 10,5 L) (Bild 6).



Bild 6:
Tonnen zur Ermittlung großer Ablaufwasservolumina. Rechts im Bild: Wetterstation zur Aufzeichnung der meteorologischen Daten.

Für die Herstellung der Probekörper mit extensiver Begrünung wurden „Standard Gründach-Pakete“ der Fa. Paul Bauder GmbH & Co. KG, Stuttgart, verwendet (Aufbauanleitung s. Anhang 8.2.1). Diese bestehen aus einer „SDF-Matte“ (Schutz, Drän- und Filterschicht, aufgebaut aus einem beidseitig vlieskaschierten Dränkern aus Polypropylen), auf die dann eine 8 cm hohe Vegetationstragschicht (s. auch Anhang 8.2.1) aufgebracht wird. Die Aufbauhöhe betrug somit insgesamt ca. 12 cm.

Diese Konzeption der Probekörper stellte das Optimum aus vertretbarem Aufwand und größtmöglicher Realitätsnähe dar.

Die Beprobung aller Probekörper startete nach Aufbringen der Vegetationstragschicht am 17. September 2015.

Die Bepflanzung erfolgte am 29. September 2015 mit den über das Gründach-Paket bezogenen, für sonnige Standorte geeigneten Pflanzen (Sedum/Kräuter-Mischung) für extensive Dachbegrünungen. Folgend der Aufbauanleitung wur-

den jeweils 12 Pflanzen pro Quadratmeter gepflanzt. Die Abstände zwischen den einzelnen Pflänzchen betragen ca. 25 bis 30 cm. Die Art der Pflanzen auf den einzelnen Probekörpern war nicht identisch, sondern richtete sich nach Anzahl der verfügbaren Sedum- und Kräuterarten. Welche Arten auf welchem Probekörper zum Einsatz kam, wurde nicht protokolliert.

Direkt nach Bepflanzung wurden die Pflanzen entsprechend der Aufbauanleitung mit dem mitgelieferten organisch-mineralischen Dünger mit ca. 30 g/m² gedüngt und die Pflanzen mit jeweils ca. 300 mL Leitungswasser gewässert, wobei darauf geachtet wurde, das Substrat nicht vollständig zu durchfeuchten.

Die Laufzeit der Freibewitterung betrug ca. 18 Monate (558 Tage) und endete am 28. März 2017.

4.4.2 Varianten für die Freibewitterung

Der Freilandversuch wurde mit Polymerbitumen-Dachabdichtungsbahnen durchgeführt, die sowohl in ihren Gehalten als auch hinsichtlich der Art an Mecoprop-Estern variierten (Tabelle 5). Bei der Untersuchung wurde eine Kontroll-Probe ohne radiziden Zusatz mitgeführt. Grundsätzlich war der Versuch mit Ausnahme der radizidfreien Kontrollvariante mit jeweils zwei Probekörpern pro Variante als Doppelbestimmung angelegt.

Tabelle 5:
Varianten zur Untersuchung der Mecoprop-Auswaschung von Bitumenbahnen mit unterschiedlichen Konzentrationen verschiedener Mecoprop-Ester im Freilandversuch.

Variante	Ester	Konzentration bzgl. Bitumen	Substrat und Bepflanzung
1	Mecoprop-Polyethylenglykolester	0,5 %	ohne
2			mit
3		0,8 %	ohne
4			mit
5	Mecoprop-P-n-octylester	0,25 %	ohne
6			mit
7		0,4 %	ohne
8			mit
9	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25 %	ohne
10			mit
11		0,4 %	ohne
12			mit
13	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25 %	ohne
14			mit
15		0,4 %	ohne
16			mit
17	ohne	--	ohne
18			mit

4.5 Zusammenfassung der Rahmenbedingungen der Auslaugversuche

In Tabelle 6 sind die bei den verschiedenen Methoden zur Eluatgewinnung vorherrschenden Rahmenbedingungen zusammengefasst und einander gegenüber gestellt. Wesentliche Unterschiede existieren neben der Versuchsdauer und dem generellen Vorhandensein von Trocknungsperioden auch bei den Kontaktwasservolumina und den Wasserkontaktzeiten.

Tabelle 6:
Rahmenbedingungen bei den Auslaugversuchen.

Rahmenbedingung	Freibewitterung		Laborauslaugversuche	
	Probekörper ohne Begrünung	Probekörper mit Begrünung	DIN EN 16105	DIN CEN/TS 16637-2
Probekörperträger / Substrat	Edelstahlwanne mit Bitumenvoranstrich	Edelstahlwanne mit Bitumenvoranstrich	Glas	--
Abmessungen der Probekörper	1 x 1 m ²	1 x 1 m ²	10 x 10 cm ²	36 x 7 cm ²
Auslaugbare Fläche (inkl. Seitenrändern (Freiland) bzw. Schnittkanten (Laborversuch))	1,44 m ²	1,44 m ²	0,012 m ²	0,027 m ²
Eluent	Regenwasser	Regenwasser	Reinstwasser EC 0,055 µS/cm, TOC = 2 ppb, Porengröße des Sterilfilters 0,2 µm	Reinstwasser EC 0,055 µS/cm, TOC = 2 ppb, Porengröße des Sterilfilters 0,2 µm
Volumen des Eluenten pro Auslaugereignis	Wetterabhängig	Wetterabhängig	0,3 L	0,8 L
Wasserretention	--	Ja	--	--
Volumen zu Oberflächen-Verhältnis V/O pro Tauchereignis	Wetterabhängig	Wetterabhängig	25 L/m ²	29,6 L/m ²
Kumuliertes Kontaktwasservolumen nach Abschluss der Prüfung	Wetterabhängig	Wetterabhängig	450 L/m ²	237 L/m ²
Anzahl der Fraktionen / Wasserwechsel	Wetterabhängig	Wetterabhängig	9	8
Versuchsdauer	18 Monate	18 Monate	19 d	64 d
Wasserkontaktzeit	Nicht ermittelbar	Nicht ermittelbar	18 h	1563 h
Trocknungsperioden	ja	ja	ja	--

5 Ergebnisse

5.1 Intermittierendes Tauchen nach DIN EN 16105

Beim intermittierenden Tauchen wurden vor jedem Immersionszyklus die Massen der Probekörper bestimmt. Die Massenänderungen bewegten sich dabei im Bereich von 0 bis maximal $\pm 0,1$ % bezogen auf die Ausgangsmasse der Dachbahnen (Probekörper abzüglich Substrat). Überwiegend wurden Massenabnahmen festgestellt.

Die pH-Werte der Eluate bewegten sich über den Versuchsverlauf hinweg im Bereich von 5,6 bis 6,6 und lagen damit leicht über dem pH-Wert der mitgeführten Blindprobe (Probekörperträger aus Glas ohne Dachbahn). Die pH-Werte der Eluate der verschiedenen Varianten ähnelten sich dabei stark. Bei den Probenahmen Nr. 3, 5 und 6 wiesen lediglich die Eluate der Dachbahn mit dem Polyethylenglykolester (0,5 %) im Vergleich zu den anderen Varianten erhöhte pH-Werte auf. Durchgängige Trends über den Versuchsverlauf hinweg konnten nicht beobachtet werden (Bild 7). Die elektrischen Leitfähigkeiten der Eluate nahmen über den Versuchszeitraum hinweg von Werten zwischen 5,0 und 3,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf Werte zwischen 1,5 und 1,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ab. Wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten sind nicht erkennbar (Bild 8).

Die pH-Werte und die elektrischen Leitfähigkeiten der Eluate sind in Anhang 8.1.1 in Tabelle 19 und Tabelle 20 aufgeführt.

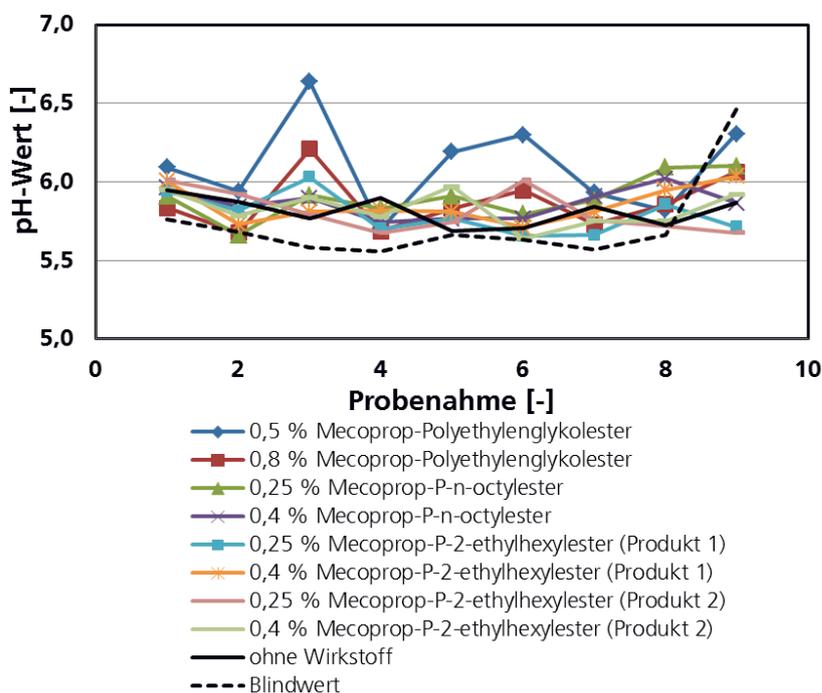


Bild 7:
pH-Werte der Eluate aus dem intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105.

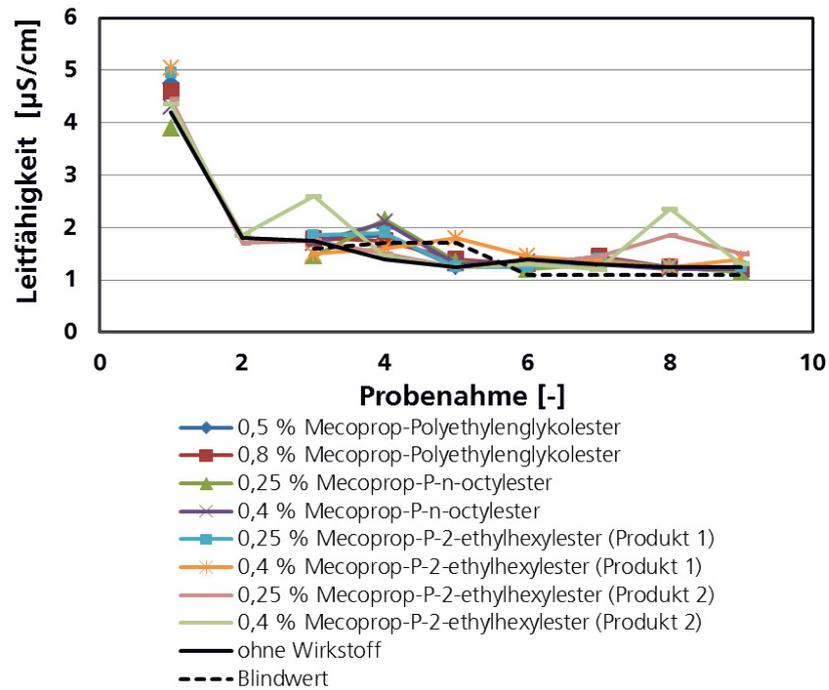


Bild 8:

Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate aus dem intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105. Teilweise fehlende Messwerte zum 2. Probenahmezeitpunkt wegen defekter Elektrode.

In den Eluaten der Referenzdachbahn **ohne Durchwurzelungsschutz** wurden Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) bestimmt, die über den Versuchszeitraum hinweg von 17 µg/L auf 2 µg/L abnahmen. Dies resultiert nach Versuchsende in einem kumulierten Austrag von 2,1 mg/m² (Bild 9).

Dachbahnen mit **Mecoprop-Polyethylenglykolester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum von 101 µg/L bei Einsatzkonzentration 0,5 % bzw. 154 µg/L bei Einsatzkonzentration 0,8 % auf 19 µg/L bzw. 37 µg/L ab. Die kumulierten Austräge betragen somit 17 mg/m² bzw. 28 mg/m² (Bild 9).

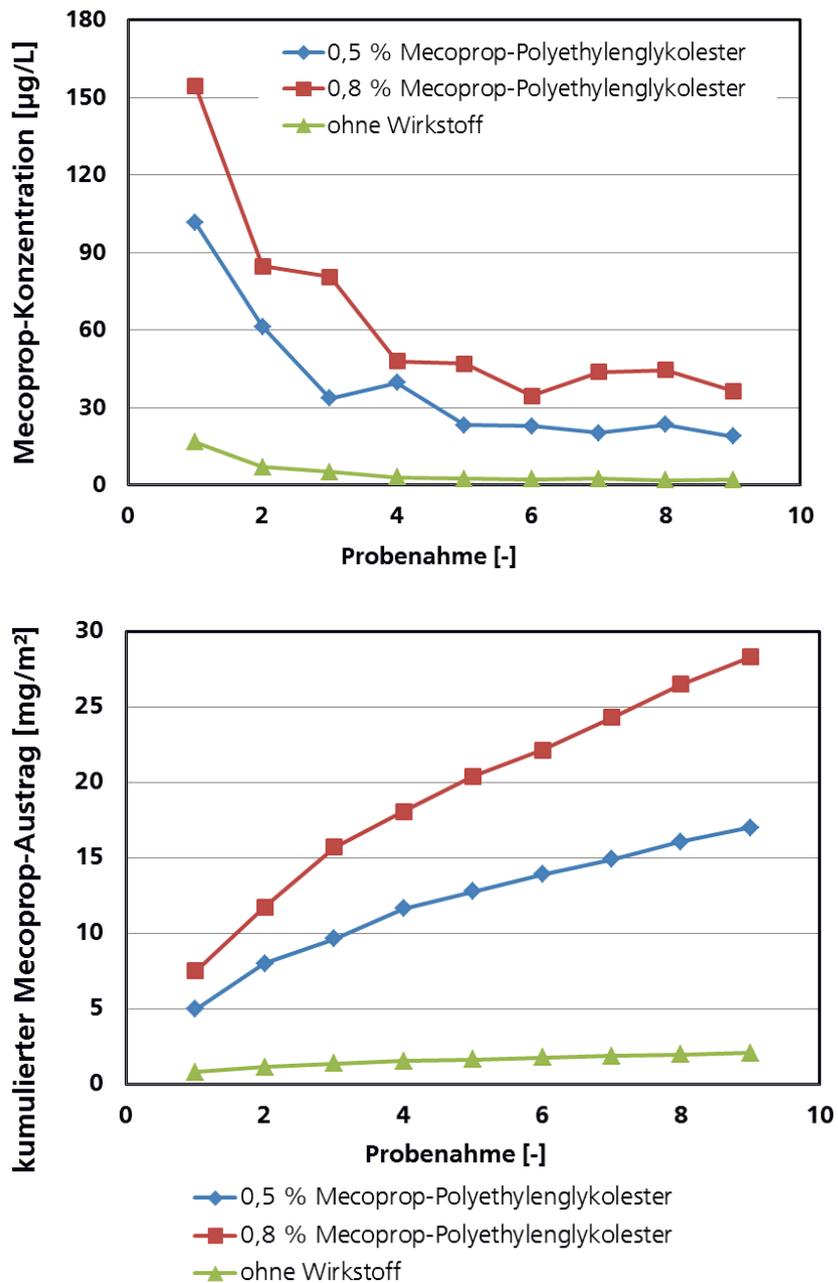


Bild 9:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105: Dachbahnen mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und wirkstofffreie Referenzvariante.

Dachbahnen mit **Mecoprop-P-n-octylester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum von 156 $\mu\text{g/L}$ bei der Einsatzkonzentration 0,25 % bzw. 316 $\mu\text{g/L}$ bei der Einsatzkonzentration 0,5 % auf 10 $\mu\text{g/L}$ bzw. 22 $\mu\text{g/L}$ ab. Die kumulierten Austräge betragen somit 15 mg/m^2 bzw. 29 mg/m^2 (Bild 10).

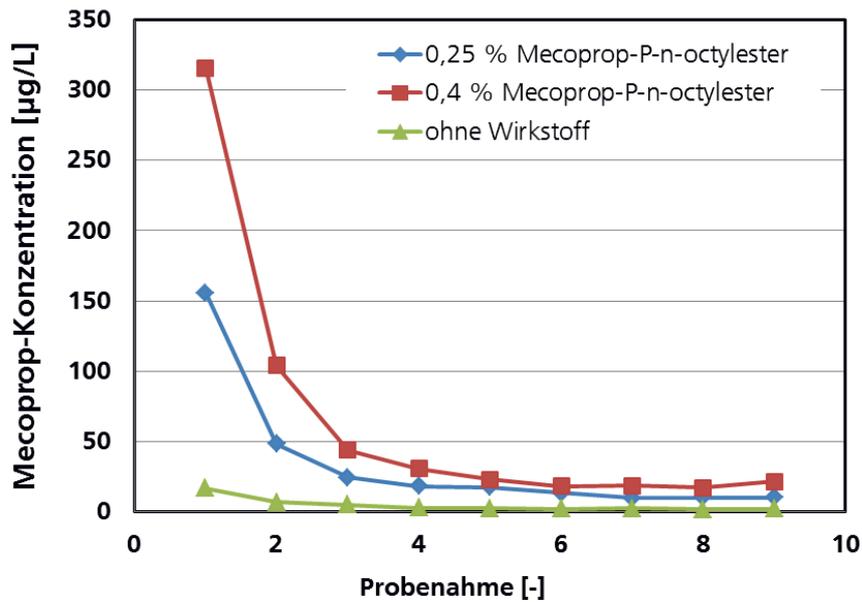


Bild 10:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105: Dachbahnen mit Mecoprop-P-n-octylester und wirkstofffreie Referenzvariante.

Dachbahnen mit **Mecoprop-P-2-ethylhexylester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum bei Produkt 1 von 189 µg/L bei der Einsatzkonzentration 0,25 % bzw. 235 µg/L bei der Einsatzkonzentration 0,5 % auf 13 µg/L bzw. 12 µg/L ab. Die kumulierten Austräge betrugen somit 18 mg/m² bzw. 23 mg/m². Bei Produkt 2 sanken die Konzentrationen während des Versuchs von 135 µg/L bzw. 234 µg/L auf 7 µg/L bzw. 11 µg/L ab. Es ergaben sich kumulierten Austräge von 12 mg/m² bzw. 19 mg/m² (Bild 11).

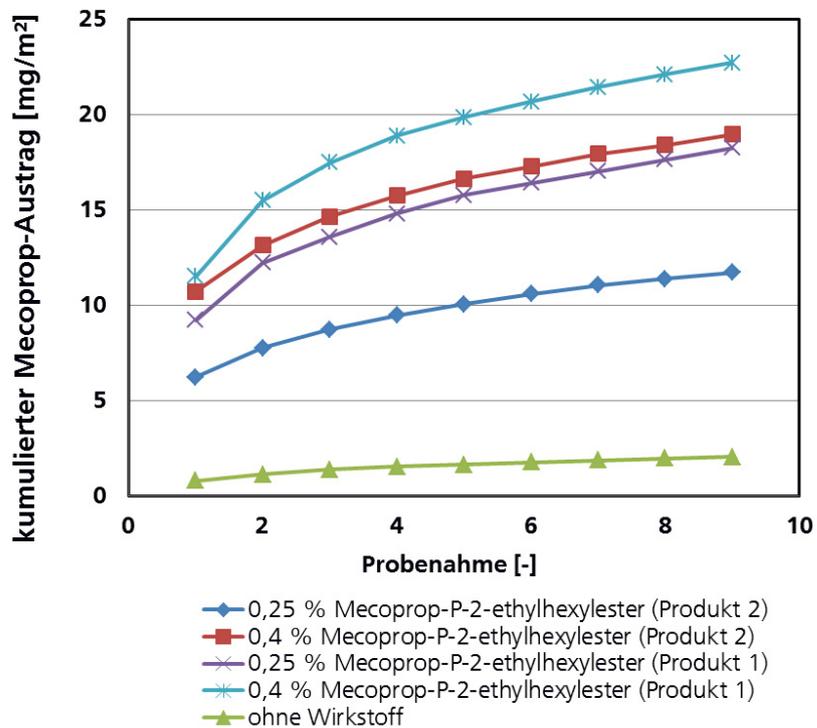
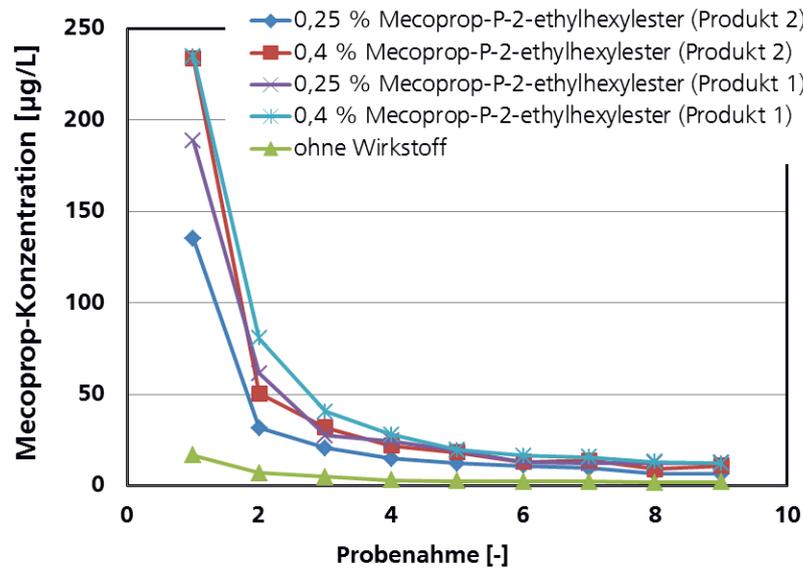


Bild 11:
Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105: Dachbahnen mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester und wirkstofffreie Referenzvariante.

Die in den Eluaten (DIN EN 16105) ermittelten Mecoprop-Konzentrationen und die daraus resultierenden flächenbezogenen und kumulierten Austräge sind in Anhang 8.1.1 in Tabelle 21 bis Tabelle 23 zusammengestellt.

5.2 Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2

Die pH-Werte lagen in den ersten drei Eluaten des Versuchs bei Werten zwischen 6,6 und 7,2 und damit etwas höher als beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105. Die pH-Werte in der mitgeführten Blindprobe (Reinstwasser) lagen dagegen auf einem ähnlichen Niveau wie beim intermittierenden Tauchen. Die Zugabe von Acticide MBS (Fa. Thor GmbH) ab dem 4. Versuchszyklus des Langzeittauchversuchs zum Schutz der Eluate vor Verkeimung bewirkte eine Erhöhung aller pH-Werte auf ca. 7,6 bis 7,8. Wesentliche Unterschiede zwischen den Varianten waren nicht zu erkennen (Bild 12).

Die elektrischen Leitfähigkeiten der Eluate zu Beginn des Versuchs waren gegenüber denen des intermittierenden Tauchens etwas erhöht. Nach der Zugabe von Acticide MBS ab dem 4. Versuchszyklus war eine deutliche Zunahme der Leitfähigkeiten zu erkennen. Die Leitfähigkeiten der Eluate der verschiedenen Varianten wiesen dabei kaum Unterschiede auf. Sie lagen über den Werten der mitgeführten Blindprobe (Reinstwasser) (Bild 13).

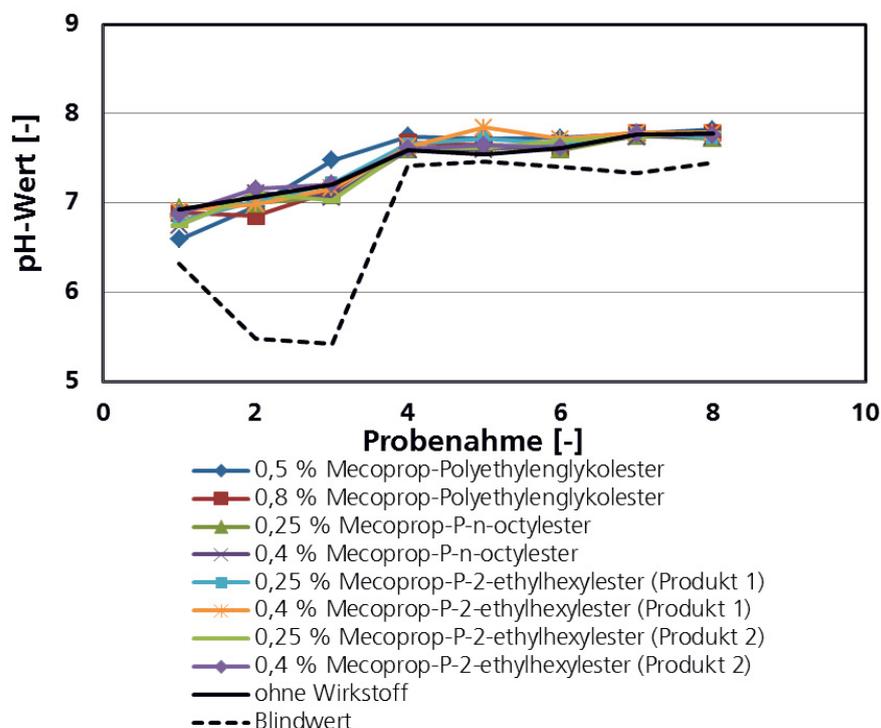


Bild 12:
pH-Werte der Eluate aus dem Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2.

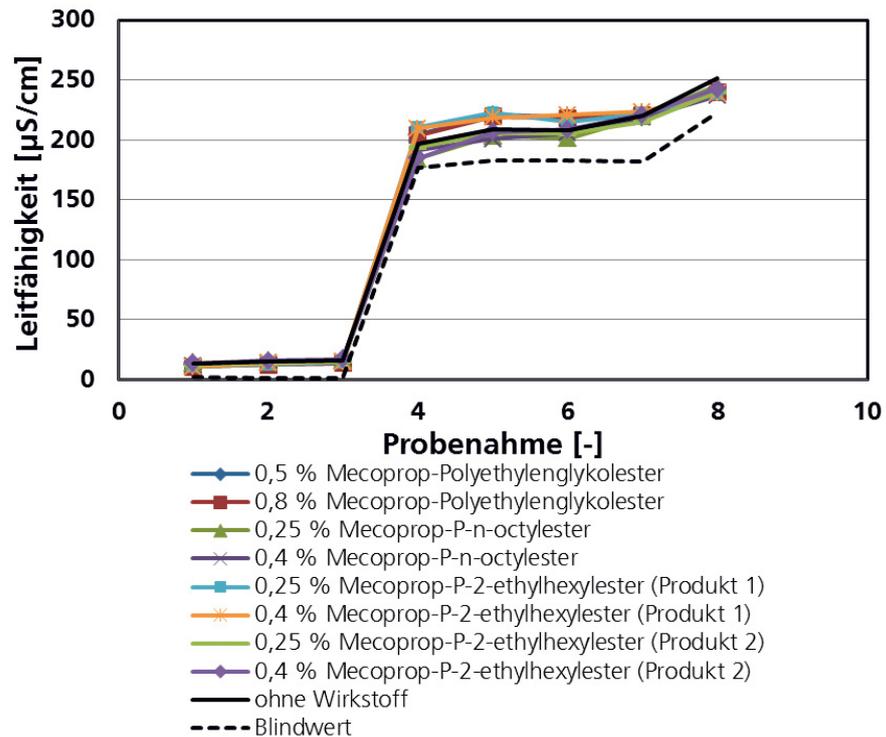


Bild 13:
Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate aus dem Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2.

In den Eluaten der Referenzdachbahn **ohne Durchwurzelungsschutz** wurden über den Versuchszeitraum hinweg von 48 µg/L auf 12 µg/L abnehmende Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) bestimmt. Dies resultiert nach Versuchsende in einem kumulierten Austrag von 3,4 mg/m² (Bild 14 bis Bild 16).

Dachbahnen mit **Mecoprop-Polyethylenglykolester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum von 298 µg/L bei Einsatzkonzentration 0,5 % bzw. 368 µg/L bei Einsatzkonzentration 0,8 % auf 1,8 mg/L bzw. 2,4 mg/L zu. Die kumulierten Austräge betragen somit 158,8 mg/m² bzw. 195,4 mg/m² (Bild 14).

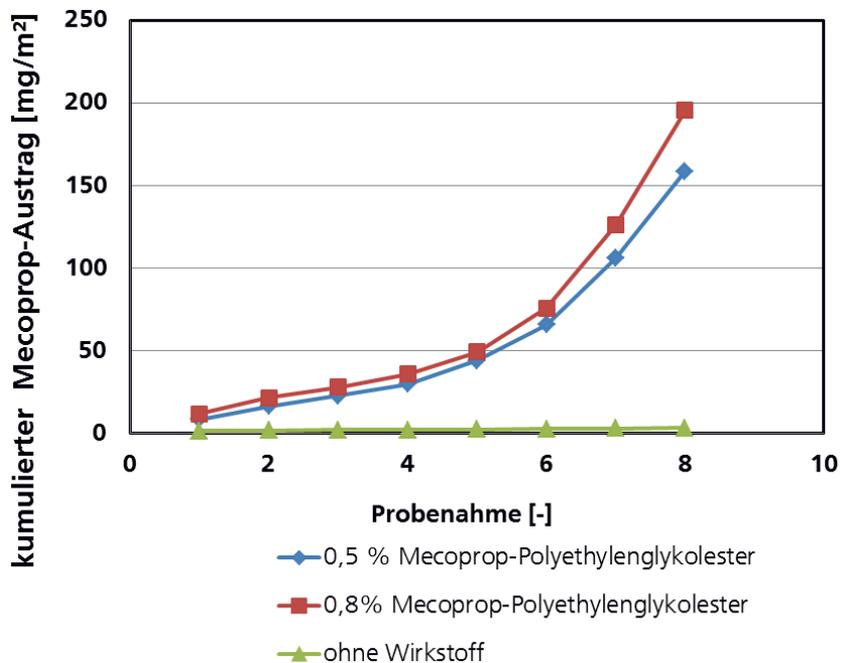
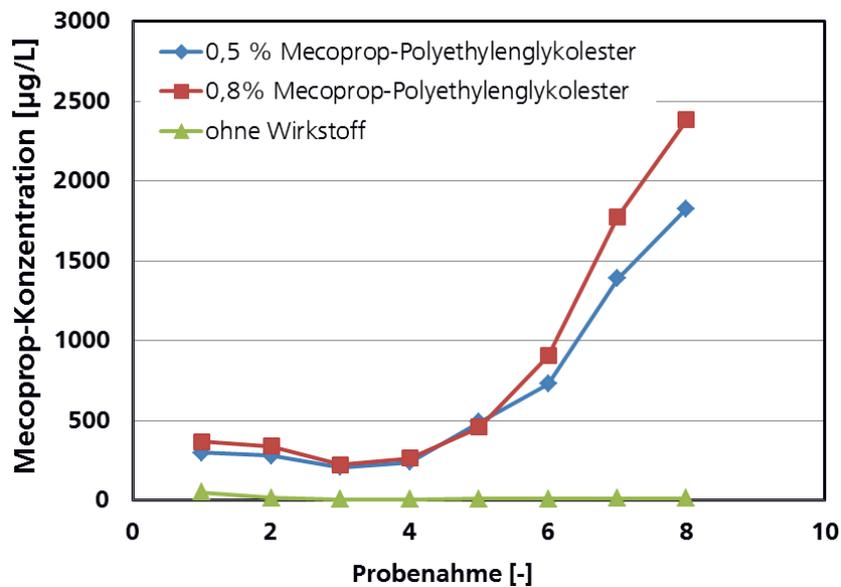


Bild 14:
Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2: Dachbahnen mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und wirkstofffreie Referenzvariante.

Dachbahnen mit **Mecoprop-P-n-octylester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum von 281 µg/L bei der Einsatzkonzentration 0,25 % bzw. 488 µg/L bei der Einsatzkonzentration 0,5 % bis zum Versuchsende auf Werte um ca. 100 µg/L ab. Die niedrigsten Mecoprop-Konzentrationen wurden bei der 4. Probenahme mit Werten von ca. 70 µg/L festgestellt. Ab der 5. Probenahme lagen die Konzentrationen in den Eluaten der Dachbahn mit Einsatzkonzentration des Esters von 0,4 % unter denen der

Dachbahn mit der geringeren Einsatzkonzentration. Die kumulierten Austräge betragen somit 29,5 mg/m² bzw. 34,2 mg/m² (Bild 15).

Dachbahnen mit **Mecoprop-P-2-ethylhexylester**:

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen im Versuchszeitraum bei Produkt 1 von 331 µg/L bei einer Einsatzkonzentration von 0,25 % bzw. 462 µg/L bei einer Einsatzkonzentration von 0,5 % bis zur 4. Probenahme auf ca. 50 µg/L ab. Danach stiegen die Konzentrationen wieder auf 88 µg/L bzw. 140 µg/L an. Die kumulierten Austräge betragen somit 25,4 mg/m² bzw. 34,1 mg/m². Bei Produkt 2 sanken die Konzentrationen während des Versuchs von 224 µg/L bzw. 419 µg/L auf Werte um ca. 50 µg/L ab. Es ergaben sich kumulierten Austräge von 15,1 mg/m² bzw. 24,8 mg/m²: (Bild 16).

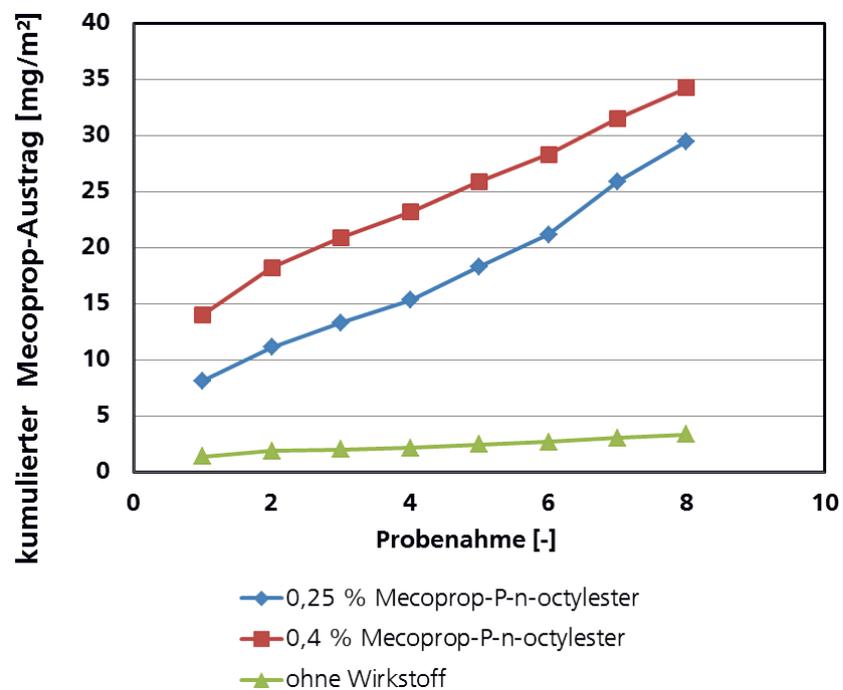
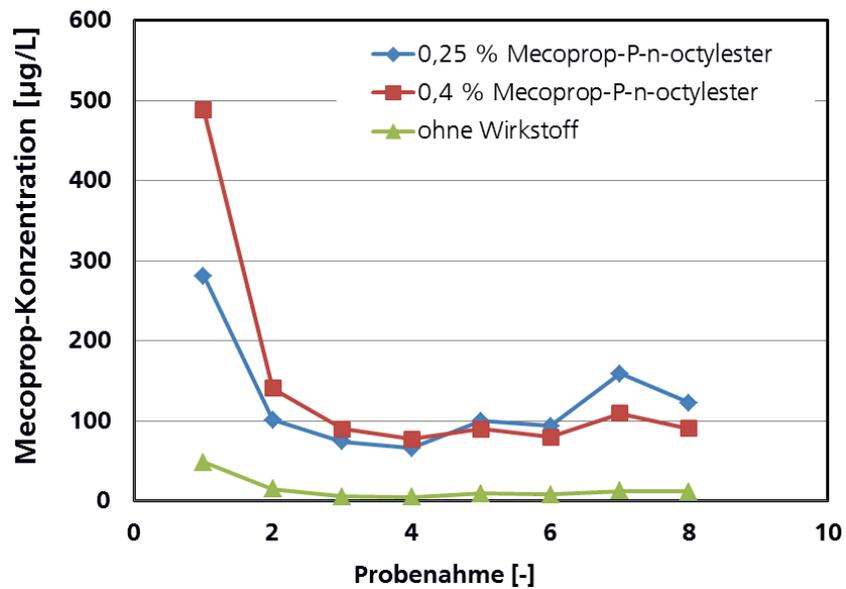


Bild 15:
Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2: Dachbahnen mit Mecoprop-P-n-octylester und wirkstofffreie Referenzvariante.

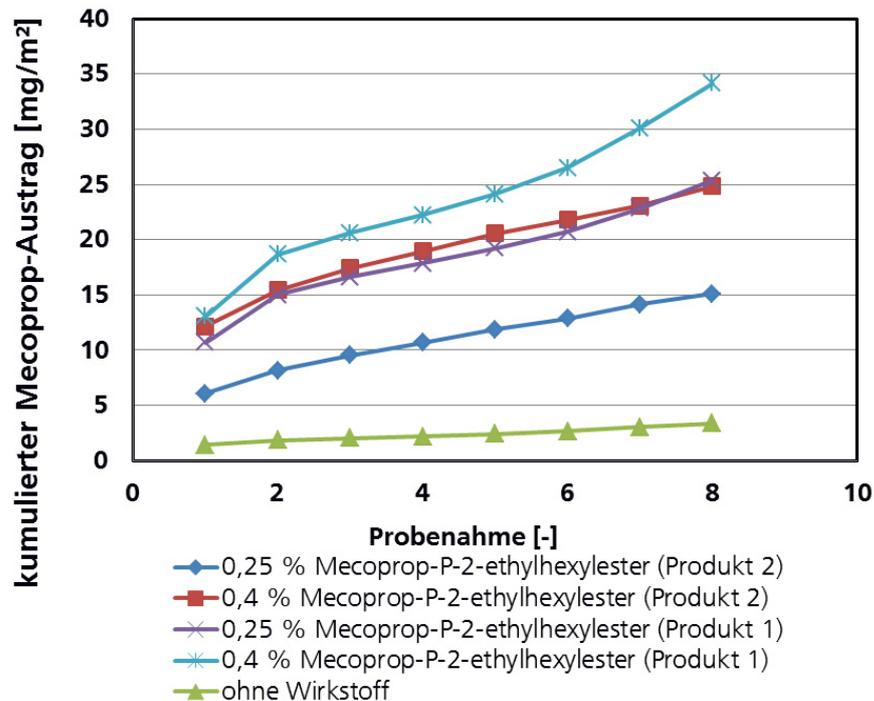
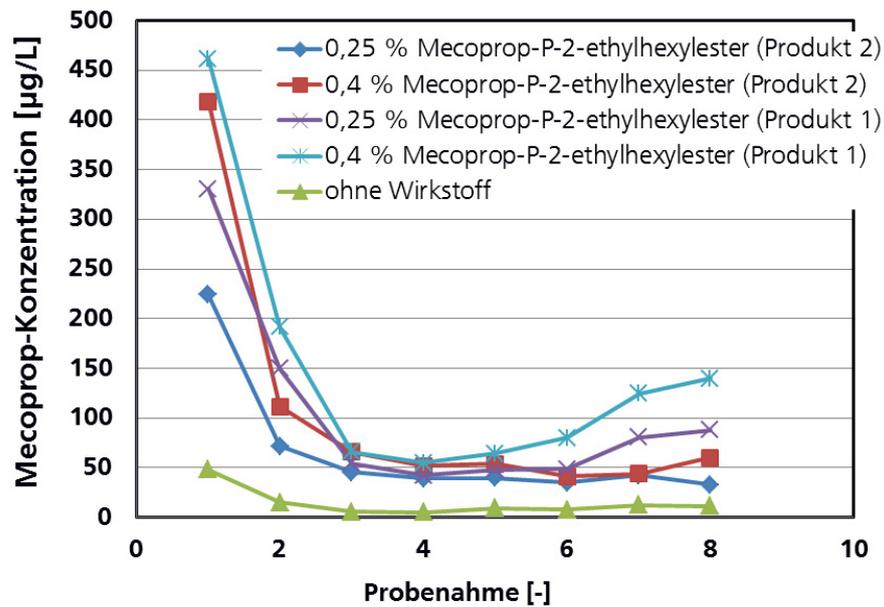


Bild 16:
Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten und kumulierte Austräge beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2: Dachbahnen mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester und wirkstofffreie Referenzvariante.

5.3 Freibewitterung

Die Beprobung der Freilandprobekörper startete am 17. September 2015, wobei die Bepflanzung am 29. September und daher zwischen dem 2. und 3. Re-

genereignis erfolgte. Die Ablaufwässer von den begrünten Probekörpern wiesen immer eine bräunliche Färbung auf. Die Laufzeit der Freibewitterung betrug ca. 18 Monate (558 Tage) und endete am 28. März 2017.

Ab ca. August/September 2016, also nach ca. einem Jahr Freibewitterung, kam es bei den unbegrünten Probekörpern vermehrt zu einem Abtrag der auf der Dachbahnoberseiten aufgebraachten Schieferpartikel bis hin zum Verstopfen der Ablaufrinnen bzw. Schläuche.

In Phasen mit Schneefällen und Frost bzw. mit Frost-Tauwechseln wurden die Ablaufvolumina aufgezeichnet. Eine weiterführende Analytik der Eluate fand nicht statt.

5.3.1 Wetterverhältnisse während der Freibewitterung

Die monatlichen Normalregenmengen im Bewitterungszeitraum von September 2015 bis März 2017 sind in Bild 17 dargestellt. Die außerhalb des Beobachtungszeitraums liegenden Monate Januar bis August 2015 sind in der Graphik schraffiert dargestellt. Der niederschlagsreichste Monat des Untersuchungszeitraums war Juli 2016. In diesem Monat fielen kumuliert 191 mm Niederschlag. Der niederschlagsärmste Monat war Dezember 2016. Die kumulierte Niederschlagsmenge in diesem Monat betrug 12 mm. Das langjährige Monatsmittel (1997 bis 2016) wurde im Beobachtungszeitraum sowohl über- als auch unterschritten.

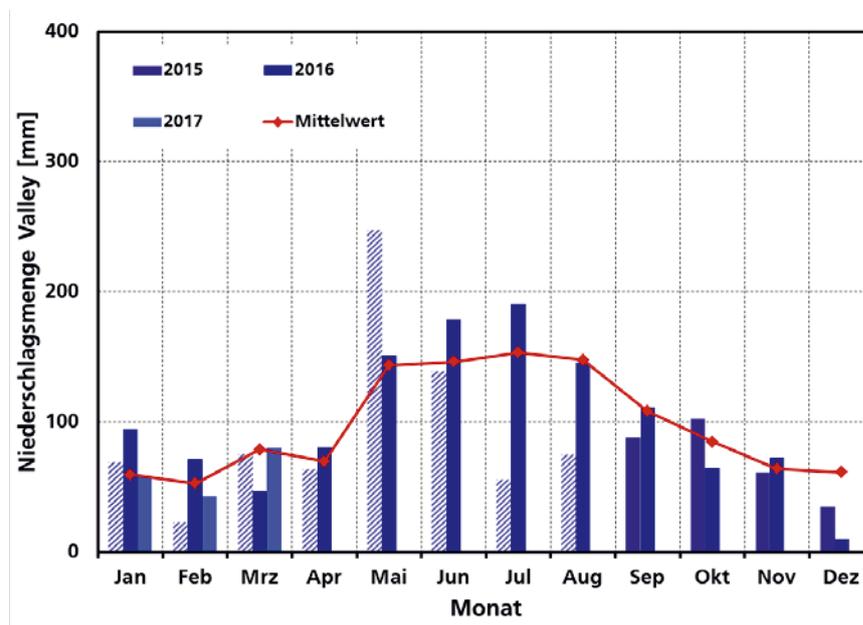


Bild 17: Niederschlagsmenge: Monatswerte (Balken) und langjähriger Mittelwert (rote Linie). Monate außerhalb des Bewitterungszeitraums sind als schraffierte Balken dargestellt.

In Valley werden ca. 180 Regentage pro Jahr verzeichnet. Während des 558 – tändigen Beobachtungszeitraums fielen an 277 Tagen mehr als 0,1 L/m² Niederschlag. Bei 185 Regenereignissen betrug die Regenmengen maximal 5 L/m² (Bild 18). Als Spitzenwert wurden am 20.11.2015 52,8 L/m² erreicht.

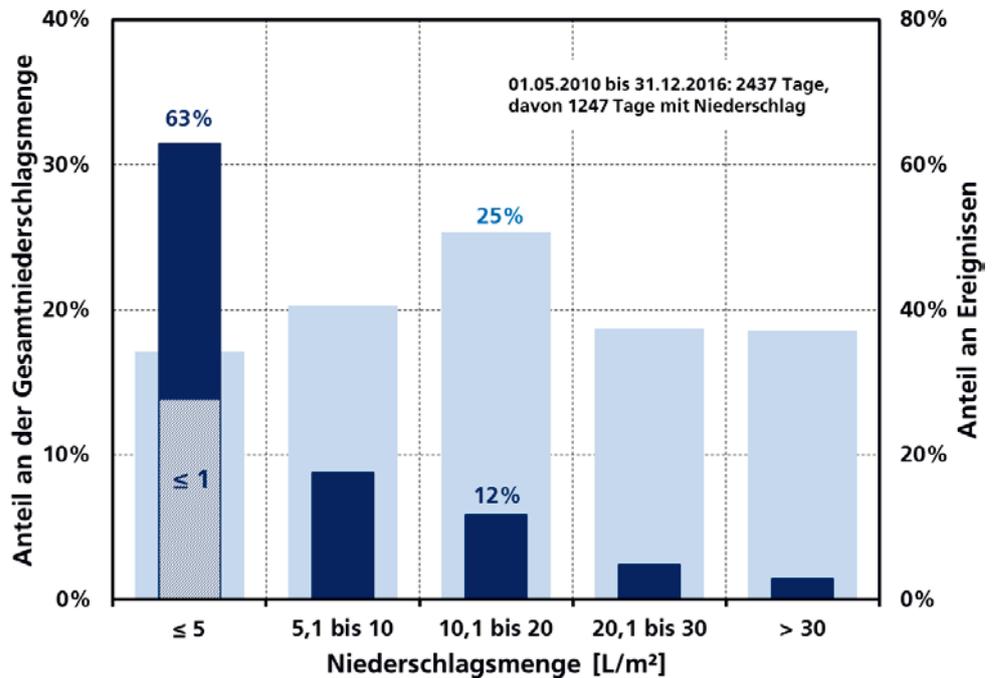


Bild 18:
Häufigkeit von Niederschlagsereignissen mit bestimmten Niederschlagsmengen.

Die niedrigste im Untersuchungszeitraum gemessene Temperatur lag bei -22,5 °C (07.01.2017). Die höchste Temperatur wurde am 22. Juni 2016 mit 30,9 °C gemessen. In Bild 19 sind die Temperaturminima, Temperaturmaxima, die monatlichen Mittelwerte und der langjährige Monatsmittelwert zusammengefasst.

Die mittlere Jahrestemperatur im Jahr 2015 lag mit 8,9 °C und im Jahr 2016 mit 8,5 °C um 2,5 K bzw. 2,1 K höher als der Mittelwert der Referenzjahre 1961 bis 1990 mit 6,4 °C.

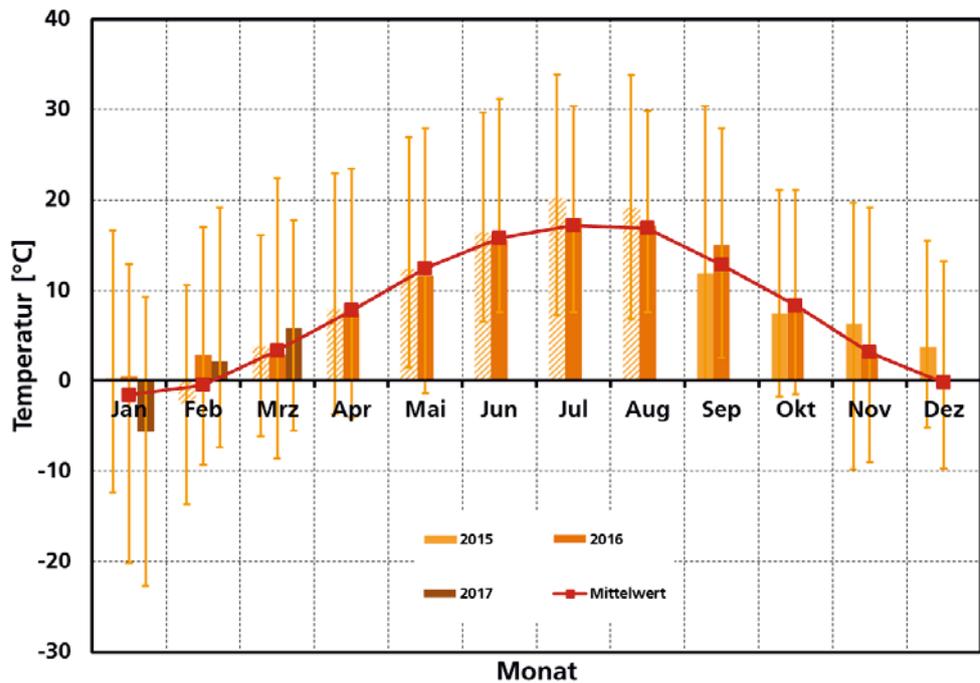


Bild 19:
Verlauf der Temperatur-Monatsmittelwerte, Minima und Maxima. Monate außerhalb des Bewitterungszeitraums sind als schraffierte Balken dargestellt.

Der Wind am Bewitterungsstandort kommt überwiegend aus westlicher und leicht südwestlicher Richtung sowie, weniger ausgeprägt, aus Osten (Bild 20). Die mittlere Windgeschwindigkeit im Jahr 2016 betrug 2,2 m/s oder 2 Bft. Am 23.7.2016 wurden in Gewitterböen Geschwindigkeiten von 11 Bft (103 km/h) gemessen.

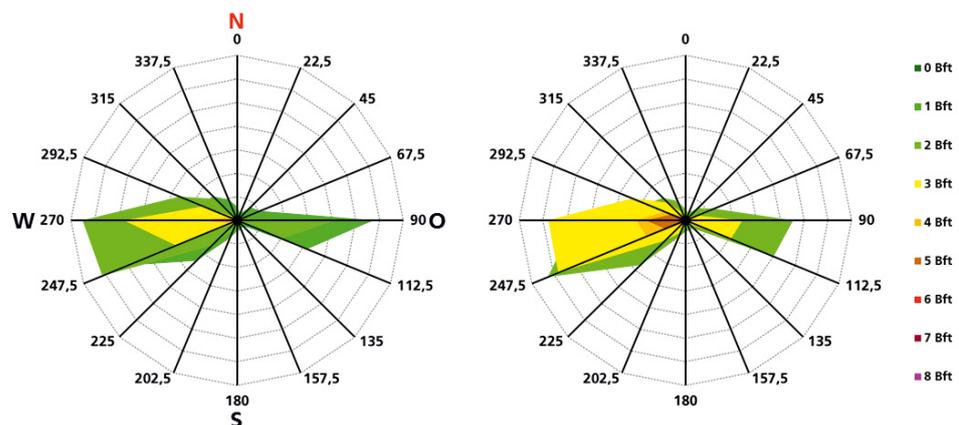


Bild 20:
Vorherrschende Windrichtung am Beispiel des Jahres 2016, mittlere Windgeschwindigkeit (links) und max. Windgeschwindigkeit der Böen (rechts).

Aus der langjährigen Wetterbeobachtung wird deutlich, dass sich waagrecht ausgerichtete schwarze Oberflächen auf bis zu 70 °C erhitzen können. Die höchste Temperatur auf einer waagrechten Oberfläche wurde am 24. Juli 2016 gemessen. Sie betrug 72,9 °C. Die niedrigste Temperatur einer waagrechten schwarzen Oberfläche wurde am 7.1.2017 mit -28,3 °C bestimmt. Auf einer weißen waagrechten Oberfläche wurde eine Maximaltemperatur von 42,2 °C am 22. Juni 2016 erreicht. Die Minimaltemperatur von -27,1 °C wurde am 7.1.2017 erzielt. In Bild 21 sind die Außenlufttemperatur, und die Temperatur der waagrechten schwarzen sowie weißen Fläche graphisch als 10 Minutenwerte dargestellt.

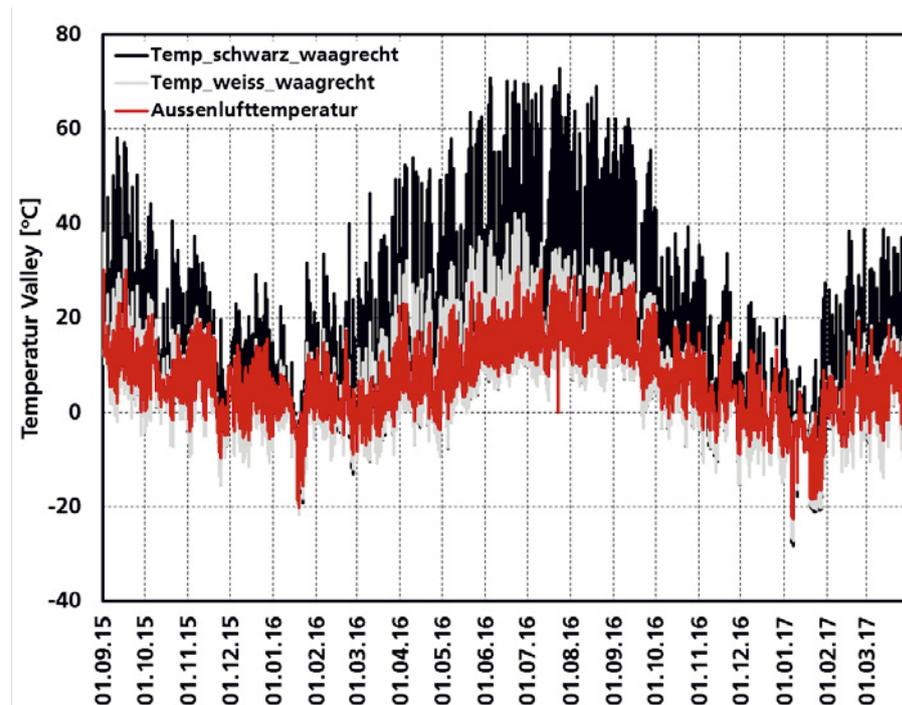


Bild 21:
Verlauf der Außentemperatur und der Temperaturverlauf auf einer schwarzen sowie einer weißen waagrechten Fläche.

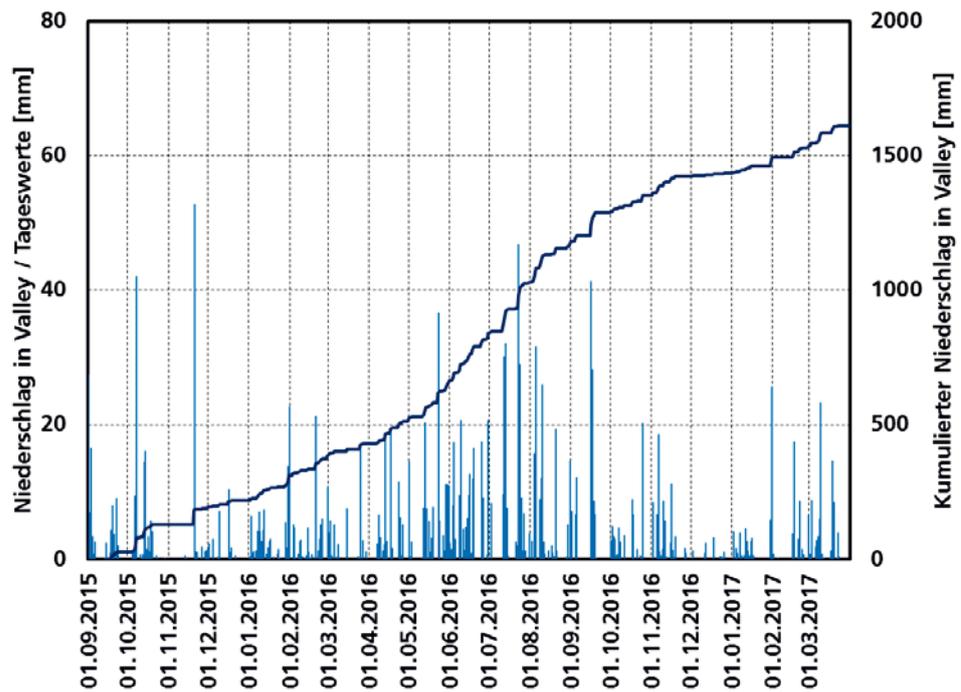


Bild 22:
Niederschläge im Beobachtungszeitraum und der daraus resultierende kumulierte Niederschlag.

5.3.2 Ablaufwasservolumina und Probenahmen

Die Entwicklung der kumulierten Niederschlagsmengen und der kumulierten Ablaufwasservolumina während der Freibewitterung ist in Bild 23 abgebildet. Erwartungsgemäß läuft von den Probekörpern ohne Substrat mehr Wasser ab als von Probekörpern mit Substrat, die ein gewisses Wasserrückhaltevermögen aufweisen. Während des ersten Bewitterungsjahres wurden so bis inklusive 19.9.2016 von ohne weitere Deckschichten ausgeführten Probekörpern 1390 L/m^2 gesammelt, von den Probekörpern mit Substrat 985 L/m^2 . Im gesamten Beobachtungszeitraum ergaben sich bei Probekörpern ohne Substrat 1810 L/m^2 , bei Probekörpern mit Substrat 1298 L/m^2 .

Die kumulierte Ablaufwassermenge von den Probekörpern ohne Substrat liegt dabei über der erfassten kumulierten Niederschlagsmenge des gleichen Zeitraums von 558 Tagen. Dies spiegelt langjährige Erfahrungen beim Vergleich von automatisierter und manueller Messung wider, die zeigen, dass Niederschläge bei tiefen Temperaturen (Schnee) und bei starken Winden (Schlagregen) bei automatisierten Messsystemen zu Unterbefunden von bis zu 10 % gegenüber der manuellen Volumenbestimmung führen können.

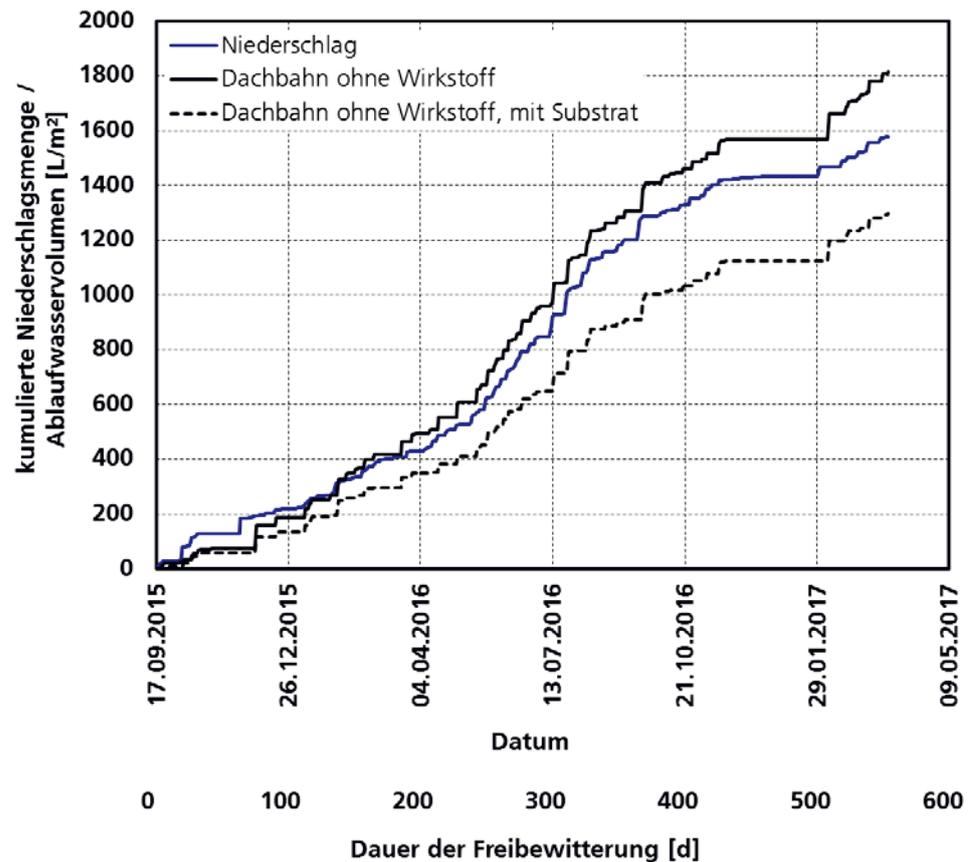


Bild 23:

Zeitliche Entwicklung des Gesamtniederschlags und der kumulierten Ablaufwassermengen von Probekörpern ohne und mit Substratschicht während der Freibewitterung.

Wegen der Speicherkapazität des Substrats weisen die begrünten Probekörper im Vergleich mit den unbegrünten Probekörpern ein erhöhtes Wasser-Rückhaltevermögen auf. Bei geringen Niederschlagsmengen ist es daher möglich, dass bei begrünten Varianten bei einem oder auch bei beiden Probekörpern kein Ablaufwasser asserviert werden konnte. Wenn durch anhaltend feuchte Witterung oder nach der Schneeschmelze das Substrat mit Wasser gesättigt ist, sind die Ablaufwasservolumina von begrünten und unbegrünten Probekörpern jedoch sehr ähnlich. Bei Volumina $> 10,5$ L wurden stattdessen die in den Überlauf-Tonnen aufgezeichneten Volumina für die weiteren Berechnungen herangezogen. Bei Temperaturen um den Gefrierpunkt, bei denen Niederschläge entweder in Form von Schnee vorlagen bzw. bei denen die Ablaufwässer in den Ablaufsystemen und Sammelbehältern Frost-Tauwechseln unterlagen oder bei Frostperioden, in denen die Ablaufsysteme vereist waren (z. B. vom 2.12.2015 bis zum 8.1.2016, am 16.11.2016 und vom 22.11.2016 bis zum 7.2.2017) wurden ablaufende Volumina erfasst (nach dem Auftauen der Proben), aber keine weitere Analytik durchgeführt (s. auch Bild 24).

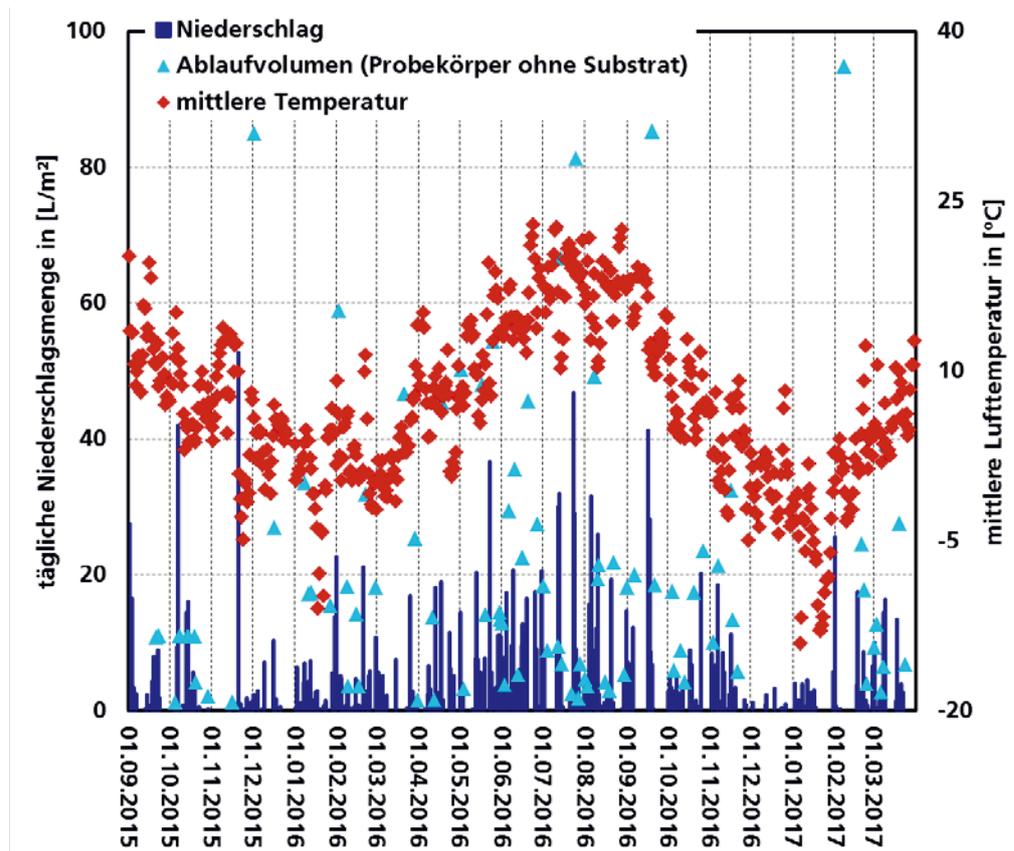


Bild 24: Mittlere Lufttemperaturen, Niederschlagsmengen und Ablaufvolumina (Probekörper ohne Substrat).

5.3.3 Temperaturen am Probekörper

Um Aufschluss über die im Sommer auf die Dachbahnen einwirkenden Temperaturen zu erhalten, wurden stichpunktartig an niederschlagsfreien Tagen Temperatur-Messungen an den Probekörpern mit der wirkstofffreien Referenz-Dachbahn durchgeführt. Die Messungen erfolgten jeweils mittags mit einem Datenlogger „EBI 20-TH“ (Fa. Ebro, Ingolstadt). Gemessen wurde dabei sowohl auf der Unterseite des Probekörpers als auch auf der Oberseite. Im Falle des Probekörpers ohne Substrat wurde die Messung direkt auf der Dachbahn durchgeführt. Bei dem Probekörper mit Substrat wurde dieses punktuell bis auf die „SDF-Matte“ (Schutz, Drän- und Filterschicht) aufgedrückt und dort die Messung vorgenommen.

In der Woche vom 18. bis zum 22. Juli 2016 zeichnete die Wetterstation Temperaturen um 12:00 Uhr mittags von 21,1 °C und 25,3 °C auf. Die Tageshöchsttemperaturen lagen zwischen 25,0 °C und 29,3 °C.

Auf der Unterseite des Probekörpers ohne Substrat wurden in dieser Woche Temperaturen von 29,4 °C bis zu 42,6 °C gemessen. Die Oberseite des Probekörpers, also die Dachbahn, erhitze sich auf bis zu 54 °C (Bild 25). Beide Seiten

des Probekörpers wiesen damit Oberflächen-Temperaturen deutlich oberhalb der Lufttemperaturen auf.

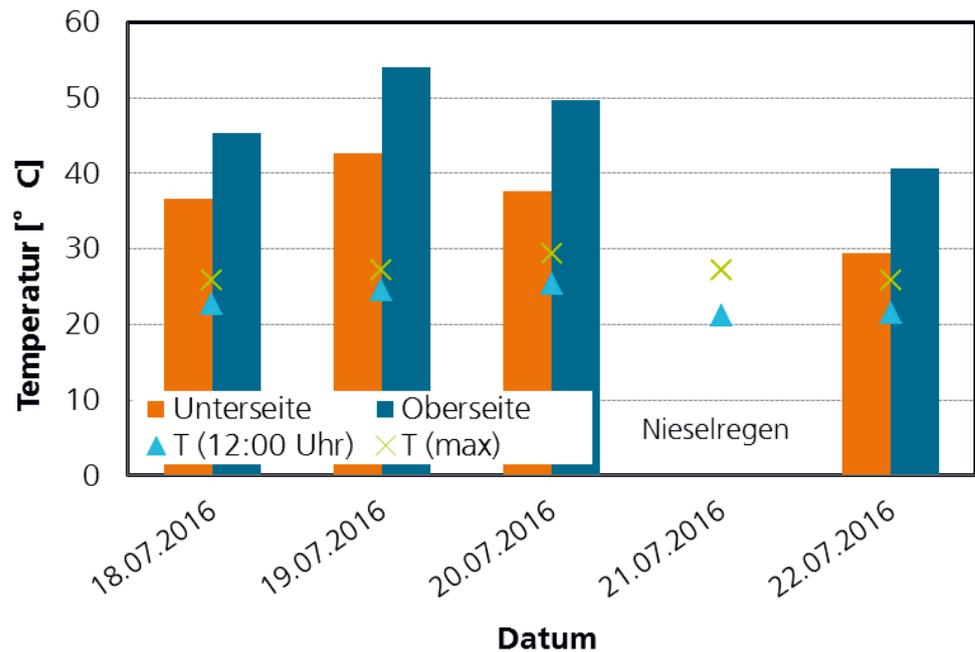


Bild 25:

Temperaturen zur Mittagszeit auf der Unter- und Oberseite des Probekörpers ohne Substrat, sowie die Lufttemperaturen um 12:00 Uhr mittags und die Tageshöchsttemperaturen.

Bei dem Probekörper mit Substrat lagen dagegen die Temperaturen auf der Unterseite zwischen 21,7 °C und 39,9 °C und damit unter denen des Probekörpers ohne Substrat. Auf der „SDF-Matte“ lagen die Temperaturen sogar mit 22 °C bis 30,5 °C sogar noch darunter (Bild 26).

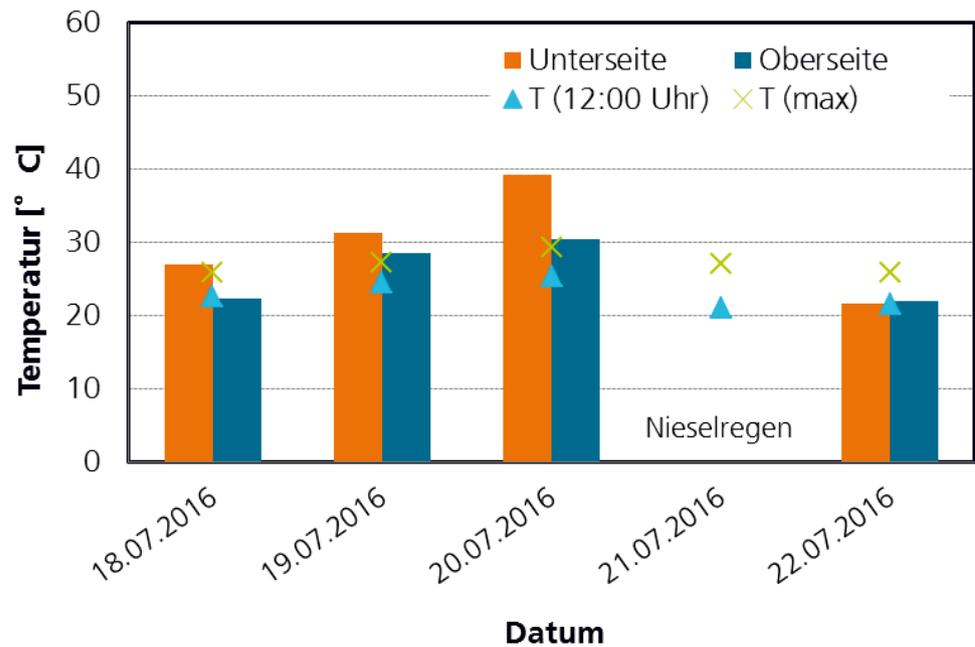


Bild 26:
Temperaturen zur Mittagszeit auf der Unter- und Oberseite des Probekörpers mit Substrat, sowie die Lufttemperaturen um 12:00 Uhr mittags und die Tageshöchsttemperaturen.

5.3.4 Entwicklung der Vegetation

Die Probekörper mit Substrat wurden im September 2015 mit für den sonnigen Bewitterungsstandort geeigneten Mischung aus verschiedenen Sedum-/ Kräutergartenpflanzen bepflanzt (Bild 27 und Bild 28). Die Art der Pflanzen auf den einzelnen Probekörpern war dabei nicht identisch (s. auch Kapitel 5.3.4).



Bild 27:
Probekörper mit Substrat vor der Bepflanzung mit Sedum-/Kraut-Arten im September 2015.



Bild 28:
Probekörper mit Substrat und Bepflanzung Ende September 2015 kurz nach der Fertigstellung.

Über die Wachstumsperiode im Sommer 2016 war eine deutliche Entwicklung der Pflanzen zu beobachten (Bild 29 und Bild 30). Neben den ursprünglich eingesetzten Pflanzen hatten sich auch Ableger der Sedum-Arten auf den Probekörpern angesiedelt. Unkräuter und abgestorbene Pflänzchen (hauptsächlich Kräuterarten) wurden im Juli 2016 von den Probekörpern entfernt.



Bild 29:
Probekörper mit Substrat und Bepflanzung im Juli 2016.



Bild 30:
Gelbblühende Sedum-Art im Juli 2016.

Eine flächendeckende Vegetationsschicht hatte sich bis zum Ende der Freibewitterung noch nicht entwickelt. Eine detaillierte Erfassung der Aufwuchssituation und eine Überprüfung der Durchwurzelung der Substratschichten wurde nicht durchgeführt.

5.3.5 pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten der Ablaufwässer

Die Ablaufwässer der Probekörper zeigten schwankende pH-Werte über den Zeitverlauf (Bild 31). Die pH-Werte der Ablaufwässer von begrünten Probekörpern (im Mittel ca. 8,2) lagen dabei um ca. 2 pH-Stufen über denen der Ablaufwässer von unbegrünten Probekörpern (im Mittel ca. 6,3) (Tabelle 33). Im Vergleich dazu liegen die pH-Werte von „reinem“ Regenwasser ohne Kontakt mit Bauprodukten durchschnittlich bei 5,8.

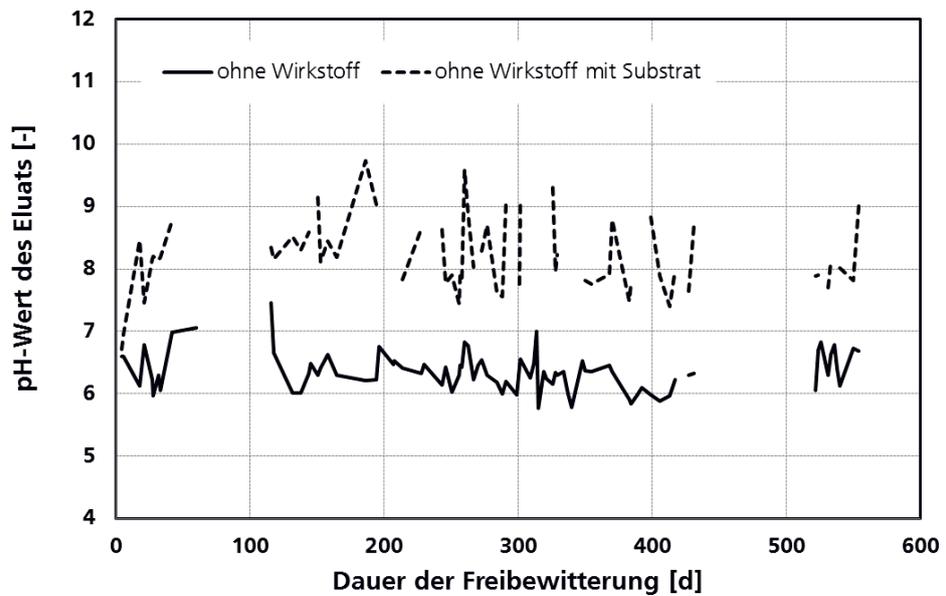


Bild 31:

pH-Werte der Probekörper-Ablaufwässer während der Freibewitterung (exemplarisch: Bitumendachbahnen ohne Wurzelschutz).

Die elektrischen Leitfähigkeiten der Ablaufwässer von den unbegrüntem Probekörpern liegen deutlich unter denen der Ablaufwässer von den begrüntem Probekörpern, jedoch leicht erhöht gegenüber „reinem“ Regenwasser. Bei den begrüntem Probekörpern ist mit zunehmender Bewitterungsdauer ein Absinken der elektrischen Leitfähigkeiten von eingangs über 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf ca. 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu erkennen (Bild 32). Im Vergleich dazu weist Regenwasser ohne Kontakt mit Bauprodukten elektrische Leitfähigkeiten von durchschnittlich ca. 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf.

Tabelle 7:

Minimale, maximale und mittlere pH-Werte der Ablaufwässer der Probekörper im Zeitraum vom 17.9.2015 bis zum 28.3.2017 (Mittelwerte der Doppelbestimmung).

Variante	pH-Wert		
	Min	Max	Mittelwert
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	5,8	7,0	6,4
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	7,2	9,4	8,2
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	5,5	7,0	6,3
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	6,6	9,2	8,1
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	5,7	7,2	6,4
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	7,0	9,5	8,1
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	5,5	7,6	6,4
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	7,1	9,5	8,3
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	5,5	7,5	6,3
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	6,9	9,5	8,2
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	5,9	7,1	6,4
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	6,9	8,5	7,8
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	6,0	6,8	6,4
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	7,0	9,3	8,1
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	5,7	7,2	6,3
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	6,7	9,3	8,1
Dachbahn ohne Wurzelschutz	5,8	7,5	6,4
Dachbahn ohne Wurzelschutz mit Substrat	6,7	9,7	8,2

Mit *: abweichender Beprobungszeitraum vom 3.5.2016 bis 28.3.2017.

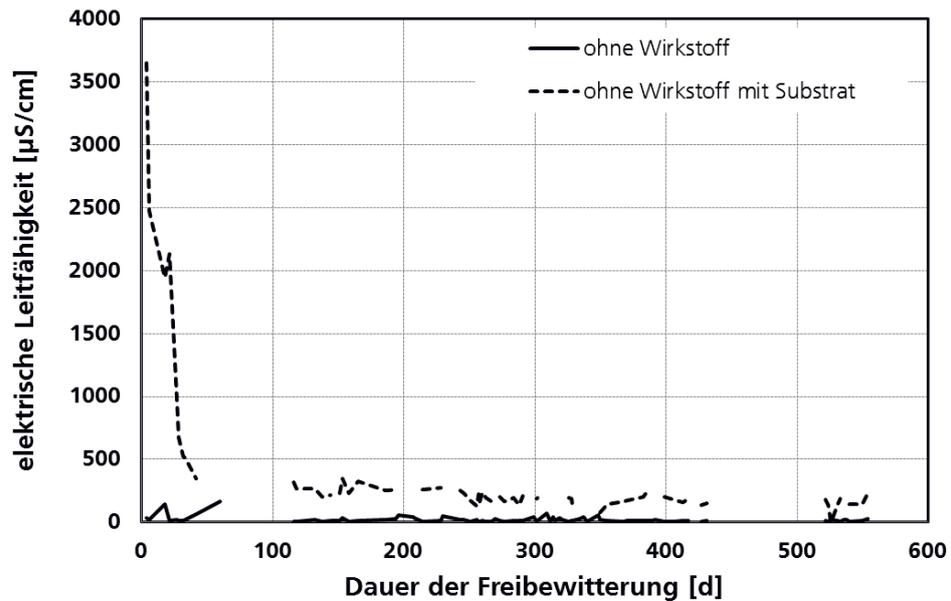


Bild 32:
Elektrische Leitfähigkeiten der Probekörper-Ablaufwässer während der Freibewitterung (exemplarisch: Bitumendachbahnen ohne Wurzelschutz).

5.3.6 Referenzdachbahnen ohne Durchwurzelungsschutz

In den Ablaufwässern der Probekörper mit den radizidfreien Referenzdachbahnen wurden über den kompletten Beobachtungszeitraum hinweg Mecoprop-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze des analytischen Verfahrens gefunden. Bei der direkt der Witterung ausgesetzten Dachbahn lagen die gemessenen Konzentrationen zwischen 1,1 µg/L und 102,6 µg/L, bei der Dachbahn mit Substrat zwischen 1,0 µg/L und 562,8 µg/L (s. hierzu auch Kapitel 4.3.2). Ansonsten wurden v. a. zu Beginn der Versuchslaufzeit relativ hohe Konzentrationen bestimmt (bei gleichzeitig relativ geringen Ablaufwasservolumina). Ab ca. 300 Tagen Freibewitterung (entsprechend Ende Juli/August 2016) stiegen die Mecoprop-Konzentrationen in den Ablaufwässern des ohne weitere Deckschicht ausgeführten Probekörpers kurzzeitig an.

In die Errechnung der flächenbezogenen Austräge fließen die Ablaufwasservolumina, die für Probekörper ohne und mit Substrat weit auseinanderliegen können, und die für die Mecoprop-Freisetzung zur Verfügung stehende Fläche von 1,44 m² (Grundfläche, Seitenflächen, Tropfkante) ein. Auf diese Weise können die Austräge trotz unterschiedlicher Konzentrationen ähnliche Werte aufweisen und umgekehrt (Bild 33 und Tabelle 8).

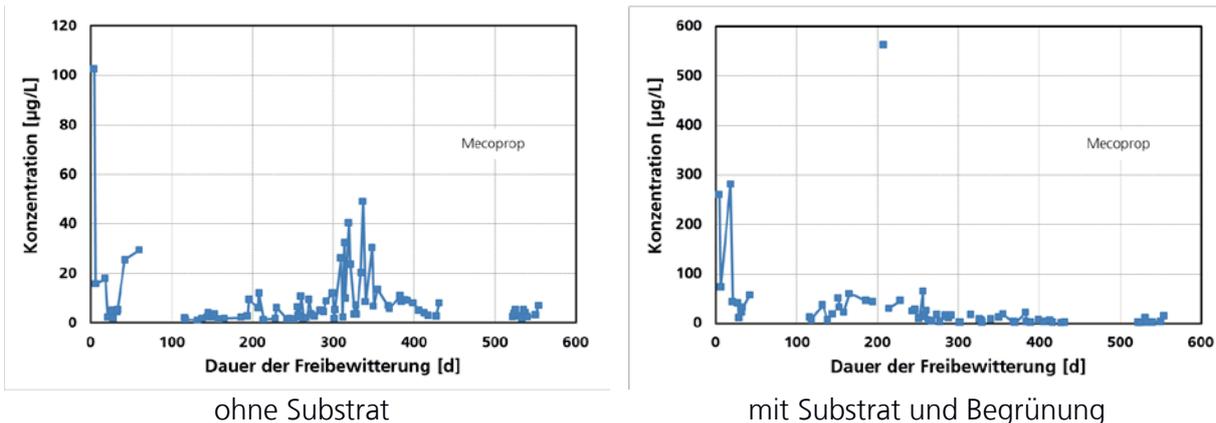


Bild 33:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von wurzelschutzfreien Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Einzelbestimmung).

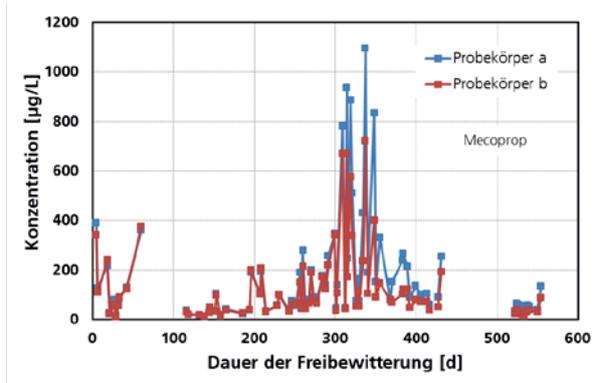
Tabelle 8:
Minimale und maximale Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Ablaufwässern und resultierende flächenbezogene Austräge (Auslaugbare Fläche: 1,44 m²) bei Varianten ohne Wurzelschutz.

Variante		Datum	Konzentration [µg/L]	Zugehöriger Austrag [mg/m ²]
Ohne Wurzelschutz	Min	27.1.2016	1,1	0,01
	Max	21.9.2015	102,6	0,76
Ohne Wurzelschutz mit Substrat	Min	17.11.2016	1,0	0,01
	Max	11.4.2016	562,8	0,61

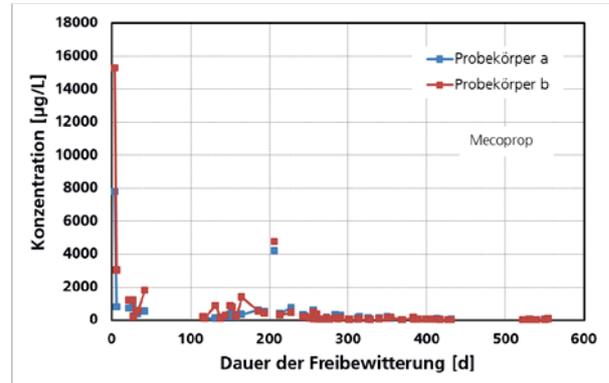
5.3.7 Mecoprop-Polyethylenglykolester

In den Ablaufwässern von Dachbahnen mit Mecoprop-Polyethylenglykolester war über den kompletten Beobachtungszeitraum hinweg Mecoprop bestimmbar. Die gemessenen Konzentrationen in den Ablaufwässern beider Probekörper der Doppelbestimmung sind in Bild 34 grafisch dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind die y-Achsen in Bild 35 für alle vier Varianten (niedrige und hohe Einsatzkonzentration, ohne und mit Substrat) auf einen identischen Wert festgesetzt. Neben der Anfangsphase wiesen die Ablaufwässer der direkt bewitterten Dachbahnen besonders ab ca. 300 Tagen Versuchslaufzeit relativ hohe Mecoprop-Konzentrationen auf. Die Mecoprop-Konzentrationen bei Probekörpern mit Substrat lagen deutlich über denen der „nackt“ ausgeführten Probekörper. Dabei waren die Konzentrationen zu Beginn des Versuchs am höchsten und nahmen mit der Zeit ab. Es wird zudem erkennbar, dass häufig die Ablaufwässer eines bestimmten Probekörpers des für die Doppelbestimmung herangezogenen Probekörperpaares bei quasi gleichem Volumen höhere Mecoprop-Konzentrationen aufweisen als die des anderen Probekörpers (s. auch Kapitel 6.3.1).

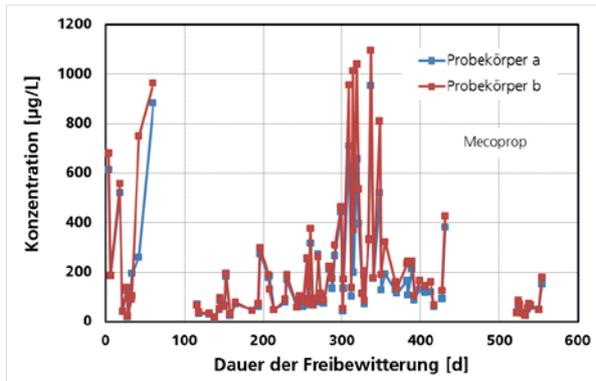
Die bei Einsatz des Mecoprop-Polyethylenglykolesters ermittelten Minimal- und Maximal-Konzentrationen und die zugehörigen flächenbezogenen Austräge sind in Tabelle 9 zusammengestellt.



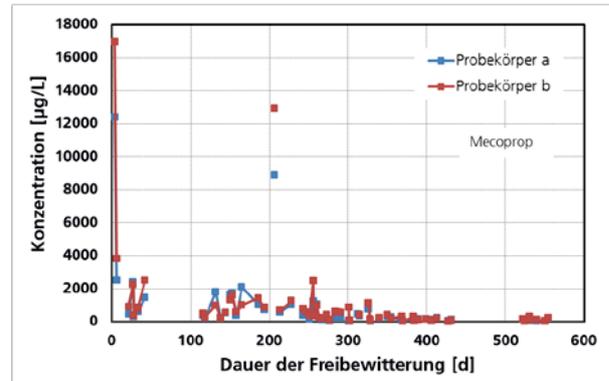
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester



0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester, mit Substrat und Begrünung

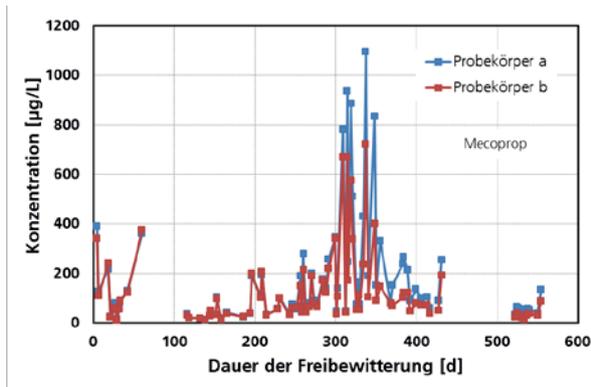


0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester

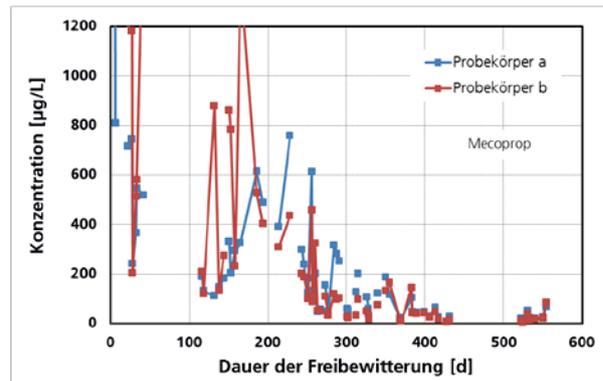


0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester, mit Substrat und Begrünung

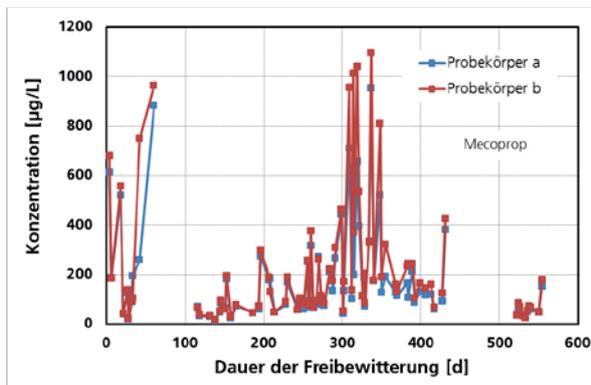
Bild 34:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-Polyethylenglykolester ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung).



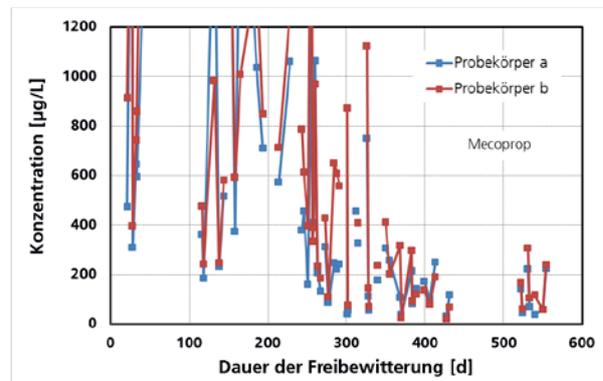
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester



0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester,
mit Substrat und Begrünung



0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester



0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester,
mit Substrat und Begrünung

Bild 35:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-Polyethylenglykolester ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung). Skalierung der y-Achse bis max. 1200 µg/L.

Tabelle 9:

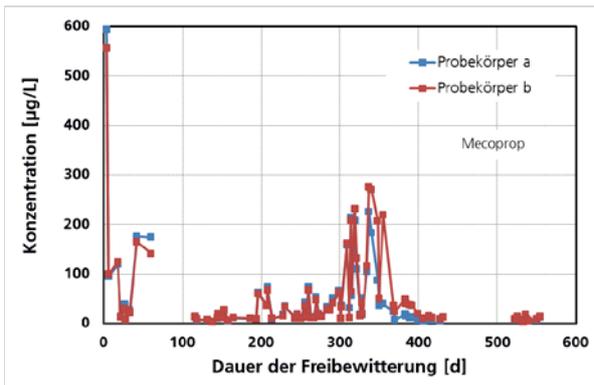
Minimale und maximale Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Ablaufwässern der einzelnen Probekörper der Doppelbestimmung (PK 1 und PK2) und resultierende flächenbezogene Austräge (Auslaugbare Fläche: 1,44 m²) bei Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester.

Variante		Datum	Konzentration [µg/L]		Zugehöriger Austrag [mg/m ²]	
			PK1	PK2	PK1	PK2
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	Min	2.2.2016 (PK1) 15.10.2015 (PK2)	11,0	11,5	0,45	0,09
	Max	19.8.2016	1.096,8	722,6	2,30	1,48
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	Min	17.11.2016 (PK1) 22.2.2017 (PK2)	7,5	6,7	0,07	0,06
	Max	21.9.2015	7.770,7	15.285,6	13,27	18,47
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	Min	2.2.2016	15,6	16,9	0,64	0,69
	Max	19.8.2016	954,0	1096,7	1,91	2,16
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	Min	17.11.2016	29,1	20,1	0,29	0,20
	Max	21.9.2015	12.396,4	16.973,5	14,29	22,16

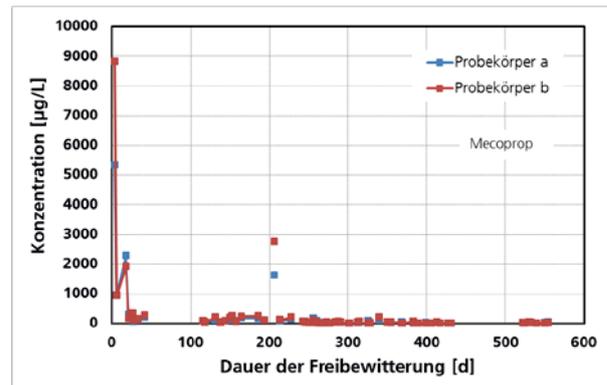
5.3.8 Mecoprop-P-n-octylester

Auch in den Ablaufwässern von Dachbahnen mit Mecoprop-P-n-octylester war über den kompletten Beobachtungszeitraum hinweg Mecoprop bestimmbar. Die gemessenen Konzentrationen in den Ablaufwässern beider Probekörper der Doppelbestimmung sind in Bild 36 grafisch dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind die y-Achsen in Bild 37 für alle vier Varianten auf einen identischen Wert festgesetzt. Neben der Anfangsphase wiesen die Ablaufwässer der direkt bewitterten Dachbahnen besonders ab ca. 300 Tagen Versuchslaufzeit relativ hohe Mecoprop-Konzentrationen auf. Die Mecoprop-Konzentrationen bei Probekörpern mit Substrat lagen deutlich über denen der „nackt“ ausgeführten Probekörper. Dabei waren die Konzentrationen zu Beginn des Versuchs am höchsten und nahmen mit der Zeit ab.

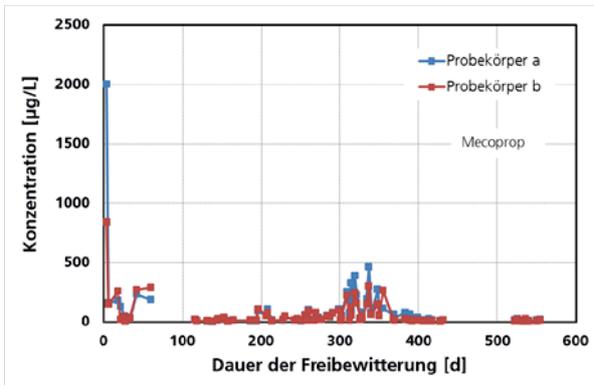
Die ermittelten Minimal- und Maximal-Konzentrationen und die zugehörigen flächenbezogenen Austräge sind in Tabelle 10 zusammengestellt.



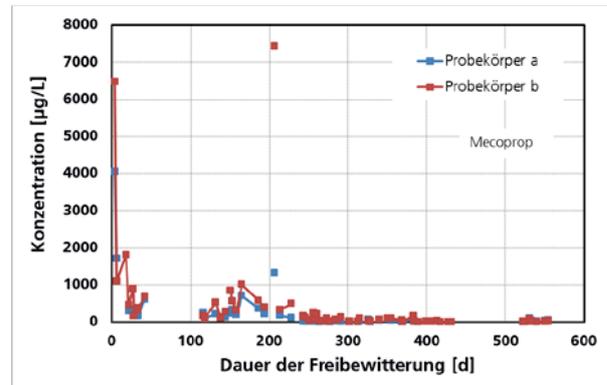
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester



0,25 % Mecoprop-P-n-octylester,
mit Substrat und Begrünung

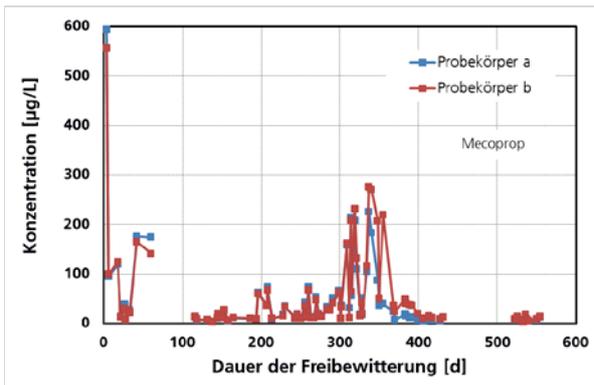


0,4 % Mecoprop-P-n-octylester

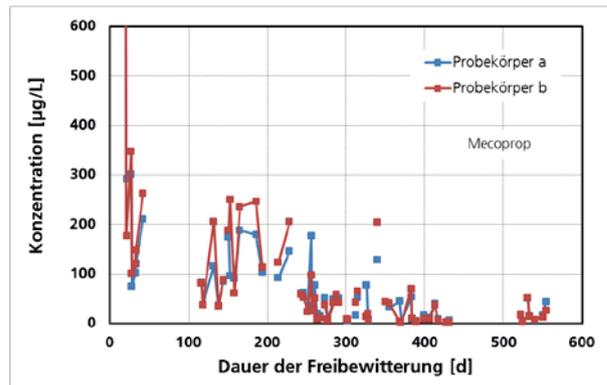


0,4 % Mecoprop-P-n-octylester,
mit Substrat und Begrünung

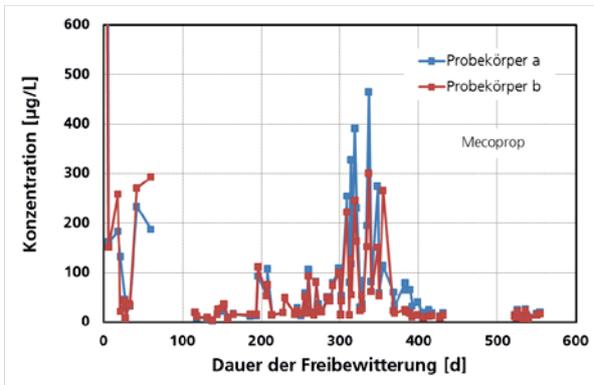
Bild 36:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-n-octylester ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung).



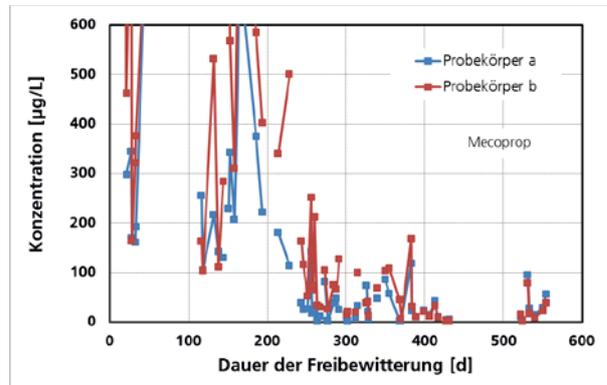
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester



0,25 % Mecoprop-P-n-octylester,
mit Substrat und Begrünung



0,4 % Mecoprop-P-n-octylester



0,4 % Mecoprop-P-n-octylester,
mit Substrat und Begrünung

Bild 37:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-n-octylester ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung). Skalierung der y-Achse bis max. 600 µg/L.

Tabelle 10:
 Minimale und maximale Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Ablaufwässern der einzelnen Probekörper der Doppelbestimmung (PK 1 und PK2) und resultierende flächenbezogene Austräge (Auslaugbare Fläche: 1,44 m²) bei Varianten mit Mecoprop-P-n-octylester.

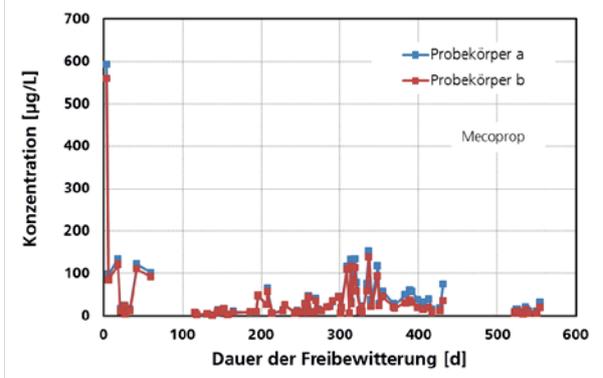
Variante		Datum	Konzentration [µg/L]		Zugehöriger Austrag [mg/m ²]	
			PK1	PK2	PK1	PK2
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	Min	2.2.2016	3,9	4,4	0,16	0,18
	Max	21.9.2015	594,5	557,0	4,52	4,22
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	Min	17.11.2016	2,8	2,3	0,03	0,02
	Max	21.9.2015	5.338,6	8.827,7	7,19	8,58
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	Min	2.2.2016	3,3	4,3	0,14	0,18
	Max	21.9.2015	2.001,8	839,4	6,48	6,53
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	Min	21.9.2016 (PK1) 17.11.2016 (PK2)	2,3	2,1	0,03	0,02
	Max	21.9.2015 (PK1) 11.4.2016 (PK2)	4.050,6	7.445,8	3,49	9,10

5.3.9 Mecoprop-P-2-ethylhexylester

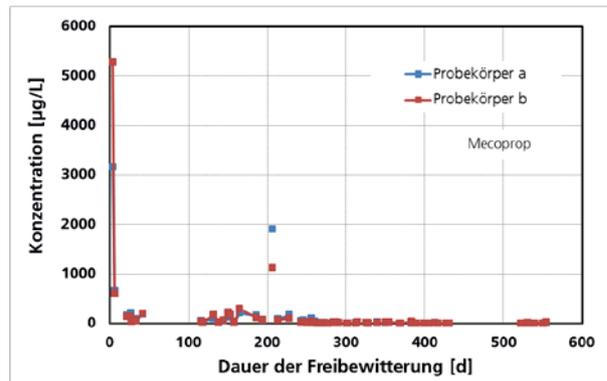
Der Mecoprop-P-2-ethylhexylester kam in Form zweier unterschiedlicher Wurzelschutzprodukte zum Einsatz (Produkt 1 und Produkt 2). Bei Produkt 2 des Wurzelschutzmittels startete die Freibewitterung der Probekörper mit 0,25 % zeitversetzt im Mai 2016.

In den Ablaufwässern von Probekörpern mit diesem Ester war ebenfalls über den kompletten Beobachtungszeitraum hinweg Mecoprop bestimmbar. Die gemessenen Konzentrationen in den Ablaufwässern beider Probekörper der Doppelbestimmung sind in Bild 38 für Produkt 1 und in Bild 40 für Produkt 2 grafisch dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind die y-Achsen für Produkt 1 in Bild 39 und für Produkt 2 in Bild 41 auf einen identischen Wert festgesetzt. Maximale Konzentrationen wurden jeweils bei den frisch aufgebauten Probekörpern festgestellt. In den Sommermonaten Juli und August 2016 wiesen auch die Ablaufwässer der Bitumenbahnen relativ hohe Mecoprop-Konzentrationen auf. Die Mecoprop-Konzentrationen bei Probekörpern mit Substrat lagen vor allem zu Beginn der Freibewitterung deutlich über denen der „nackt“ ausgeführten Probekörper. Die Konzentrationen nahmen bei den Probekörpern mit Substrat mit der Zeit ab.

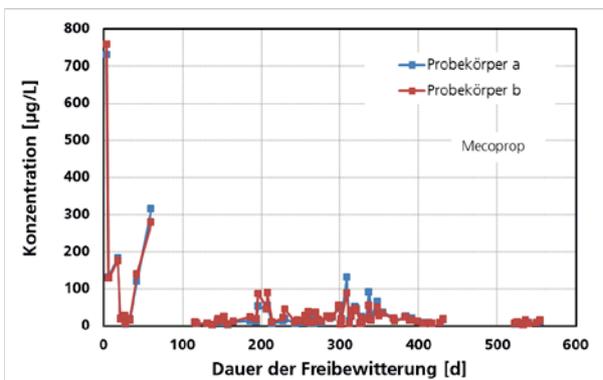
Die ermittelten Minimal- und Maximal-Konzentrationen der einzelnen Probekörper und die zugehörigen flächenbezogenen Austräge sind in Tabelle 11 zusammengestellt.



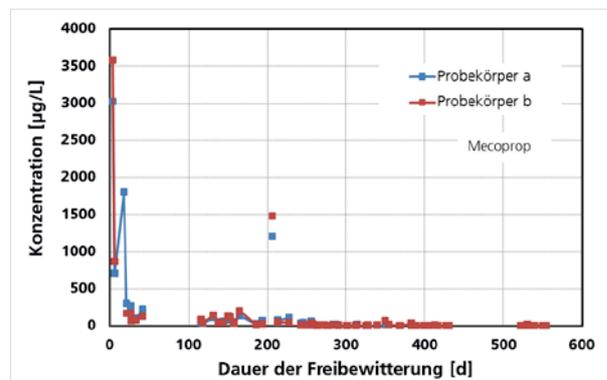
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1)



0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1),
mit Substrat und Begrünung

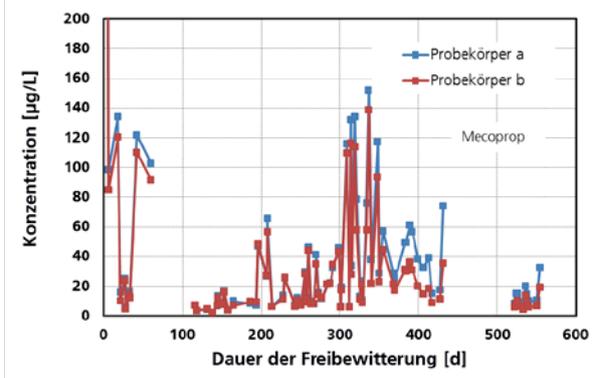


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1)

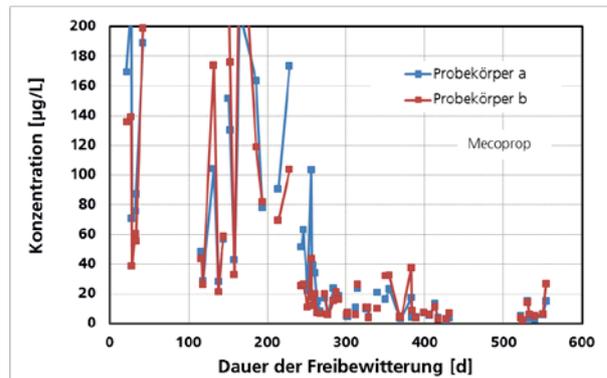


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1),
mit Substrat und Begrünung

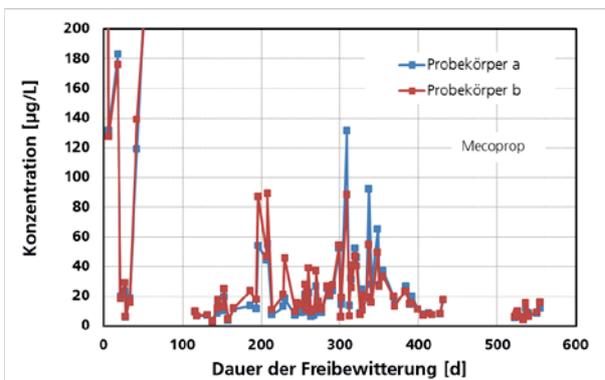
Bild 38:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung).



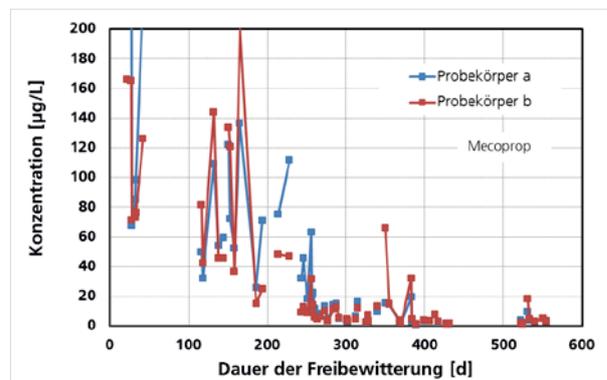
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1)



0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1),
mit Substrat und Begrünung

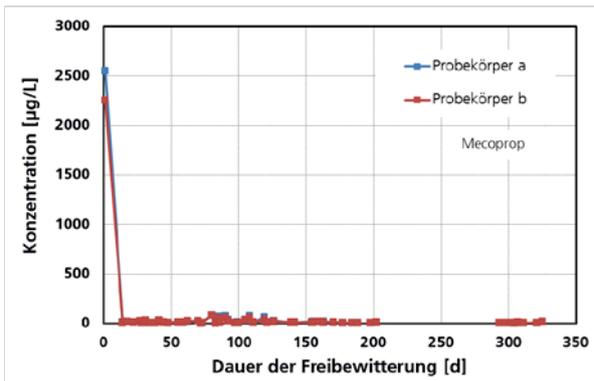


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1)

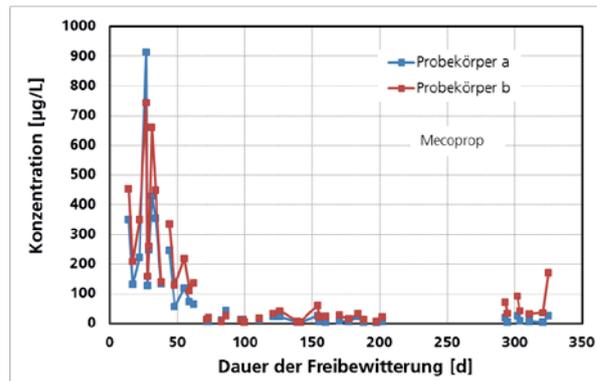


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 1),
mit Substrat und Begrünung

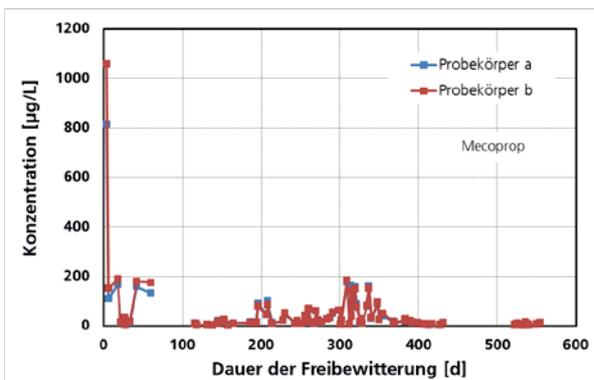
Bild 39:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten Freibewitterung (Doppelbestimmung). Skalierung der y-Achse bis max. 200 µg/L.



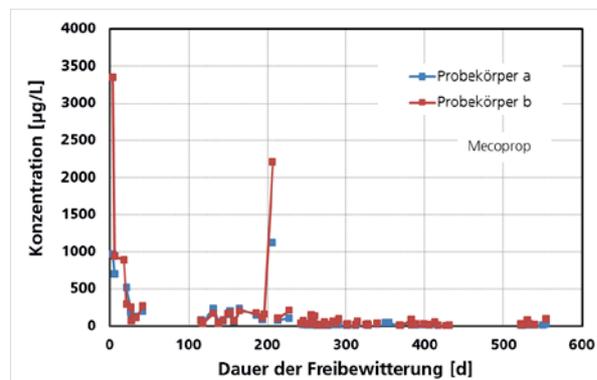
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2)



0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2),
mit Substrat und Begrünung

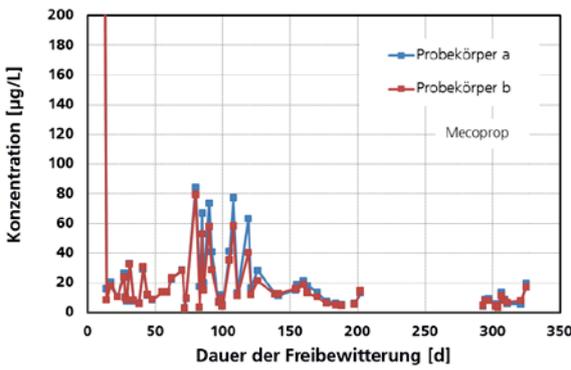


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2)

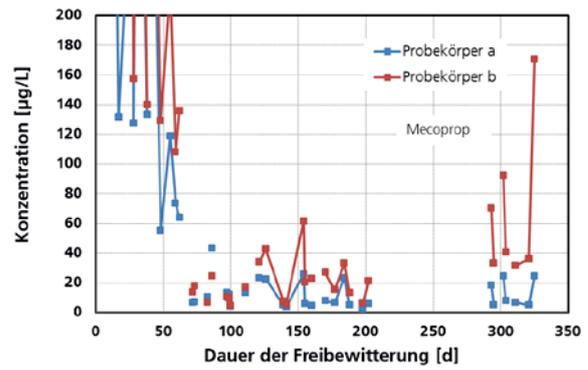


0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2),
mit Substrat und Begrünung

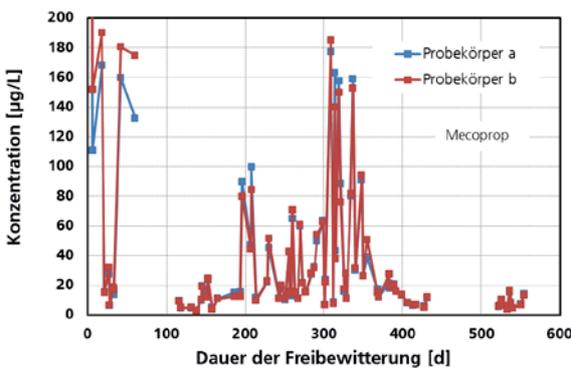
Bild 40:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten (Ester-Ausgangskonzentration 0,4 %) und 11 Monaten (0,25 %) Freibewitterung (Doppelbestimmung).



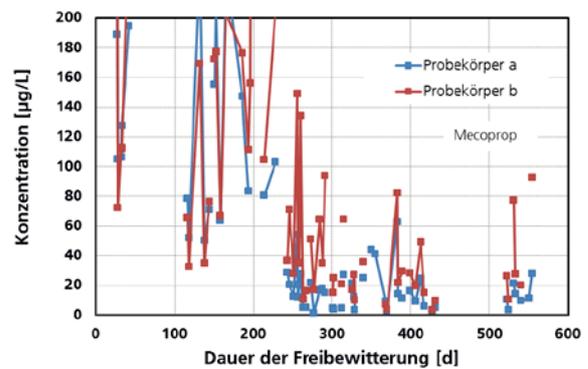
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2)



0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2),
mit Substrat und Begrünung



0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2)



0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester
(Produkt 2),
mit Substrat und Begrünung

Bild 41:
Mecoprop-Konzentrationen in den Probekörper-Ablaufwässern von mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) ausgerüsteten Dachbahnen innerhalb von 18 Monaten (Ester-Ausgangskonzentration 0,4 %) und 11 Monaten (0,25 %) Freibewitterung (Doppelbestimmung). Skalierung der y-Achse bis max. 200 µg/L.

Tabelle 11:
 Minimale und maximale Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Ablaufwässern der einzelnen Probekörper der Doppelbestimmung (PK 1 und PK2) und resultierende flächenbezogene Austräge (Auslaugbare Fläche: 1,44 m²) bei Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester.

Variante		Datum	Konzentration [µg/L]		Zugehöriger Austrag [mg/m ²]	
			PK1	PK2	PK1	PK2
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	Min	2.2.2016	2,3	2,1	0,09	0,09
	Max	21.9.2015	593,4	559,9	4,48	4,42
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	Min	17.11.2016 (PK1) 22.2.2017 (PK2)	2,0	2,3	0,02	0,02
	Max	21.9.2015	3.169,4	5.280,1	6,69	9,02
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	Min	2.2.2016	3,2	3,1	0,13	0,13
	Max	21.9.2015	730,5	759,1	5,37	5,59
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	Min	10.10.2016 (PK1) 22.2.2017 (PK2)	1,1	1,2	0,01	0,01
	Max	21.9.2015	3.018,5	3576,3	5,87	7,25
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	Min	14.7.2016	3,0*	2,6*	0,14	0,12
	Max	4.5.2016	2.555,0*	2.255,2*	4,58	4,32
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	Min	17.11.2016 (PK1) 11.8.2016 (PK2)	2,5*	4,5*	0,02	0,08
	Max	30.5.2016	912,4*	742,1*	2,60	2,05
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	Min	2.2.2016	3,1	2,9	0,13	0,12
	Max	21.9.2015	815,4	1.059,2	6,25	7,99
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	Min	20.6.2016 (PK1) 17.11.2017 (PK2)	1,4	3,5	0,04	0,03
	Max	11.4.2016 (PK1) 21.9.2015 (PK2)	1.123,5	3.350,0	0,75	8,05

Mit *: abweichender Beprobungszeitraum vom 3.5.2016 bis 28.3.2017.

5.4 Ergänzende Untersuchungen

5.4.1 Bestimmung der TOC-Konzentration in den Eluaten

Ab dem Kalenderjahr 2016 wurden zusätzlich für die wirkstofffreien Referenzvarianten die TOC-Konzentrationen in den Eluaten ermittelt. Bei dem mit Substrat ausgeführten Probekörper wurden stark schwankende TOC-Konzentrationen zwischen 10 mg/L und 35 mg/L in den Ablaufwässern festgestellt. Bei den Probekörpern ohne Substrat lagen die TOC-Konzentrationen der Ablaufwässer überwiegend darunter. Allerdings wurde in den Sommermonaten, d. h. bei erhöhten Temperaturen, bei einer Dauer der Freibewitterung zwischen ca. 300 und 350 Tagen, ein Anstieg der TOC-Konzentrationen bis auf 43 mg/L beobachtet (Bild 42).

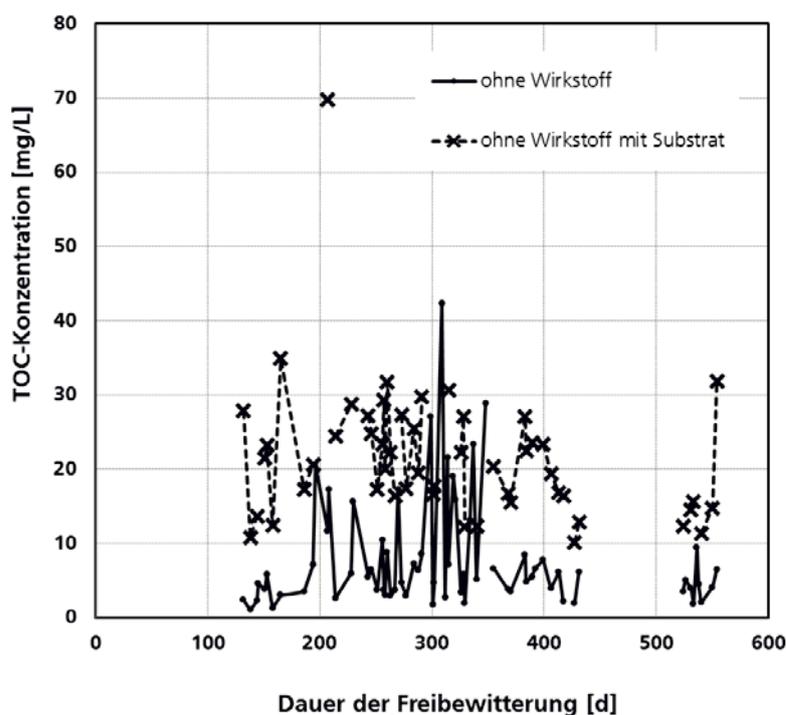


Bild 42:
TOC-Konzentrationen der Probekörper-Ablaufwässer während der Freibewitterung (exemplarisch: Bitumendachbahnen ohne Wurzelschutz).

5.4.2 Bestimmung von Mecoprop-Estern in den Eluaten

Der Fokus des Forschungsvorhabens lag auf der Bestimmung von Mecoprop in den Eluaten der Laborversuche bzw. in den Ablaufwässern der Freiland-Probekörper. Die Analyse von Mecoprop erfolgte mittels LC-MS/MS (Ultrahochleistungsflüssigchromatografie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie) im ESI-Modus [DIN 38407-35]. Die Detektion der Mecoprop-Ester ist bauartbedingt durch die Z-Spray-Geometrie der Ionenquelle des verwendeten Massenspektrometers (Xevo TQS der Firma Waters GmbH, Eschborn) nicht möglich.

Die Mecoprop-Ester können jedoch mittels GC-MS (Gaschromatografie gekoppelt mit Massenspektrometrie) nach Festphasenextraktion erfasst werden. Bei der Festphasenextraktion (SPE) werden die verschiedenen MCPP-Ester an der Festphase angereichert und anschließend in die organische Phase überführt. Orientierende Versuche mit Eluaten aus Dachbahnen (1 h Tauchen, Volumen/Oberflächen-Verhältnis = 25 L/m²), die unmittelbar nach dem Tauchvorgang bzw. nach 4 Stunden der Festphasenextraktion unterzogen wurden zeigten, dass die Festphasenextraktion auch ohne Matrixbelastung, wie sie in Eluaten aus der Freibewitterung üblich ist, unterschiedlich lange dauern kann (zwischen zwei und vier Stunden).

Während die Standzeiten der Eluate bei den Laborversuchen zumindest innerhalb der Versuchsreihen reproduzierbar sind, schwanken diese im Freiland wegen unterschiedlicher Zeitpunkte und Dauer von Regenereignissen stark. Zusätzlich unterliegen die Eluate im Freiland auch noch nicht reproduzierbaren Temperaturschwankungen. Bei der Vielzahl der Varianten im Forschungsvorhaben ist der Aufwand gemessen an den nach den Orientierungsversuchen und den berichteten Halbwertszeiten der Mecoprop-Ester zu erwartenden unsicheren Ergebnissen unverhältnismäßig hoch.

5.4.3 Das Abbauprodukt 4-Chlor-2-methylphenol (CMP)

Ein unmittelbarer Metabolit des Mecoprops ist das 4-Chlor-2-methylphenol (CMP), CAS-Nr. 1570-64-5 (auch 4-Chlor-o-Kresol) [Frkova 2016, Paszko 2016]. [Burkhardt 2009] berichtet mit der Zeit abnehmende CMP-Konzentrationen in den Eluaten aus Laboruntersuchungen. Die Messung erfolgte nach Festphasenextraktion mittels HPLC-UV. Die Bestimmungsgrenze lag bei 2 µg/L. Maximale Konzentrationen traten zu Beginn der Untersuchungen auf und lagen zwischen ca. 2 µg/L und 3 µg/L (bei Einsatz von Mecoprop-P-2-ethylhexylester) und zwischen 8 µg/L und ca. 30 µg/L (bei Einsatz von Mecoprop-Polyethylenglykol-ester). Die geprüften Dachbahnen sind allerdings nicht mit den im vorliegenden Forschungsvorhaben untersuchten Dachbahnen vergleichbar. Einsatzkonzentrationen, Schichtdicken etc. sind unterschiedlich. Das Versuchskonzept weicht ebenfalls von dem hier angewandten ab.

Mittels UPLC-MS/MS ist eine Analytik von CMP grundsätzlich durchführbar (analytische Rahmenbedingungen s. Kapitel 4.2, ESI-Modus, m/z (Precursor-Ion) = 141, m/z (Precursor-Ion 2) = 143, m/z (Produkt-Ion) = 105,2). Bei Anwesenheit von Mecoprop in der Probe entsteht – mit anderer Retentionszeit - in der Kollisionszelle ebenfalls CMP als Fragment-Ion mit identischem Produkt-Ion. Die Intensität des auf diese Weise erzeugten Signals ist bei den vorliegenden Mecoprop-Konzentrationen so hoch, dass die Auswertung des direkt durch CMP hervorgerufenen Signals trotz anderer Retentionszeit nicht mehr möglich ist.

5.4.4 pH-Wert-Änderung von Eluaten

Durch die stichprobenartige Behandlung von Freiland-Eluaten mit Kaliumhydroxidlösung in Anlehnung an [Burkhardt 2009] wurden die pH-Werte der Eluate auf Werte von ca. 12 angehoben. Sie liegen damit um 2 pH-Stufen höher als bei der von Bucheli [Bucheli 1998b] beschriebenen Vorgehensweise. Die Mecoprop-Konzentrationen unbehandelter und mit KOH behandelter Eluate liegen in der gleichen Größenordnung (Tabelle 12 a). Mit KOH behandelte Eluate wiesen dabei tendenziell erhöhte Mecoprop-Konzentrationen auf. Grundsätzlich scheinen aber auch die ohne KOH-Behandlung in den Eluaten vorliegenden pH-Werte auszureichen, um das Gleichgewicht überwiegend auf die Seite von Mecoprop zu verschieben. Mit der Zeit nehmen sowohl ohne als auch mit KOH-Behandlung und somit pH-Wert-unabhängig die Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten zu (innerhalb einer Woche um ca. 10 %), was darauf hindeutet, dass auch mit unmittelbarer KOH-Behandlung die Hydrolyse noch nicht vollständig abgeschlossen ist.

Zusätzliche Aliquote der Eluate wurden mit Acticide MBS (Fa. Thor GmbH, Speyer) versetzt. Die pH-Werte dieser Proben lagen bei Werten um ca. 7,7. Die Mecoprop-Konzentrationen wiederum sind vergleichbar mit denen der unbehandelten und denen der mit KOH versetzten Proben (Tabelle 12 a). Auch die gleiche zeitliche Entwicklung ist erkennbar.

Tabelle 12 a:

Mecopropkonzentrationen der Eluate von Probekörpern aus dem Freiland (hier exemplarisch das Regenereignis vom 17. 11. 2016) ohne und mit Zugabe von KOH zu unterschiedlichen Analysezeitpunkten. Die Probenvorbereitung und die KOH-Zugabe erfolgten unmittelbar nach der Probenahme. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung und die Abweichung der Einzelkonzentrationen vom Mittelwert.

Variante	Zeitpunkt der Analytik [d]	Pur			0,5 V.-% 5 M KOH			0,4 V.-% Acticide NBS		
		0	1	7	0	1	7	0	1	7
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	109,4	110,8	122,4	112,7	112,9	124,7	109,4	110,1	122,3
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 14,7$	$\pm 14,8$	$\pm 18,5$	$\pm 15,5$	$\pm 15,2$	$\pm 18,1$	$\pm 15,9$	$\pm 16,4$	$\pm 19,5$
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	23,8	24,5	29,1	26,3	26,8	30,5	24,6	25,3	29,7
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 4,2$	$\pm 4,0$	$\pm 4,9$	$\pm 3,9$	$\pm 4,0$	$\pm 4,2$	$\pm 4,5$	$\pm 4,4$	$\pm 4,4$
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	9,8	9,8	11,4	10,2	10	11,9	10,0	10,0	11,5
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 1,6$	$\pm 1,8$	$\pm 2,2$	$\pm 1,6$	$\pm 1,6$	$\pm 1,6$	$\pm 1,7$	$\pm 2,0$	$\pm 1,9$
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	3,1	3,2	3,6	3,4	3,4	3,9	2,9	2,8	3,6
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	7,9	8,0	9,1	8,3	8,6	9,5	8,2	7,9	9,5
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	± 0	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	mittlere Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	1,5	1,6	2,2	1,7	1,9	2,3	1,7	1,7	2,2
	Abweichung [$\mu\text{g/L}$]	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,0$
Ohne Wurzelschutz	Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	2,7	2,6	3,4	2,7	2,8	3,4	2,8	2,9	3,3
	Mecoprop-Konzentration [$\mu\text{g/L}$]	1,1	1,1	1,4	0,8	1,1	1,4	1,0	0,9	1,6

mit *: Einzelwert.

6 Diskussion

6.1 Laborversuche

Beim intermittierenden Tauchen nach **DIN EN 16105** wurden vor jedem Immersionszyklus die Massen der Probekörper bestimmt. Die Massenänderungen bewegten sich dabei im Bereich von $\pm 0,1$ % bezogen auf die Ausgangsmasse der Dachbahnen (Probekörper abzüglich Substrat). Überwiegend wurden Massenabnahmen festgestellt. Ursache hierfür kann das Abfallen von Schieferpartikeln von der Oberfläche sein, das im Labor beobachtet wurde. Eine Massenzunahme über den Versuchszeitraum hinweg, die auf eine Wasseraufnahme durch die Dachbahnen hindeutet, kann aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Die Norm schreibt einerseits keine Feststellung der Probekörpermasse nach den Immersionszyklen vor. Andererseits sind die Probekörper während eines Immersionszyklus auch nur relativ kurzen Tauchintervallen von zweimal je einer Stunde ausgesetzt. Zudem liegen zwischen den Tauchintervallen Trocknungsphasen, während denen eventuell aufgenommenes Wasser wieder an die Umgebung abgegeben werden kann.

Während sich die pH-Werte der Eluate über den Versuchszeitraum hinweg nicht änderten, zeigte sich mit der Zeit eine Abnahme der elektrischen Leitfähigkeiten der Eluate. Ursache hierfür ist wahrscheinlich das Abwaschen von Rückständen aus dem Produktionsprozess von der Oberfläche während der ersten Immersionszyklen. Eine Abhängigkeit vom eingesetzten Wurzelschutzmittel besteht nicht.

Die Mecoprop-Konzentrationen (Racemat, CAS 7085-19-0) in den Eluaten nahmen über den Versuch hinweg kontinuierlich ab. Hohe Einsatzkonzentrationen der Mecoprop-Ester führten vor allen bei den ersten Probenahmen zu höheren Konzentrationen im Eluat als die niedrigen Einsatzkonzentrationen. Im Zeitverlauf näherten sich die Konzentrationen im Eluat bei beiden Einsatzkonzentrationen an. Von der Größenordnung her waren keine Unterschiede zwischen den Estern erkennbar. Dies spiegelt sich auch in den kumulierten Austrägen wider, die meist sehr ähnlich sind (s. auch Tabelle 13). Beim Mecoprop-P-2-ethylhexylester unterschieden sich die beiden Produkte v. a. bei den Anfangskonzentrationen, was sich auf den Gesamtaustrag auswirkt (s. auch Bild 11). Ansonsten lagen vergleichbare Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten vor.

Die pH-Werte der Eluate des Langzeittauchversuchs nach **DIN CEN/TS 16637-2** lagen in den ersten drei Eluaten des Versuchs etwas höher als beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105. Die Zugabe von Acticide MBS ab dem 4. Versuchszyklus des Langzeittauchversuchs bewirkte eine leichte Zunahme der pH-Werte und eine deutliche Zunahme der elektrischen Leitfähigkeiten der Eluate. Zwischen den einzelnen Varianten waren kaum Unterschiede zu beobachten. Sowohl die pH-Werte als auch die elektrischen Leitfähigkeiten der Dachbahn-Eluate lagen jedoch höher als diejenigen der mitgeführten Blindprobe (s. auch Bild 12 und Bild 13).

Die unterschiedlichen Mecoprop-Ester führten nicht nur zu unterschiedlichen Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten, sondern auch zu unterschiedlichen Entwicklungen der Mecoprop-Konzentrationen über die Zeit. So zeigte sich beim **Mecoprop-Polyethylenglykolester** eine kontinuierliche Zunahme der Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten im Versuchsverlauf. Erst ab der 6. Probenahme traten dabei deutliche Unterschiede zwischen hoher und niedriger Einsatzkonzentration auf (s. auch Bild 14). Eine mögliche Ursache für den Konzentrationsanstieg kann z. B. ein Quellen der Bitumenmatrix bei permanentem Wasserkontakt sein. Dies begünstigt die Freisetzung des mit 110 mg/L [SDB 2012] gut wasserlöslichen Esters in die wässrige Phase. Die Bestimmung der Wasseraufnahme der Probekörper zwischen den Probenahmen, die Hinweise auf ein mögliches Quellen geben würde, ist jedoch nicht Gegenstand der Norm und wurde daher im Rahmen des Versuchs nicht durchgeführt.

Bei den Dachbahnen mit den wesentlich schwerer wasserlöslichen Verbindungen (Wasserlöslichkeit < 0,1 mg/L) **Mecoprop-P-n-octylester** und **-2-ethylhexylester** nahmen die Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten mit der Zeit grundsätzlich ab. Teilweise nahmen ab der 5. Probenahme die Konzentrationen wieder leicht zu. Die unterschiedlichen Einsatzkonzentrationen waren hier vor allem bei den ersten Probenahmen anhand der Konzentrationen in den Eluaten zu erkennen, fielen aber im weiteren Versuchsverlauf nicht mehr so stark ins Gewicht (s. auch Bild 15 und Bild 16).

Bei **beiden Laborversuchen** wurde Mecoprop in den Eluaten der wirkstofffreien Variante nachgewiesen. In den jeweils mitgeführten Blindproben war dies nicht der Fall. Daher können eine Kontamination von Probengefäßen oder Verunreinigungen innerhalb des analytischen Systems ausgeschlossen werden. Möglicherweise ist der Positiv-Befund durch Verschleppungen während des Produktionsprozesses der Polymerbitumenbahnen zu erklären.

Der Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 führte generell zu höheren kumulierten Austrägen als das intermittierende Tauchen nach DIN EN 16105 (Tabelle 12 b).

Im Falle des Mecoprop-Polyethylenglykolesters muss berücksichtigt werden, dass im Wurzelschutzmittel die (R)- und (S)-Form des Mecoprops in gleichen Anteilen vorliegt. Die Hälfte des analytisch erfassten Mecoprops weist demnach keine radizide Wirkung auf. Trotz erhöhter Einsatzkonzentrationen von 0,5 % und 0,8 % gegenüber 0,25 % und 0,4 % bei den anderen Estern ergeben sich somit beim DIN EN 16105 für den Mecoprop-Polyethylenglykolester die niedrigsten kumulierten Mecoprop-P-Austräge (s. auch Bild 9). Beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 führte dieser Ester jedoch zu den höchsten kumulierten Austrägen (s. auch Bild 14).

Es ist jedoch nicht bekannt, welche Estergehalte in den eingesetzten Wurzelschutzprodukten vorlagen. Durch die kleinformatischen Probekörper wirken sich etwaige Inhomogenitäten stärker auf die Freisetzung von Mecoprop aus, als dies bei größeren Flächen der Fall wäre. Zudem wurden die Ergebnisse durch einmalige Durchführung der Laborversuche gewonnen. Beim intermittierenden

Tauchen wichen dabei 73 % der Einzelwerte weniger als 15 % vom Mittelwert der Doppelbestimmung ab. Beim Langzeittauchversuch war dies für 88 % der Einzelwerte der Fall. Eine höhere Ergebnissicherheit ist durch mehrmalige Wiederholung der Versuche und entsprechende statistische Auswertung zu erhalten.

Tabelle 12 b:
Kumulierter Austrag von Mecoprop (Racemat, CAS 7085-19-0) nach Durchführung der Laborauslauguntersuchungen.

Variante	Ester	Konzentration bzgl. Bitumen	Kumulierter Austrag [mg/m ²]	
			DIN EN 16105	DIN CEN/TS 16637-2
1	Mecoprop-Polyethylenglykolester	0,5 %	17,0	158,8
2		0,8 %	28,3	195,4
3	Mecoprop-P-n-octylester	0,25 %	15,1	29,5
4		0,4 %	28,9	34,2
5	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25 %	18,2	25,4
6		0,4 %	22,7	32,0
7	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25 %	11,7	15,1
8		0,4 %	18,9	24,8
9	Ohne Wurzelschutz	--	2,1	3,4

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass erhöhte Einsatzkonzentrationen an Wurzelschutzmittel auch zu einer höheren Freisetzung von Mecoprop führen. In Tabelle 13 sind die Verhältnisse von niedriger zu hoher Einsatzkonzentration für die kumulierten Austräge nach Durchführung der Laborversuche aufgeführt. Das erwartete Verhältnis von 1:1,6 wird nur durch den Ethylhexylester (Produkt 2) widerspiegelt. Allerdings können sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten auch andere Verhältnisse ergeben. Es hat jedoch den Anschein, als würden sich beim DIN CEN/TS 16637-2 mit generell höheren kumulierten Austrägen Unterschiede der Einsatzkonzentration weniger stark auswirken.

Tabelle 13:
Abbildung des Verhältnisses von niedriger zu hoher Einsatzkonzentration durch die Ergebnisse der Laborauslauguntersuchungen.

Variante	Ester	Verhältnis von niedriger zu hoher Einsatz- konzentration	Verhältnis Kumulierter Austrag[-]	
			DIN EN 16105	DIN CEN/TS 16637-2
1	Mecoprop-Polyethylenglykolester	1:1,6	1:1,7	1:1,2
2				
3	Mecoprop-P-n-octylester	1:1,6	1:2,0	1:1,2
4				
5	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	1:1,6	1:1,2	1:1,3
6				
7	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	1:1,6	1:1,6	1:1,6
8				

Untersuchungen von Burkhardt und Tietje ergaben für mittels DIN CEN/TS 16637-2 geprüfte Bitumenbahnen kumulierte Mecoprop-Austräge in vergleichbaren Größenordnungen. Genaue Informationen über die Rahmenbedingungen (Probenmaterial, Oberflächen/Volumenverhältnisse, Probenaufbereitung etc.) liegen jedoch nicht vor [Burkhardt 2017, Tietje 2017].

6.2 Berechnung von Freisetzungsmechanismen nach DIN CEN/TS 16637-2

Ausgehend von den gemessenen Werten des Laborversuchs nach DIN CEN/TS 16637-2 und der in der Norm vorgegebenen Gleichungen B17, B18 und B20 ist es möglich, den kumulierten flächenbezogenen Austrag R zu einem beliebigen Zeitpunkt (TE) zu berechnen. Die drei hierfür benötigten Gleichungen lauten:

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus (Gl. B17)

$$R_{TE} = R_8 \sqrt{\frac{TE}{1536}} \quad \text{Gleichung (1)}$$

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus nach Abwaschen der Oberfläche (Gl. B18)

$$R_{TE} = R_2 + (R_8 - R_2) \frac{\sqrt{TE} - \sqrt{24}}{\sqrt{1536} - \sqrt{24}} \quad \text{Gleichung (2)}$$

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus nach Abwaschen der Oberfläche, gefolgt von Erschöpfung (Gl. B20)

$$R_{TE} = R_7 + (R_8 - R_7) \frac{\sqrt{TE} - \sqrt{864}}{\sqrt{1536} - \sqrt{864}} \quad \text{Gleichung (3)}$$

jeweils mit R_x : flächenbezogener kumulierter Austrag zu einem Probenahmezeitpunkt x

Der Zeitpunkt TE beschreibt einen extrapolierten Zeitpunkt, der nach der letzten Probenahme liegt. Damit diese Extrapolation möglich ist, sollten die gemessenen Ergebnisse durch eine der drei Gleichungen möglichst genau abgebildet werden. Das Konzentrationsmuster für eine *diffusionsgesteuerte* Freisetzung (theoretische Werte aus DIN CEN/TS 16637-2 entnommen), die daraus berechneten kumulierten Austragswerte zum Zeitpunkt nach Norm sowie der nach Gleichung B17 (Gleichung 1) berechnete Kurvenverlauf sind im folgenden Bild beispielhaft (Bild 43) dargestellt. Zur Berechnung wird (nach Norm) der kumulierte Austrag nach Versuchsende auf den Wert „8“ normiert.

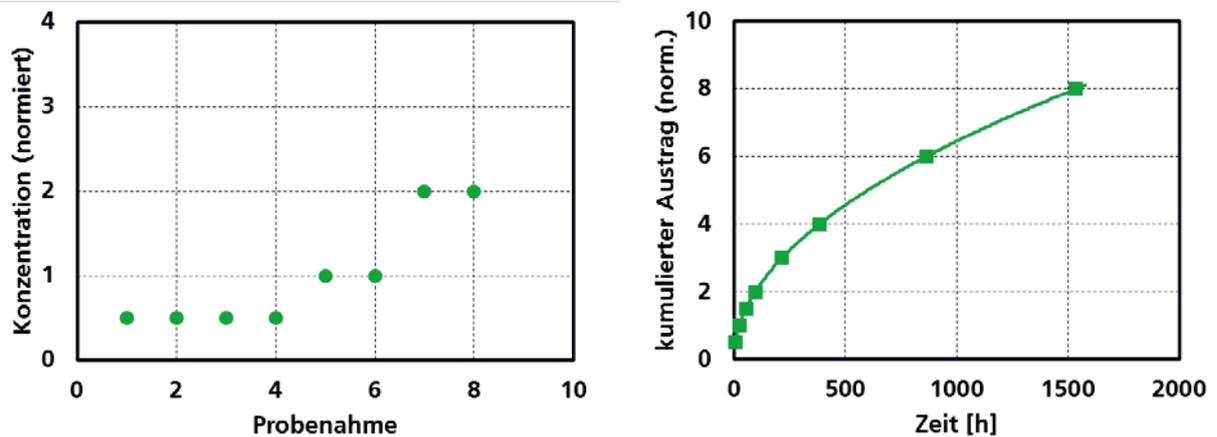


Bild 43:
Theoretische *diffusionsgesteuerte* Freisetzung eines Stoffs.

Die Freisetzung von Stoffen aus realen Proben verläuft selten ausschließlich diffusionsgesteuert. Häufig wird die Diffusion durch andere Mechanismen überlagert bzw. es liegen Mischformen vor. Bild 44 zeigt zum einen den Übergang zur *kontinuierlichen Freisetzung* am Beispiel von Mecoprop-Polyethylenglykolester und zum anderen eine *Anfangsabwaschung mit abklingender Freisetzung* am Beispiel von Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) und bildet damit die unterschiedlichen Wasserlöslichkeiten der Ester ab.

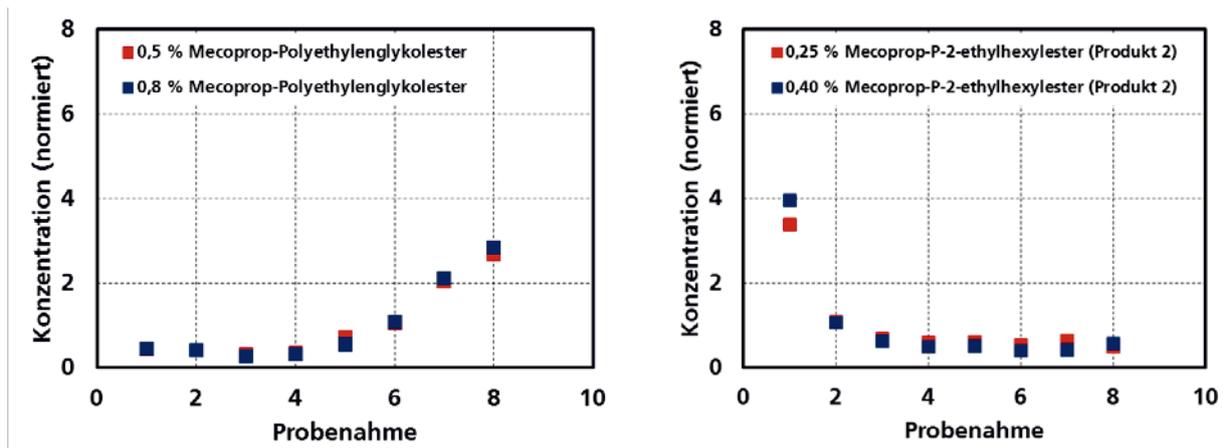


Bild 44:
Konzentrationsmuster am Beispiel der Freisetzung von Mecoprop-Polyethylenglykolester (links) und Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) (rechts).

Eine *Anfangsabwaschung mit abklingender Freisetzung* zeigt sich auch für den Mecoprop-P-n-octylester. Besonders bei der hohen Einsatzkonzentration trägt die Anfangsabwaschung stark zum kumulierten Austrag bei. Bei der niedrigen Einsatzkonzentration steigt die Freisetzung mit der Zeit dagegen wieder an (*Diffusion*). Die *Anfangsabwaschung mit abklingender Freisetzung* findet sich auch beim Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1), hier für beide Einsatzkonzentrationen gleichermaßen (Bild 45). Anders als beim gleichen Ester bei Produkt 2 steigen die Konzentrationen jedoch im Zeitverlauf wieder an (*Diffusion*), was u. U. auf die unterschiedlichen Rezepturen zurückzuführen ist, aber auch in Anbetracht etwaiger Inhomogenitäten der Esterkonzentrationen ein zufälliger Effekt sein kann.

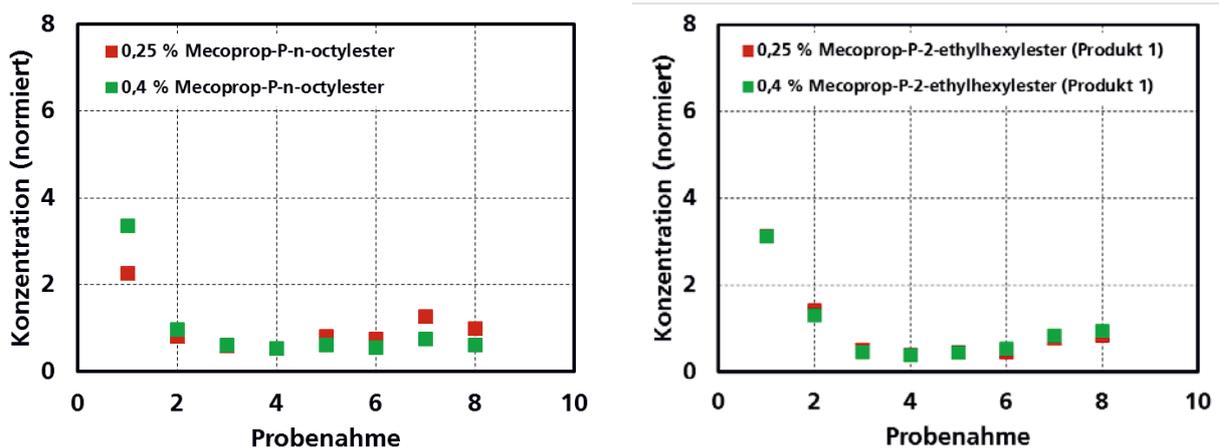


Bild 45:
Konzentrationsmuster am Beispiel der Freisetzung von Mecoprop-P-n-octylester (links) und Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) (rechts).

Die langjährigen Auswertungen des IBP haben gezeigt, dass die Korrelation zwischen gemessenen und berechneten Werten besser wird, wenn in den Glei-

chungen 1 bis 3 die Quadratwurzel durch den Exponenten n ersetzt wird. Die modifizierten Gleichungen lauten wie folgt:

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus (Gl. B17)

$$R_{TE} = R_8 \left(\frac{TE}{1536} \right)^n \quad \text{Gleichung (4)}$$

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus nach Abwaschen der Oberfläche (Gl. B18)

$$R_{TE} = R_2 + (R_8 - R_2) \frac{TE^n - 24^n}{1536^n - 24^n} \quad \text{Gleichung (5)}$$

- Diffusion oder unbekannter Mechanismus nach Abwaschen der Oberfläche, gefolgt von Erschöpfung (Gl. B20)

$$R_{TE} = R_7 + (R_8 - R_7) \frac{TE^n - 864^n}{1536^n - 864^n} \quad \text{Gleichung (6)}$$

Ausgehend von den drei modifizierten Gleichungen wurde ein Kurvenverlauf mit einem mathematischen Standardverfahren, der Methode der kleinsten Quadrate, berechnet. Bei der Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate werden die Kurvenparameter so bestimmt, dass die Summe der quadratischen Abweichungen der Kurve von den beobachteten Punkten minimiert wird. Für die Kurvenanpassung wurde der im Programm Excel integrierte Solver verwendet. Angepasst wurden je nach verwendeter Gleichung auf der Basis der experimentell bestimmten Werte die Werte für R_2 , R_7 , R_8 und n .

Für den Vergleich der Kurvenverläufe wurden die experimentell bestimmten kumulierten Austräge auf einen Wert von 8 normiert. Dieser Wert wurde aus den Normbeispielen der DIN CEN/TS 16637-2 für mögliche Austragsverläufe übernommen.

In Bild 46 sind die experimentell bestimmten kumulierten Mecoprop-Austräge von Mecoprop-Polyethylenglykolester (0,5 %; rote Punkte und 0,8 %, blaue Punkte) und Mecoprop-P-2-ethylhexylester (0,25 %; rote Punkte und 0,4 %, blaue Punkte) sowie die jeweiligen angepassten berechneten Kurvenverläufe (modifizierte Gleichungen) beispielhaft abgebildet. Die Kurvenverläufe weichen dabei deutlich von einem – die *diffusionsgesteuerte* Freisetzung abbildenden – Kurvenverlauf ab (s. grüne Kurve).

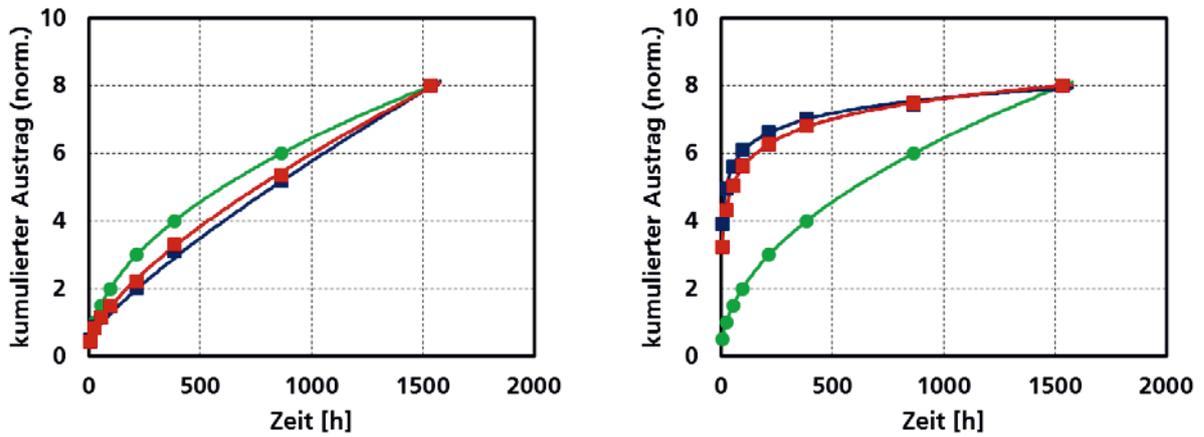


Bild 46:
 Austragsmuster am Beispiel der Freisetzung von Mecoprop-Polyethylenglykolester (links) und Mecoprop-P-2-ethylhexylester (rechts).

Anhand der berechneten Exponenten n kann der dominierende Freisetzungsmechanismus von unterschiedlichen Varianten miteinander verglichen werden. Bei gleichen Freisetzungsmustern sind auch die Exponenten vergleichbar. Die in der Norm genannten Austragsmechanismen Abwaschen, Lösen und Diffusion wurden noch durch Erschöpfung und kontinuierliche Freisetzung ergänzt. Folgender Zusammenhang zwischen Freisetzungsmuster und Exponent n wird auf der Basis langjähriger Erkenntnisse postuliert:

- Erschöpfung: $n < -0,2$
- Abwaschen: $-0,2 < n < 0$
- Lösen: $0 < n < 0,2$
- Diffusion: $0,2 < n < 0,7$
- Kontinuierliche Freisetzung: $n > 0,7$

Die Übergänge zwischen den dominierenden Austragsmechanismen sind jedoch fließend. Üblicherweise treten Mischformen aus zwei oder mehreren Austragsmechanismen auf, wobei der dominierende Freisetzungsmechanismus großen Einfluss auf den resultierenden Zahlenwert von n hat und andere Effekte teilweise überlagert. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

6.3 Freibewitterung

Über den gesamten Versuchszeitraum hinweg wiesen die Ablaufwässer aller Probekörper **Mecoprop in bestimmaren Konzentrationen** auf. Vor allem zu Beginn der Freibewitterung wurden hohe, oft die maximalen Konzentrationen im Versuchszeitraum, bestimmt. Möglicherweise wurde hier Mecoprop aus während des Produktionsprozesses an den Dachbahnoberflächen angereicherten Mecoprop-Estern freigesetzt.

Die Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten waren mit bis zu 17 mg/L teilweise so hoch, dass eine Vielzahl der Proben vor der Messung bis um den Faktor 1000 verdünnt werden mussten. Die während der Versuchslaufzeit ermittel-

ten Mindestkonzentrationen lagen bei allen eingesetzten Mecoprop-Estern mit Werten größer ca. 1 µg/L noch deutlich über der Bestimmungsgrenze des Verfahrens von 0,29 µg/L (bei Injektion eines Probenvolumens von 1 µL).

Höhere **Einsatz-Konzentrationen** an Estern in der Dachbahn führten im Allgemeinen zu höheren Konzentrationen an Mecoprop in den Eluaten. In den Ablaufwässern der **mit Substrat** ausgeführten Probekörper waren die gefundenen Konzentrationen v. a. zu Beginn der Bewitterung höher als bei „nackt“ bewitterten Dachbahnen. Mögliche Ursachen hierfür sind die durch die Substratschicht bedingten höheren pH-Werte (8,2 mit Substrat vs. 6,3 ohne Substrat), die die Hydrolyse der eingesetzten Ester an der Grenzfläche und damit die Abgabe der Ester in die wässrige Phase begünstigen und gleichzeitig auch die durch die Wasserrückhaltung verlängerten Zeiträume, in denen durch Wasserkontakt an der Oberfläche eine Freisetzung stattfinden kann. Die Ester selbst sind, abgesehen vom Polyethylenglykolester, quasi wasserunlöslich.

Im Falle des Mecoprop-Polyethylenglykolesters muss berücksichtigt werden, dass im Wurzelschutzmittel die (R)- und (S)-Form des Mecoprops in gleichen Anteilen vorliegt. Die Hälfte des analytisch erfassten Mecoprops ist demnach nicht radizid wirksam. Die Umweltqualitätsnorm nach [OGewV 2016] unterscheidet allerdings nicht zwischen den Enantiomeren, sondern nennt als Kriteriengrenze 0,1 µg/L für Mecoprop als Enantiomeregemisch (CAS 7085-19-0).

Auch in den Ablaufwässern der **wirkstofffreien Referenzvarianten** wurde Mecoprop in bestimmbar Konzentrationen nachgewiesen. Eine Verschleppung über die verwendeten Probenkanister von Probekörper zu Probekörper ist nicht möglich, da die Kanister den einzelnen Probekörpern zugeordnet sind. Dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben vorausgehende Untersuchungen zeigten, dass auch die zur Probenaufbereitung verwendeten Gerätschaften nicht zur Verschleppung von Mecoprop führen. Außerdem wurde, wie z. B. in Kapitel 5.1 dargestellt, in den bei den Laborversuchen mitgeführten Blindproben kein Mecoprop nachgewiesen. Der kumulierte Austrag von Mecoprop aus den wirkstofffreien Referenzvarianten liegt jedoch signifikant unter den Austrägen aus den ausgerüsteten Varianten und kann möglicherweise mit Verschleppungen während des Produktionsprozesses erklärt werden (vgl. Kapitel 5.1). Eine Überprüfung der Ausgangskonzentrationen der Mecoprop-Ester in den Dachbahnen könnte hier zur Klärung beitragen, ist aber zum aktuellen Zeitpunkt mangels validiertem analytischen Verfahren noch nicht möglich.

Es ist zu erwarten, dass bei Dachaufbauten mit Substrat und Bepflanzung das **Entwicklungsstadium der Vegetationsschicht** einen Einfluss auf das Wasserretentionsvermögen der Substratschicht hat. So wird neben der bloßen Wasserspeicherung im Substrat auch ein Anteil des auftreffenden Regenwassers durch die Pflanzen verbraucht werden und das ablaufende Volumen damit vermindert werden. Die Art des Substrats mit den daraus resultierenden pH-Werten beeinflusst zusätzlich noch die Esterhydrolyse. Es stellt sich die Frage, was passiert, wenn die Dachbahnen durchwurzelt werden. Einerseits wird bei einem durchwurzelt Substrat eine erhöhte Wasserretention erwartet. Ande-

rerseits werden möglicherweise neue Oberflächen geschaffen, an denen eine Hydrolyse und eine Freisetzung von Mecoprop stattfinden kann.

Die in den Ablaufwässern der Probekörper bestimmten Mecoprop-Konzentrationen sind somit grundsätzlich abhängig

- vom eingesetzten Mecoprop-Ester
- von der Einsatz-Konzentration,
- von der Ausführung mit oder ohne Substrat,
- von den Witterungsbedingungen (Ablaufvolumen und Temperaturen)
- und von der Dauer der Bewitterung.

Die Wechselwirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren sind dabei komplex und kaum quantifizierbar.

6.3.1 Homogenität der Probekörper – Streuung der Messwerte der Doppelbestimmung

Anhand der in den Kapiteln 5.3.7, 5.3.8 und 5.3.9 tabellarisch für die verschiedenen Mecoprop-Ester zusammengestellten Maximalkonzentrationen in den Ablaufwässern der einzelnen Probekörper eines Probekörperpaares (Doppelbestimmung) wird bereits erkennbar, dass diese mitunter stark voneinander abweichen können. Bei Betrachtung aller in der Freibewitterung erhaltenen Werte zeigte sich, dass 76 % der Mecoprop-Konzentrationen in den einzelnen Ablaufwässern eines Probekörperpaares (Doppelbestimmung) weniger als 25 % vom zugehörigen Mittelwert abweichen. Teilweise ergab sich jedoch eine starke Streuung der Einzelwerte der Doppelbestimmung um den zugehörigen Mittelwert. Die Streuung war bei den begrünten Probekörpern in der Mehrzahl der Fälle höher als bei den unbegrünten Probekörpern (Tabelle 14).

In den Eluaten eines Probekörpers eines Probekörperpaares finden sich häufig Mecoprop-Konzentrationen, die auf einer Seite des zugehörigen Mittelwertes (Tabelle 14) liegen. Bei Vorliegen eines zufälligen Fehlers müssten die streuenden Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten eines jeden Probekörpers statistisch verteilt sowohl in positiver als auch in negativer Richtung vom Mittelwert abweichen.

Tabelle 14:

Streuung der Einzelwerte um die bis zum 28.3.2017 erhaltenen Mittelwerte bei den verschiedenen Varianten und Abweichung der Mecoprop-Konzentration der Ablaufwässer eines Probekörpers vom Mittelwert in eine bestimmte Richtung (hier als Beispiel: Abweichung vom Mittelwert nach unten).

Variante	Anzahl Mittelwerte	Gemessene Konzentrationen mit einer Streuung < 25 % um den Mittelwert		Gemessene Konzentrationen mit einer negativen Abweichung vom Mittelwert	
		Anzahl [-]	Relativer Anteil [%]	Anzahl [-]	Relativer Anteil [%]
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	83	68	82	11	13
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	64	42	66	19	30
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	83	78	94	72	87
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	62	50	81	45	73
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	82	69	84	45	55
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	65	54	83	31	48
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	83	66	80	19	23
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	65	32	49	46	71
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	83	73	88	11	13
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	64	42	66	30	47
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	82	76	93	52	63
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	64	47	73	30	47
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	56	54	96	0	0
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	42	20	48	37	88
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	83	83	100	44	53
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	62	26	42	51	82

Neben den Mecoprop-Konzentrationen fließen auch die Ablaufvolumina, die sich für die einzelnen Probekörper bei der Doppelbestimmung in den meisten Fällen stark ähneln, in die Berechnung der flächenbezogenen Austräge ein. Die kumulierten Mecoprop-Austräge aus den einzelnen Probekörpern und die zugehörigen Mittelwerte für den 18-monatigen Versuchszeitraum sind in Tabelle 15) zusammengestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Probekörper bilden demnach eine in der Realität vorliegende Schwankungsbreite ab. Maximale Abweichungen ergeben sich mit ca. 28 % für den Mecoprop-P-n-octylester und mit ca. 20 % für den Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2), in beiden Fällen Einsatzkonzentration 0,4 %, mit Substrat.

Tabelle 15:
Kumulierte Mecoprop-Austräge der Varianten im Zeitraum vom 17.9.2015 bis 28.03.2017. Angegeben sind die Einzelwerte der beiden Probekörper der Doppelbestimmung und die daraus errechneten Mittelwerte.

Variante	Kumulierter Mecoprop-Austrag [mg/m ²]			Streuung um den Mittelwert [%]
	PK 1	PK 2	Mittelwert	
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	99,5	75,4	87,5	± 13,8
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	153,0	147,1	150,1	± 2,0
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	113,4	134,0	123,7	± 8,3
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	294,3	399,8	347,0	± 15,2
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	28,3	33,0	30,6	± 7,6
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	54,2	55,9	55,0	± 1,5
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	47,9	36,8	42,3	± 13,0
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	66,8	119,0	92,9	± 28,1
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	23,9	19,9	21,9	± 9,0
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	38,3	33,0	35,6	± 7,5
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	21,2	22,4	21,8	± 2,8
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	33,3	27,9	30,6	± 8,8
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	13,8*	12,1*	13,0	± 6,5
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	37,8*	52,4*	45,1	± 16,1
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	25,5	27,3	26,4	± 3,4
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	34,2	51,6	42,9	± 20,3
Dachbahn ohne Wurzelschutz	5,3**		--	--
Dachbahn ohne Wurzelschutz mit Substrat	11,2**		--	--

mit *: abweichender Beprobungszeitraum vom 3. 5.2016 bis 28.3.2017
und **: Einzelbestimmung.

Auch Riechel [Riechel 2015] beschreibt einen Unterschied von ca. 50 % bei den maximalen Mecoprop-Konzentrationen in den Ablaufwässern von zwei identischen, mit Preventol B5 (Fa. Lanxess) ausgerüsteten Versuchsdächern (ohne Substratschicht).

Dies deutet auf Unterschiede zwischen den einzelnen Probekörpern hin. Es ist anzunehmen, dass unterschiedliche Faktoren (Bitumendachbahn, Aufbau der Probekörper (Mächtigkeit und Verdichtung der Substratschicht, Korngrößenverteilung des Substrats, Dichte des Bewuchses, etc.)) sich dabei gegenseitig verstärken oder dämpfend wirken können.

6.3.2 Stoffaustrag und jährliche Freisetzungsraten

Die Freisetzung von Mecoprop zeigt grundsätzlich eine Abhängigkeit

- von der Ausführung der Probekörper mit oder ohne Pflanzsubstrat
- vom eingesetzten Mecoprop-Ester (aufgrund unterschiedlicher Wasserlöslichkeiten und Hydrolysegeschwindigkeiten)
- der Einsatzkonzentration.

Probekörper mit Substrat führten zu einem deutlich höheren Mecoprop-Austrag als Probekörper ohne Substrat. Die höchsten Austräge für Mecoprop (Racemat) ergaben sich dabei für den Mecoprop-Polyethylenglykolester. Auch bei Halbierung der ermittelten Austräge unter der Annahme, dass im Ester nur zu 50 % das wurzelhemmend wirksame Enantiomer des Mecoprops eingebaut ist, liegt die Freisetzung an wirksamem Enantiomer über der der anderen Ester. Die geringsten Austräge weist der 2-Ethylhexylester auf. Unterschiede in der Einsatzkonzentration machten sich hier bei Produkt 1 kaum bemerkbar. Die Probekörper mit dem gleichen Ester, eingesetzt in Produkt 2, wiesen im Freiland gegenüber Produkt 1 eine erhöhte Mecoprop-Freisetzung auf und zeigten somit ein den Laborversuchen entgegengesetztes Verhalten (s. auch Kapitel 6.1).

Die Bitumendachbahnen enthalten die Wurzelschutzmittel in jeweils zwei Einsatzkonzentrationen, die im Verhältnis von 1 zu 1,6 zueinander stehen. Die kumulierten Austräge nach 18 Monaten Bewitterung bilden dieses Verhältnis mit 1 zu 1,4 bzw. 2,3 (Mecoprop-P-n-octylester, ohne und mit Substrat), und 1 zu 1,4 bzw. 1,7 (Mecoprop-polyethylenglykolester, ohne und mit Substrat) annähernd ab. Bei Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) dagegen spiegeln die kumulierten Austräge mit Verhältnissen von 1 zu 1,0 bzw. 0,9 (ohne und mit Substrat) diese unterschiedlichen Einsatzkonzentrationen nicht wider. Für Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) ist der Vergleich aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten nicht direkt möglich. Bezogen auf das kumulierte Kontaktwasservolumen zeigt sich jedoch eine sehr ähnliche Entwicklung (s. Kapitel 6.4).

Tabelle 16:
Kumulierter Austrag (Mittelwerte der Doppelbestimmung) von Mecoprop in 18 Monaten (17. September 2015 bis 28. März 2017).

Variante	Kumulierter Austrag [mg/m ²]
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	87,5
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	150,1
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	123,7
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	347,0
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	30,6
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	55,0
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	42,3
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	92,9
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	21,9
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	35,6
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	21,8
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	30,6
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	13,0*
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	45,1*
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	26,4
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	42,9
Dachbahn ohne Wurzelschutz	5,3**
Dachbahn ohne Wurzelschutz mit Substrat	11,2**

mit *: abweichender Beprobungszeitraum vom 3.5.2016 bis 28.3.2017
und **: Einzelbestimmung.

In Tabelle 17 sind die experimentell ermittelten Freisetzungsraten für Mecoprop für das erste Bewitterungsjahr zusammengestellt. Der am Bewitterungsstandort auftretende Jahresniederschlag im Bezugszeitraum betrug 1202 L/m².

In der Literatur werden folgende jährliche Freisetzungsraten für Mecoprop bei Verwendung von Preventol B2 (Fa. Lanxess, Mecoprop-Polyethylenglykolester) in Feldversuchen berichtet:

- 2,4 mg/m²a, Alter der Dachbahn unbekannt [Bucheli 1998b]
- 0,24 mg/m²a, 18 Jahre alte Dachbahn [Riechel 2015].

Diese Werte liegen deutlich unter den experimentell für das erste Bewitterungsjahr ermittelten Freisetzungsraten, unabhängig vom eingesetzten Mecoprop-Ester (Tabelle 17). Es ist anzunehmen, dass die jährlichen Freisetzungsraten mit der Zeit abnehmen. Zusätzlich werden Witterungsbedingungen eines Standortes wie Niederschlagsmenge und Temperaturverhältnisse die Freisetzung von Mecoprop aus Dachbahnen beeinflussen.

Der durchgeführte Freilandversuch erstreckte sich über die ersten 18 Monate der Nutzung einer Dachbahn. Eine Hochrechnung der Freisetzungsrates für das zweite Bewitterungsjahr erfolgt jedoch nicht, da die Monate 13 bis 18 der Freibewitterung auf einen relativ niederschlagsarmen (377 mm) Zeitraum mit niedrigen Temperaturen (mittlere Temperatur 2,9°C) entfielen (Oktober bis März).

Tabelle 17:

Experimentell ermittelte Freisetzungsraten für Mecoprop im ersten Bewitterungsjahr (17. September 2015 bis 19. September 2016).

Variante	Freisetzungsrates [mg/m ² a]
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	71,9
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	146,4
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	102,9
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	334,5
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	28,3
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	53,3
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	38,6
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	90,6
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	18,1
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	34,9
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	19,7
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	30,1
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	24,5
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	40,8
Dachbahn ohne Wurzelschutz	4,4
Dachbahn ohne Wurzelschutz mit Substrat	10,7

6.3.3 Witterungseinfluss

Dachbahnen ohne Substrat

Auch frühere Untersuchungen lassen bereits einen Einfluss der vorherrschenden Witterungsbedingungen auf die Freisetzung von Mecoprop aus Bitumendachbahnen vermuten [Bucheli 1998b, Vialle 2013].

Während zu Beginn der Freibewitterung im September 2015 die Mecoprop-Konzentrationen in den Ablaufwässern von Probekörpern mit Substrat größer waren als bei direkt bewitterten Dachbahnen, so wurden für diese nach ca. 300 Tagen Bewitterungsdauer gegen Ende Juli/Anfang August 2016 ein mitunter deutlicher Anstieg der Mecoprop-Konzentrationen beobachtet (Bild 47). Gleichzeitig wurden auch erhöhte TOC-Konzentrationen festgestellt.

Dies bedeutet, dass neben Mecoprop auch noch weitere organische Substanzen aus den Dachbahnen freigesetzt werden.

Stichpunktartige Messungen der Oberflächentemperaturen der Probekörper ergaben für Probekörper ohne Substrat Temperaturen von bis zu 54 °C auf der Dachbahn. Für Probekörper mit Substrat herrschten gleichzeitig auf der „SDF-Matte“ nahe der Dachbahn lediglich 30,5 °C, d. h. die Substratschicht dämpft die Temperatureinwirkung auf die Dachbahn.

Temperaturen von bis zu 70 °C, die in der langjährigen Wetterbeobachtung auf waagrecht ausgerichtete schwarze Oberflächen gemessen wurden, wurden auf der beschieferten Dachbahnoberfläche (ohne Substrat) nicht beobachtet (s. Kapitel 5.3.1). Eine mögliche Ursache hierfür ist die Beschiefung, durch die die Oberfläche aufgehellt wird. Es ist aber auch wahrscheinlich, dass zu dem gewählten Messzeitpunkt um 12:00 Uhr mittags noch nicht die maximale Oberflächen-Temperatur erreicht war. Auch die Tageshöchsttemperaturen treten häufig erst zu einem späteren Zeitpunkt im Laufe des Nachmittags auf.

Als Ursache für die verstärkte Freisetzung organischer Verbindungen bei hohen Temperaturen werden Oxidationsvorgänge an der Oberfläche angenommen. Durch sommerliche Temperaturen werden zudem Diffusionsprozesse begünstigt, durch die Mecoprop-Ester an die Oberfläche gelangen und auf diese Weise bei nachfolgenden Regenereignissen für die Hydrolyse bzw. Mecoprop-Freisetzung zur Verfügung.

Rückstände aus dem Produktionsprozess kombiniert mit einer verstärkten Diffusion von Mecoprop-Estern beim Aufschweißen der Dachbahn und eine daraus resultierende Anreicherung von Mecoprop-Estern an der Oberfläche der Dachbahnen sind möglicherweise auch die Ursache für den relativ hohen Mecoprop-Austrag bei Probekörpern ohne Substrat zu Beginn der Freibewitterung (Bild 47).

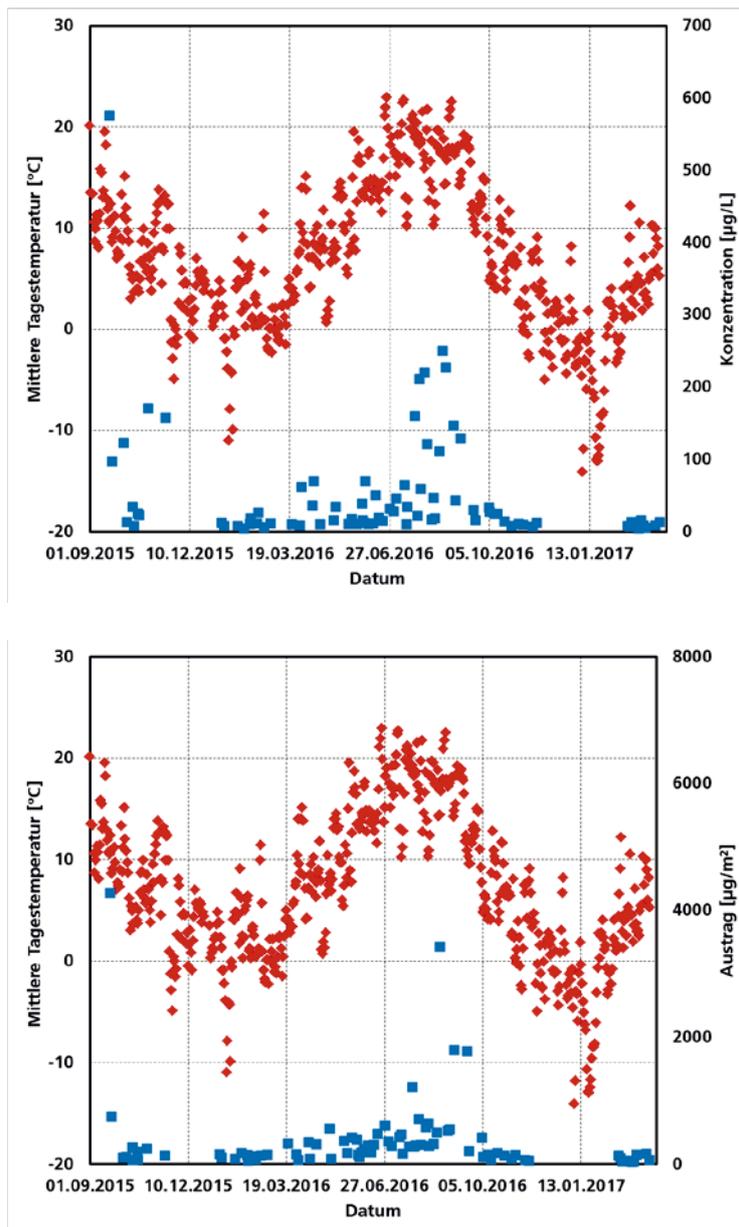


Bild 47:

Konzentrationen (oben) und flächenbezogene Austräge (unten) von Mecoprop aus Dachbahnen ohne Substrat in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (exemplarisch: 0,25 % Mecoprop-P-n-octylester).

Dachbahnen mit Substrat

Bei den Dachbahnen mit Substrat wurden zu Beginn der Freibewitterung hohe Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten festgestellt. Auch hier wird ein Beitrag durch die oben erwähnte Anreicherung von Mecoprop-Estern auf der Dachbahnoberfläche angenommen. Gleichzeitig lagen nur geringe Ablaufvolumina vor, was zu hohen Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten führte.

Neben den ersten Probenahmen traten maximale Konzentrationen in den Ablaufwässern der Probekörper mit Substrat v. a. bei der Probenahme am 11.4.2016 auf (s. Kapitel 5.3.7, 5.3.8 und 5.3.9). Vor dieser Probenahme

herrschten im Zeitraum vom 1.4.2016 bis 11.4.2016 erstmals nach der Winterperiode relativ milde Witterungsverhältnisse mit mittleren Tagestemperaturen bis zu 15 °C und unergiebigem Regenfällen. An Ablaufvolumen wurden bei Probekörpern ohne Substrat 13,8 L asserviert - im Gegensatz zu 1,6 L bei Probekörpern mit Substrat (exemplarisch: Varianten ohne Wurzelschutz). Das Pflanzsubstrat war demnach gründlich durchfeuchtet. An den Dachbahnoberflächen ergaben sich lange Wasserkontaktzeiten, während derer Esterhydrolyse und Lösungsvorgänge stattfinden konnten. Die pH-Werte der Eluate wiesen keine Auffälligkeiten gegenüber anderen Probenahmen auf (Bild 48).

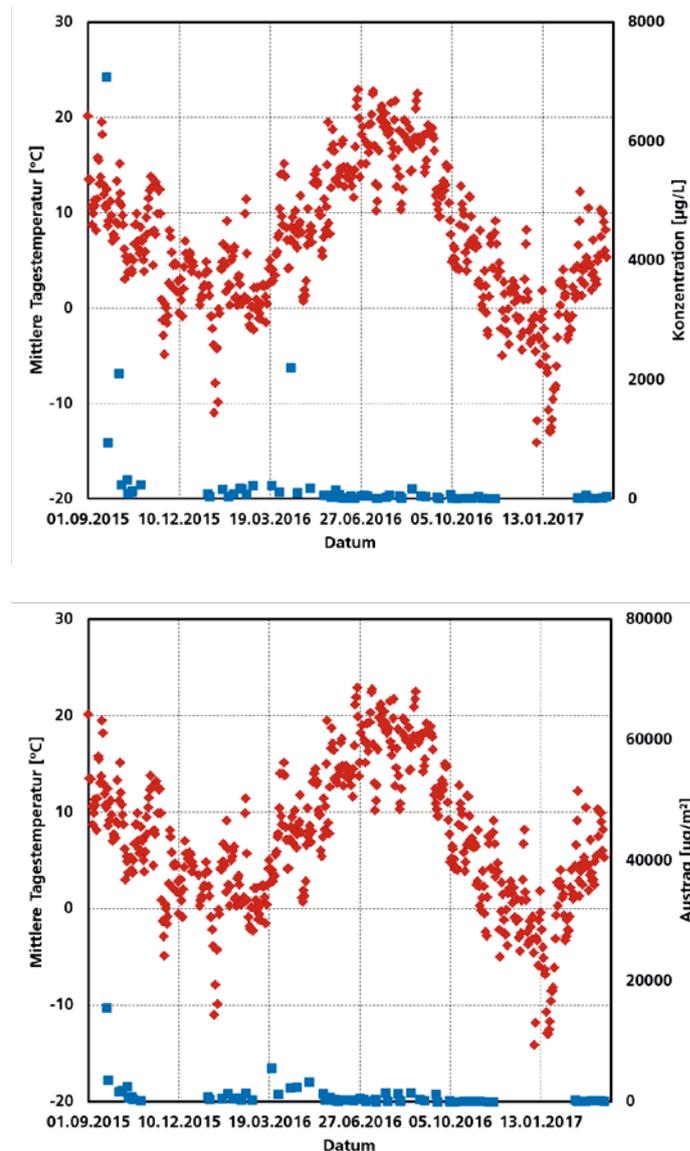


Bild 48:
Konzentrationen (oben) und flächenbezogene Austräge (unten) von Mecoprop aus Dachbahnen ohne Substrat in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (exemplarisch: 0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat).

Ablaufvolumina

Aus den Witterungsverhältnissen ergeben sich direkt die anfallenden Ablaufvolumina. Hohe Mecopropkonzentrationen wurden vor allem bei geringen Volumina bestimmt (Bild 49).

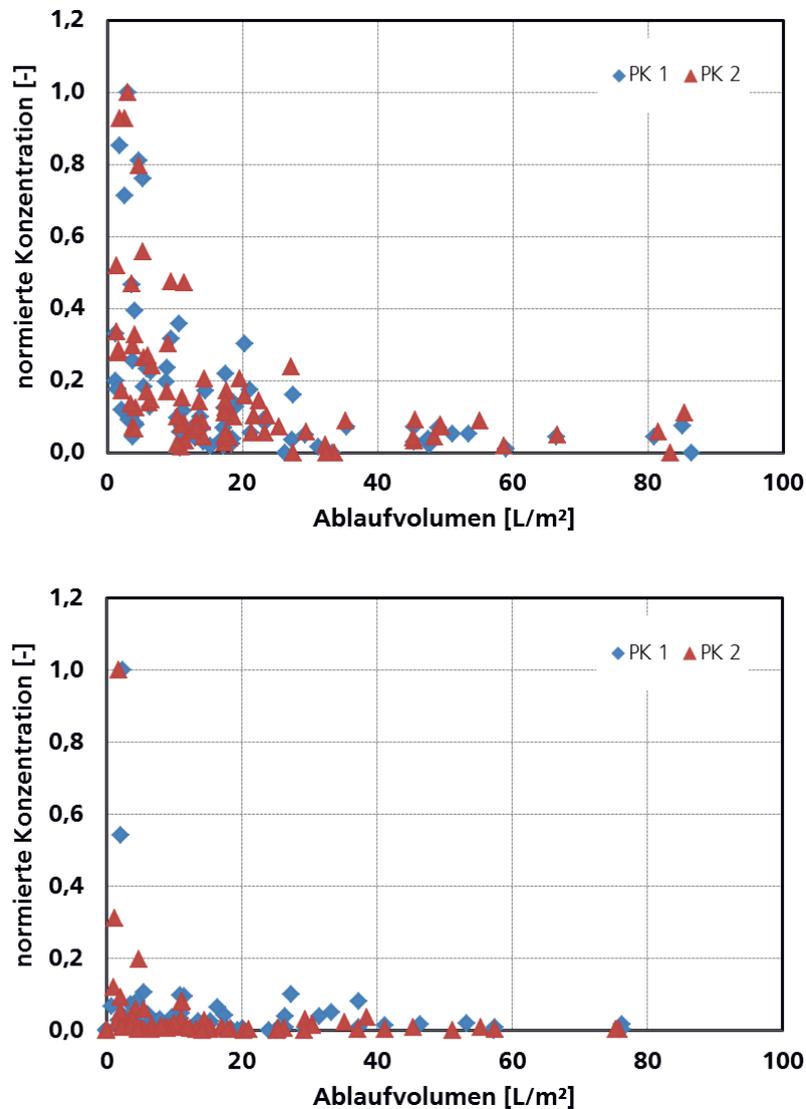


Bild 49:
Auf die Maximalkonzentration normierte Mecoprop-Konzentrationen in den Ablaufwässern von Dachbahnen ohne (oben) und mit Substrat (unten) in Abhängigkeit vom Ablaufwasservolumen (exemplarisch: 0,4 % Mecoprop-Polyethylenglykolester, mit PK: Probekörper).

6.3.4 Freisetzung weiterer organischer Stoffe

Die in den Ablaufwässern der Probekörper mit Substrat bestimmten TOC-Konzentrationen schwanken stark und weisen Werte zwischen 10 mg/L und 35 mg/L auf. Hauptsächlich dürften Inhaltsstoffe aus dem Substrat freigesetzt werden und zum TOC beitragen. Als maximaler Wert wurden am 11. April 2016 nach 207 Tagen Bewitterungsdauer 70 mg/L festgestellt. Zwischen dieser und der vorausgegangenen Probenahme am 31. März 2016 herrschten milde Temperaturen mit Nieselregen. Dies sorgte für eine gründliche Durchfeuchtung des Substrats mit langer Wasserkontaktzeit bei gleichzeitig geringem Ablaufwasservolumen und damit für die erhöhte Freisetzung organischer Substanzen mit Beitrag zum TOC.

Die TOC-Konzentrationen der Ablaufwässer des Probekörpers ohne Substrat lagen überwiegend unter denen der Probekörper mit Substrat. Allerdings war ein Zusammenhang der Konzentrationen mit der Umgebungstemperatur zu beobachten. So führten hohe Umgebungstemperaturen zu einer verstärkten Freisetzung organischer Verbindungen bei nachfolgenden Regenereignissen. Bei hohen Umgebungstemperaturen werden auf der Dachbahn Oberflächentemperaturen von über 50 °C erreicht (vgl. 5.3.2). Auf diese Weise kann es an der Oberfläche zur Oxidation von Bitumenbestandteilen kommen. Bei nachfolgenden Regenereignissen können diese organischen Verbindungen von der Oberfläche abgewaschen werden. Zusätzlich können durch Diffusionsprozesse verstärkt Mecoprop-Ester an die Oberfläche gelangen.

6.4 Korrelation von Ergebnissen aus Laborversuchen und Freibewitterung

Generell sind Laborauslauguntersuchungen nicht als Schnellbewitterungsverfahren oder dazu gedacht, das Verhalten von Bauprodukten in der Realität abzubilden. Vielmehr dienen sie dazu, Produkte unter definierten und damit reproduzierbaren Versuchsbedingungen zu untersuchen und auf diese Weise vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Eine direkte Übertragung von Ergebnissen aus Laborversuchen auf Freilandbedingungen oder umgekehrt ist nicht möglich.

Um Ergebnisse aus Labor- und Freilandversuchen jedoch zumindest miteinander vergleichen zu können, ist eine gemeinsame Bezugsgröße nötig. So sind bei den Laborversuchen zwar die Versuchsdauern und die Wasserkontaktzeiten definiert (Bild 50), im Freiland jedoch ist die Versuchsdauer frei wählbar und die witterungsbedingte Wasserkontaktzeit schwer fassbar. Als gemeinsame Bezugsgröße geeignet ist dafür das kumulierte Kontaktwasservolumen, da dieses sowohl im Freiland (als Ablaufwasservolumen) als auch im Laborversuch exakt ermittelbar ist.

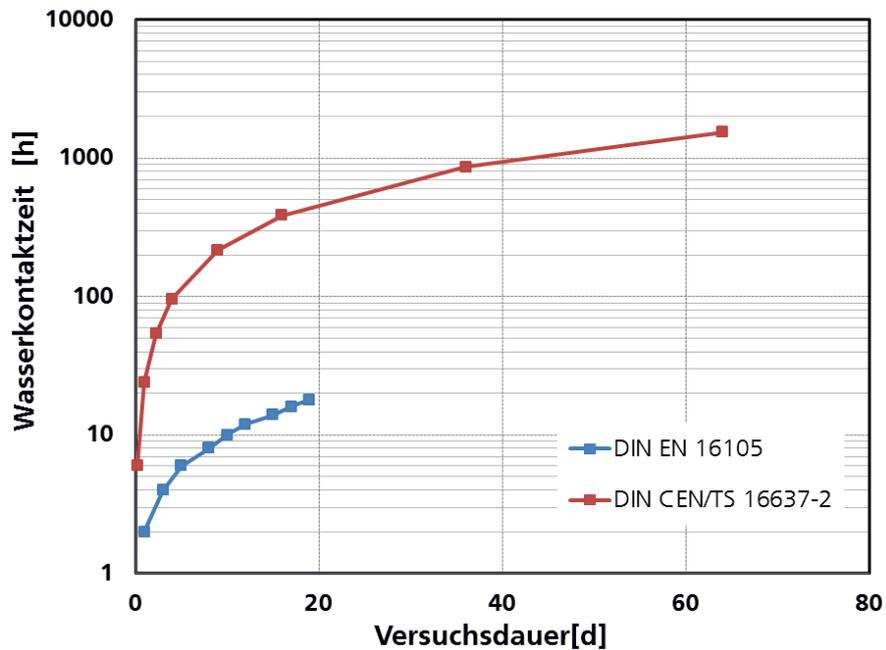


Bild 50:
Wasserkontaktzeiten bei den Laborversuchen in Abhängigkeit von der Versuchsdauer.

Je nachdem, welches Verfahren zur Eluatgewinnung angewendet wird, resultieren unterschiedliche kumulierte Kontaktwasservolumina (Bild 51). Beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105 wirken während des Versuchs insgesamt 450 L Eluent pro m^2 auf die Probenoberfläche ein (Volumen/Oberflächen-Verhältnis je Immersionszyklus $25 L/m^2$). Beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2 beträgt das kumulierte Kontaktwasservolumen $237 L/m^2$ (Volumen/Oberflächen-Verhältnis je Intervall $29,6 L/m^2$). Im Freilandversuch ergeben sich gemäß den Witterungsbedingungen deutlich höhere Werte, v. a. für direkt der Witterung ausgesetzte Dachbahnen ohne weitere Substratschicht.

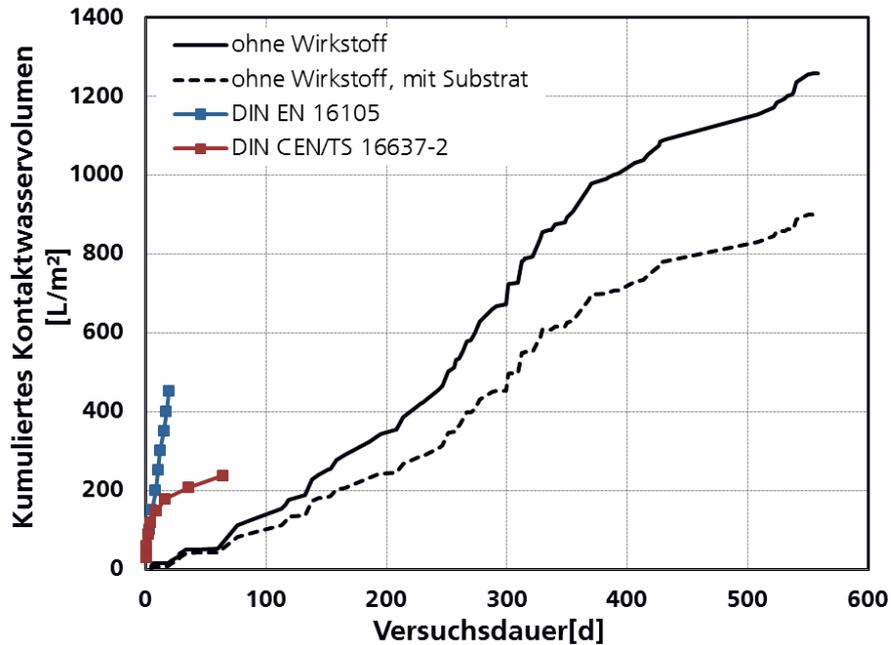


Bild 51:

Entwicklung der kumulierten Kontaktwasservolumina bei den Laborversuchen und in der Freibewitterung (hier exemplarisch für die wirkstofffreien Referenzvarianten ohne und mit Substrat).

In Bild 52 ist exemplarisch die Entwicklung der kumulierten Mecoprop-Austräge bei den verschiedenen Versuchen für die Dachbahnen mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester dargestellt. Die Ergebnisse aus den Laborversuchen weisen ähnliche Verläufe, nur auf unterschiedlichem Niveau, auf.

Die Entwicklung der Austräge im Freiland hängt von den Witterungsbedingungen ab, so dass sich für verschiedene Standorte und Beobachtungszeiträume unterschiedliche Kurvenverläufe ergeben können. Bei der dargestellten Variante startete die Freibewitterung der Probekörper mit 0,25 % zeitversetzt im Mai 2016. Hier liegen daher unterschiedliche Bewitterungszeiträume vor, was sich an den kumulierten Kontaktwasservolumina erkennen lässt. Außerdem wird sichtbar, dass sich bei Ausführung des Probekörpers mit Substrat nach einem deutlichen Austrag zu Beginn die Kurve abflacht. Unabhängig von der Einsatzkonzentration werden sehr ähnliche kumulierte Austräge erreicht; dies ist auch bei Produkt 1 des gleichen Esters der Fall.

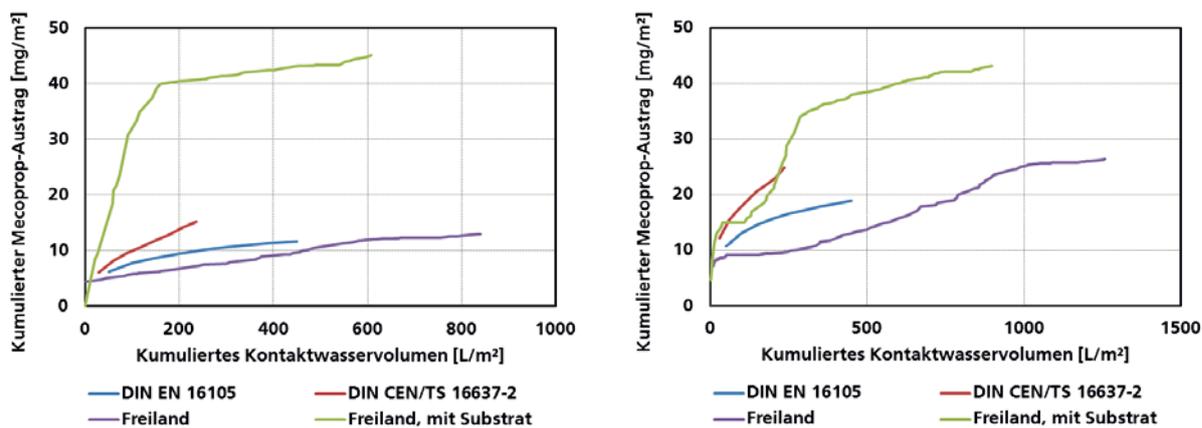


Bild 52:
 Entwicklung des kumulierten Mecoprop-Austrags bei den Laborversuchen und in der Freibewitterung bezogen auf das kumulierte Kontaktwasservolumen (links 0,25 %, rechts 0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)).

Unter der Annahme, dass die in den Bitumendachbahnen eingesetzten Produkte zum Schutz vor Durchwurzelung zu 100 % aus den Mecoprop-Estern bestehen, lässt sich errechnen, welcher Anteil des grundsätzlich zur Verfügung stehenden Mecoprops durch den Wasserkontakt während der Laborauslauguntersuchungen und der Freibewitterung aus den Dachbahnen freigesetzt wurde. Die Basis für die Kalkulation ist die Einsatzkonzentration der Produkte zum Schutz vor Durchwurzelung im Bitumenanteil der Dachbahn (Tabelle 18). Für den Mecoprop-Polyethylenglykolester, der pro Estermolekül zwei Mecoprop-Moleküle enthält, kann die Berechnung aufgrund unbekannter molarer Masse des Esters nicht durchgeführt werden. Es zeigt sich, dass durch beide Laborauslauguntersuchungen weniger als 1 % des zur Verfügung stehenden Mecoprops aus der Dachbahn freigesetzt werden. Bei höherer Einsatzkonzentration des Esters wird ein in Bezug auf die zur Verfügung stehende Mecoprop-Menge kleinerer Anteil davon freigesetzt als bei niedriger Einsatzkonzentration. Dies wird auch durch die im Freiland erhaltenen Ergebnisse abgebildet. Die Mecoprop-Freisetzung liegt auch bei Probekörpern ohne Substrat im ersten Bewitterungsjahr unter 1 % und somit in der gleichen Größenordnung wie die Laborauslauguntersuchungen. Bei den Probekörpern mit Substrat wurden bei Einsatz des Mecoprop-P-n-octylesters innerhalb der ersten zwölf Monate 1,4 % (bei 0,25 % Einsatzkonzentration) und 1,2 % (bei 0,5 % Einsatzkonzentration) des insgesamt zur Verfügung stehenden Mecoprops freigesetzt.

Tabelle 18:
Freigesetzte Anteile des in den Wurzelschutzprodukten vorliegenden Mecoprops unter der Annahme, dass die Wurzelschutzprodukte zu 100 % aus den jeweiligen Mecoprop-Estern bestehen.

Variante	Freigesetzter Mecoprop-Anteil [%]			
	DIN EN 16105	DIN CEN/TS 16637-2	12 Monate Freibewitterung	18 Monate Freibewitterung
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	--*	--*	--*	--*
0,5 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	--	--	--*	--*
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester	--*	--*	--*	--*
0,8 % Mecoprop-Polyethylenglykolester mit Substrat	--	--	--*	--*
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester	0,4	0,78	0,75	0,81
0,25 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	--	--	1,41	1,46
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester	0,38	0,46	0,51	0,56
0,4 % Mecoprop-P-n-octylester mit Substrat	--	--	1,20	1,23
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	0,48	0,67	0,48	0,58
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	--	--	0,93	0,95
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1)	0,3	0,43	0,26	0,29
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 1) mit Substrat	--	--	0,40	0,41
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	0,31	0,40	--**	--**
0,25 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	--	--	--**	--**
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2)	0,25	0,33	0,32	0,35
0,4 % Mecoprop-P-2-ethylhexylester (Produkt 2) mit Substrat	--	--	0,54	0,56

mit *: Berechnung nicht möglich.

** : abweichender Bewitterungszeitraum.

7 Weiterer Forschungsbedarf

Aus den Ergebnissen des vorliegenden Forschungsvorhabens ergeben sich folgende weitere Fragestellungen:

1. Welche Ausgangskonzentrationen an Mecoprop-Estern liegen tatsächlich in den Abdichtungsbahnen vor und wie homogen ist deren Verteilung innerhalb der Bahnen?

Nach Herstellerinformationen existiert bislang noch kein einheitliches, validiertes Verfahren, mit dem der Estergehalt einer Polymerbitumendachbahn bestimmt werden kann. Es ist das Ziel, ein solches Verfahren zu entwickeln, damit den Herstellern zukünftig ein einheitliches Verfahren zur Gehaltsprüfung im Zuge von Qualitätssicherung, Produktentwicklung und ggfs. Schadensfallanalytik zur Verfügung steht. Auch im Rahmen der CE-Kennzeichnung, für die eine „Declaration of Performance“ hinsichtlich Hygiene und Umweltschutz erforderlich ist, könnte ein solches einheitliches Verfahren Anwendung finden.

2. Wie reproduzierbar sind die Laborauslauguntersuchungen?

Derzeit sind nur wenige Daten aus Laborauslauguntersuchungen an Dachbahnen verfügbar. Es ist dringend zu prüfen, wie robust die Verfahren durchgeführt werden können. In diesem Zusammenhang ist zunächst der Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen (z. B. Volumen/Oberflächen-Verhältnisse, Bewegung des Eluenten, Aufbereitung der Eluate für die chemische Analyse) auf die Untersuchungsergebnisse zu klären. Anschließend sollte ein Laborvergleich unter Beteiligung mehrerer Laboratorien durchgeführt werden, um Fehlerquellen zu erkennen und die grundsätzliche Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus unterschiedlichen Prüfeinrichtungen sicherstellen zu können.

3. Wie entwickelt sich die Mecoprop-Freisetzung aus Dachbahnen mit und ohne Substrat und Bepflanzung mit fortschreitender Nutzungsdauer?

Erkenntnisse aus anderen Studien (z. B. [Burkhardt 2009], [Riechel 2015]) sowie aus Laborversuchen lassen eine Abnahme der freigesetzten Mecopropmengen mit der Zeit vermuten. Bei einer Weiterführung des Freilandversuchs könnte mit den auf diese Weise erzielten Ergebnissen eine fundierte Abschätzung vorgenommen werden, welche zeitliche Entwicklung die Mecoprop-Freisetzung während der Nutzungsdauer von Dachabdichtungen aus Polymerbitumen durchläuft. Der systematisch angelegte Freilandversuch mit bisher lückenloser Beprobung und Erfassung der meteorologischen Rahmenbedingungen bietet hierfür eine optimale Basis. Dabei ist auch von Interesse, wie sich die fortschreitende Durchwurzelung der Substratschicht bis hin zu den Dachbahnen auf die Freisetzung von Mecoprop auswirkt. Einerseits wird hierdurch ein einsetzender Mecoprop-„Verbrauch“ durch die Aufnahme des Wirkstoffs in die Pflanzen erwartet und gleichzeitig die Wasserretention der Substratschicht erhöht, andererseits aber auch eine verstärkte Freisetzung des Wirkstoffs durch die Erhö-

hung der Wasserkontaktfläche. Erwartet werden daher in den herabgesetzten Volumina erhöhte Mecoprop-Konzentrationen.

4. Welche weiteren organischen Verbindungen werden aus Bitumenbahnen freigesetzt?

Neben erhöhten Mecoprop-Konzentrationen wurden bei hohen Außentemperaturen auch erhöhte TOC-Konzentrationen in den Ablaufwässern der Probestkörper bestimmt. Daher bietet eine Weiterführung der Freilandversuche gleichzeitig die Gelegenheit zu untersuchen, welche (möglicherweise umweltrelevanten) organischen Stoffe neben Mecoprop bei hohen Außentemperaturen unter Anwendungsbedingungen aus unbegrüntem Dächern mit Polymerbitumendachbahnen freigesetzt werden.

5. Wie lässt sich die Mecoprop-Freisetzung direkt an der Quelle reduzieren?

Aus den untersuchten Dachaufbauten wird ab dem Zeitpunkt ihrer Erstellung Mecoprop durch ablaufendes Regenwasser freigesetzt. Zu diesem Zeitpunkt haben die Wurzeln der Bepflanzung die Dachbahn jedoch noch gar nicht erreicht. Gibt es eine Möglichkeit, die Mecoprop-Ester so in der Matrix zu immobilisieren oder zu schützen, dass eine Freisetzung von Mecoprop erst bei beginnender Durchwurzelung erfolgt? Auf diese Weise könnte auch die eingesetzte Menge an Ester reduziert werden.

Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass wurzelfest ausgerüstete Bitumenbahnen neben der Anwendung auf Dachflächen auch noch weitere Einsatzgebiete (z. B. Gebäudeabdichtung im Sockelbereich, Wegebau, Deichbau) haben, von Bedeutung. Die Erkenntnisse könnten in eine diesbezügliche Produktoptimierung einfließen.

8 Literaturverzeichnis

- [Abegglen 2012] ABEGGLEN, C., SIEGRIST, H., Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz, 2012, Umwelt-Wissen Nr. 1214.
- [Bollmann 2014a] BOLLMANN, U., VOLLERTSEN, J., CARMELIET, J., BESTER, K., Dynamics of biocide emissions from buildings in a suburban stormwater catchment - Concentrations, mass loads and emission processes. *Water Research*, 2014, (56), 66-76.
- [Bollmann 2014b] BOLLMANN, U., TANG, C., ERIKSSON, E., JÖNSSON, K., VOLLERTSEN, J., BESTER, K., Biocides in urban wastewater treatment plant influent at dry and wet weather: Concentrations, mass flows and possible sources. *Water Research*, 2014, (60), 64-74.
- [Bucheli 1998a] BUCHELI, T., MÜLLER, S., HEBERLE, S., SCHWARZENBACH R., Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration. *Environmental Science and Technology*, 1998, **32**, 3457-3464.
- [Bucheli 1998b] BUCHELI, T., MÜLLER, S., VOEGELIN, A., SCHWARZENBACH R., Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters. *Environmental Science and Technology*, 1998, **32**, 3465-3471.
- [Burkhardt 2009] BURKHARDT, M., ZULEEG, S., EUGSTER, J., BOLLER, M., HEAN, S., HAAG, R., SCHMID, P., KOHLER, M. Mecoprop in Bitumenbahnen. Auswaschung von Mecoprop aus Bitumenbahnen und Vorkommen im Regenkanal. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie, Bern, und des Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Abteilung Gewässerschutz, Zürich. 2009. DOI: 10.13140/RG.2.1.3294.0649
- [Burkhardt 2017] BURKHARDT, M., Von der Schadstoffquelle ins Gewässer: Eintragswege und Belastungen aus Bebauungen – Beregnete Bauteile. Vortrag im Rahmen des GDCh-Symposiums „Bauchemie und Wasserqualität“ am 16. März 2017, 16./17. März 2017, Berlin.
- [CEN/TS 16637-2] Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 2: Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung; Deutsche Fassung CEN/TS 16637-2:2014
- [DIN 38407-35] Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) – Teil 35: Bestimmung ausgewählter Phenoxyalkancarbonsäuren und weiterer acider Pflanzenschutzmittelwirkstoffe – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (F 35), DIN 38407-35:2010-10

- [DIBt 2011] Deutsches Institut für Bautechnik: Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Teile I und III in der Fassung vom Mai 2009, Teil II in der Fassung vom September 2011
https://www.dibt.de/de/Fachbereiche/data/Aktuelles_Ref_II_6_5.pdf, (Stand 13.7.2016).
- [DIN 32645] Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung; Deutsche Fassung DIN 32645:2008-11
- [DIN EN 13948] Abdichtungsbahnen - Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen - Bestimmung des Widerstandes gegen Wurzelpenetration; Deutsche Fassung EN 13948:2007 Ausgabedatum 2008-01
- [DIN EN 16105] Beschichtungsstoffe - Laborverfahren zur Bestimmung der Freisetzung von Substanzen aus Beschichtungen in intermittierendem Kontakt mit Wasser; Deutsche Fassung EN 16105:2011
- [Echa 2016] http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-c4c53047-ca8b-681a-e044-00144f67d031/AGGR-bc2b9771-1ff3-4c46-8f0b-2adcb587aa38_DISS-c4c53047-ca8b-681a-e044-00144f67d031.html
 (Stand 25.1.2016)
- [EU 2011] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, Amtsblatt der Europäischen Union L88/5-43, 04.04.2011
- [Fairbairn 2016a] FAIRBAIRN, D., KARPUZCU, M., ARNOLD, W., BARBER, B., KAUFENBERG, E., KOSKINEN, W., NOVAK, P., RICE, P., SWACKHAMER, D., Sources and transport of contaminants of emerging concern: A two-year study of occurrence and spatiotemporal variation in a mixed land use watershed. *Science of the Total Environment*, 2016, (551–552), 605–613.
- [Fairbairn 2016b] FAIRBAIRN, D., ARNOLD, W., BARBER, B., KAUFENBERG, E., KOSKINEN, W., NOVAK, P., RICE, P., SWACKHAMER, D., Contaminants of Emerging Concern: Mass Balance and Comparison of Wastewater Effluent and Upstream Sources in a Mixed-Use Watershed. *Environmental Science and Technology*, 2016, 50, 36-45.
- [FLL 2008] Verfahren zur Untersuchung der Wurzelfestigkeit von Bahnen und Beschichtungen für Dachbegrünungen. In: Dachbegrünungsrichtlinie: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. 2008, ISBN 978-3-940122-08-7.

- [Frkova 2016] FRKOVA, Z., JOHANSEN, A., JONGE, L. D., OLSEN, P., GOSEWINKEL, U., BESTER, K., Degradation and enantiomeric fractionation of mecoprop in soil previously exposed to phenoxy acid herbicides – New insights for bioremediation. *Science of the Total Environment*, 2016, (569–570), 1457–1465.
- [Gartiser 2016] GARTISER, S., HEISTERKAMP, I., SCHOKNECHT, U., BURKHARDT, M., RATTE, M., Empfehlungen für eine Testbatterie zur ökotoxikologischen Bewertung der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten. UBA-FB 002372, Texte 74/2016, Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2016.
- [Gestis 2016] GESTIS-Stoffdatenbank des IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (Stand 27.1.2016)
- [Hamburg 2016] <http://www.hamburg.de/gruendach/4364756/gruendachfoerderung/> (Stand 25.01.2016)
- [Ivashechkin 2005] IVASHECHKIN, P., Literatursauswertung zum Vorkommen gefährlicher Stoffe im Abwasser und in Gewässern. Forschungsbericht zum Vorhaben AZ IV 9 – 042059 im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen. 2005.
- [Jekel 2013] JEKEL, M., DOTT, W., Leitfaden: Polare organische Spurenstoffe als Indikatoren im anthropogen beeinflussten Wasserkreislauf. Ergebnisse des Querschnittsthemas „Indikatorsubstanzen“. BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa. Hrsg. DECHEMA e. V., Frankfurt am Main, 2013.
- [Köck-Schulmeyer 2013] KÖCK-SCHULMEYER, M., VILLAGRASSA, M., ALDA, M. L. V., VENTURA, F., BARCELO, D., Occurrence and behavior of pesticides in wastewater treatment plants and their environmental impact. *Science of the Total Environment*, 2013, (458-460), 466-476.
- [Launay 2016] LAUNAY, M., DITTMER, U., STEINMETZ, H., Organic micropollutants discharged by combined sewer overflows - Characterisation of pollutant sources and stormwater-related Processes. *Water Research*, 2016, 104, 82-92.
- [LAWA 2004] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) *Ableitung von Geringfügigkeits-schwellenwerten für das Grundwasser*. Berlin: Kulturbuch-Verlag GmbH, 2004. ISBN 3-88961-250-4.
- [München 2016] <http://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/foerderprogramm-priv-gruen/dachgruen.html> (Stand 25.01.2016)
- [OGewV 2016] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer - Oberflächengewässer-verordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)
- [Paszko 2016] PASZKO, T., MUSZYNSKI, P., MATERSKA, M., BOJANOWSKA, M., KOSTECKA, M., JACKOWSKA, I., Adsorption and degradation of phenoxyalkanoic acid herbicides in soils: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry*,

2016, **35** (2), 271–286.

- [Riechel 2015] RIECHEL, M., SCHUBERT, R.-L., CARADOT, N., SPERLING, K., KAHLERT, P.-C., HEISE, S., KÖHLER, M., KAISER, D., SCHMIDT, M., HEINZMANN, B., JOSWIG, K., MATZINGER, A., Austrag und Rückhalt von Mecoprop durch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Beitrag im Rahmen der 5. Aqua Urbanica vom 07. -08. Oktober 2015 in Stuttgart.
- [SDB 2012] Sicherheitsdatenblatt Preventol B2, LANXESS Distribution GmbH, 2012
- [Singer 2010] SINGER, H., JAUS, S., HANKE, I., LÜCK, A., HOLLENDER, J., ALDER, A., Determination of biocides and pesticides by on-line solid phase extraction coupled with mass spectrometry and their behaviour in wastewater and surface water. *Environmental Pollution*, 2010, 158, 3054-3064.
- [Skeff 2016] SKEFF, W., ORLIKOWSKA, A., SCHULZ-BULL, D., Methods comparison, transport and distribution of polar herbicides in the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.014>.
- [Tietje 2017] TIETJE, O., BURKHARDT, M., HOCHSTRASSER, F., GEHRIG, S., Abschätzung von Auswaschung und Umweltexposition durch Modellierung. Vortrag im Rahmen des GDCh-Symposiums „Bauchemie und Wasserqualität“ am 16. März 2017, 16./17. März 2017, Berlin.
- [Triebskorn 2008] TRIEBSKORN, R., Literaturstudie zu Mikroverunreinigungen und deren Effekte auf Gewässerbiozönosen im Bodensee-Einzugsgebiet: Nährstoff- und Schadstoffgehalte, ökotoxikologische und fischereibiologische Untersuchungen in den Fließgewässersystemen Argen, Schussen und Seefelder Aach. Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW, 2008.
- [TrinkwV 2001] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch - Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die durch Artikel 4 Absatz 21 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist
- [vdd 2012] TECHNISCHE REGELN für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Polymerbitumen- und Bitumenbahnen - abc der Bitumenbahnen. vdd Industrierverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e.V. (Hrsg.), Frankfurt/Main, 2012
- [Vialle 2013] VIALLE, C., SABLAYROLLES, C., SILVESTRE, J., MONIER, L., JACOB, S., HUAU, M.-C., MONTREJAUD-VIGNOLES, M., Pesticides in roof runoff: Study of a rural site and a suburban site. *Journal of Environmental Management*, 2013, 120, 48-64.
- [Wicke 2016] WICKE, D., MATZINGER, A., ROUAULT, P., Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins OgRe. Kompetenzzentrum Wasser Berlin. 2016.

[Wittmer 2010] WITTMER, I., BADER, H.-P., SCHEIDEGGER, R., SINGER, H., LÜCK, A., HANKE, I., CARLSSON, C., STAMM, C., Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. *Water Research*, 2010, 44, 2850-2862.

A.1 Anhang: Laborversuche

A.1.1 DIN EN 16105

Tabelle 19:
pH-Werte in den Eluaten des intermittierenden Tauchens nach DIN EN 16105. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Ester	Mecoprop-Polyethylenglykoles-ter		Mecoprop-P-n-octylester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2		ohne	
	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %		
Zyklus	pH-Wert [-]									
1	6,1	5,8	5,9	6,0	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9
2	5,9	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7	5,9	5,8	5,8	5,9
3	6,6	6,2	5,9	5,9	6,0	5,8	5,8	5,8	5,9	5,8
4	5,7	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,9
5	6,2	5,8	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7	6,0	5,7
6	6,3	5,9	5,8	5,8	5,7	5,7	6,0	6,0	5,6	5,7
7	5,9	5,7	5,9	5,9	5,7	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
8	5,8	5,9	6,1	6,0	5,9	6,0	5,7	5,7	5,8	5,7
9	6,3	6,1	6,1	5,9	5,7	6,0	5,7	5,7	5,9	5,9

Tabelle 20:

Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate des intermittierenden Tauchens nach DIN EN 16105. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester		Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2				ohne
	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Konzentration bezogen auf Bitumen									
Zyklus	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]								
1	4,8	4,6	3,9	4,3	5,0	5,1	4,5	4,4	4,2
2	-- ^a	-- ^a	-- ^a	-- ^a	-- ^a	-- ^a	1,7	1,9	1,8
3	1,8	1,8	1,5	1,7	1,9	1,5	1,8	2,6	1,8
4	1,9	1,8	2,2	2,1	1,9	1,6	1,5	1,5	1,4
5	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,8	1,3	1,3	1,3
6	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,4
7	1,4	1,5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,2	1,3
8	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,9	2,4	1,3
9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,3	1,3

a: Messung fehlerhaft durch defekte Elektrode

Tabelle 21:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten des intermittierenden Tauchens nach DIN EN 16105. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0								
	Konzentration [µg/L]								
1	101,4	154,2	155,9	315,7	188,5	234,8	135,1	233,5	16,6
2	61,4	84,7	48,5	104,1	61,5	80,7	31,6	50,5	7,0
3	33,6	80,5	24,5	43,8	27,4	40,5	20,7	32,0	5,0
4	39,6	47,9	18,2	30,8	24,5	28,1	14,9	22,1	3,0
5	23,2	46,9	17,5	23,1	19,3	19,6	12,2	18,3	2,5
6	22,8	34,5	13,5	18,3	13,2	16,4	10,9	13,0	2,3
7	20,1	43,7	9,7	18,5	12,3	15,8	9,7	14,0	2,4
8	23,3	44,5	10,0	17,1	12,5	13,1	6,7	9,1	1,8
9	18,8	36,5	10,1	21,6	12,6	12,2	6,5	11,1	2,0

Tabelle 22:

Mecoprop-Austräge beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0								
	Austrag [µg/m³]								
1	4959,9	7500,2	7629,0	15235,2	9205,1	11512,4	6223,0	10716,4	797,3
2	3035,6	4227,9	2368,3	5141,7	3028,0	3974,4	1531,8	2424,0	342,7
3	1653,9	3969,6	1211,6	2152,7	1346,6	1993,1	966,3	1510,8	240,4
4	1977,2	2376,2	892,0	1536,6	1214,4	1386,9	736,9	1080,9	148,9
5	1148,5	2330,3	864,0	1144,5	957,0	967,7	595,4	901,0	124,3
6	1143,5	1722,2	669,3	907,2	643,9	815,4	534,1	629,8	105,2
7	1001,1	2174,5	476,5	916,2	610,9	777,7	471,9	679,0	117,2
8	1150,4	2208,7	491,7	843,2	621,0	643,5	332,3	450,1	90,3
9	947,8	1800,0	492,0	1064,8	615,8	613,9	322,3	547,1	97,5

Tabelle 23:

Kumulierte Mecoprop-Austräge beim intermittierenden Tauchen nach DIN EN 16105. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]								
1	5,0	7,5	7,6	15,2	9,2	11,5	6,2	10,7	0,8
2	8,0	11,7	10,0	20,4	12,2	15,5	7,8	13,1	1,1
3	9,6	15,7	11,2	22,5	13,6	17,5	8,7	14,7	1,4
4	11,6	18,1	12,1	24,1	14,8	18,9	9,5	15,7	1,5
5	12,8	20,4	13,0	25,2	15,8	19,8	10,1	16,6	1,7
6	13,9	22,1	13,6	26,1	16,4	20,6	10,6	17,3	1,8
7	14,9	24,3	14,1	27,0	17,0	21,4	11,1	17,9	1,9
8	16,1	26,5	14,6	27,9	17,6	22,1	11,4	18,4	2,0
9	17,0	28,3	15,1	28,9	18,2	22,7	11,7	18,9	2,1

A.1.2 DIN CEN/TS 16637-2

Tabelle 24:
pH-Werte in den Eluaten des Langzeittauchversuchs nach DIN CEN/TS 16637-2. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	pH-Wert [-]								
1*	6,6	6,9	6,9	6,7	6,8	6,9	6,7	6,9	6,9
2*	7,0	6,9	7,0	7,1	7,0	7,0	7,1	7,2	7,1
3*	7,5	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,0	7,2	7,2
4	7,7	7,7	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6
5	7,7	7,7	7,6	7,6	7,7	7,8	7,6	7,6	7,5
6	7,7	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6
7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,8	7,8	7,7	7,8	7,8
8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8

* keine Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH).

Tabelle 25:

Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate des Langzeitauchversuchs nach DIN CEN/TS 16637-2. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]								
1*	12,6	10,5	13,9	11,6	10,7	10,8	12,4	13,6	13,6
2*	14,0	12,6	14,8	13,7	12,6	13,6	14,7	16,0	14,9
3*	15,1	14,0	16,6	15,1	14,4	15,0	15,6	17,4	16,5
4	204,5	204,0	184,2	191,6	210,5	209,5	194,1	184,8	197,1
5	221,0	219,5	203,5	200,9	222,5	218,5	205,0	206,5	208,5
6	219,0	218,0	201,4	205,5	215,0	221,0	205,0	208,5	208,0
7	218,5	221,0	219,5	218,5	222,0	223,5	215,0	221,0	220,5
8	240,0	239,5	245,0	237,0	238,0	239,0	240,5	242,5	251,0

* keine Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH).

Tabelle 26:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten des Langzeittauchversuchs nach DIN CEN/TS 16637-2. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Biotumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0								
	Konzentration [µg/L]								
1*	298,0	367,6	280,9	487,8	330,6	461,6	224,1	418,6	48,1
2*	277,8	338,2	101,1	140,6	149,6	191,7	71,9	111,5	15,2
3*	207,4	222,1	74,2	89,5	54,5	66,2	45,3	66,2	5,7
4	238,0	264,4	66,1	77,1	42,2	55,1	39,3	51,6	5,1
5	491,0	459,8	100,1	89,9	48,2	64,3	39,9	53,7	9,2
6	729,9	904,4	93,6	79,9	48,8	79,8	34,9	41,5	7,8
7	1389,6	1775,3	158,7	109,0	80,5	124,5	42,3	44,1	12,2
8	1827,1	2381,1	122,3	90,3	87,9	139,6	32,7	60,0	11,6

* keine Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH).

Tabelle 27:

Mecoprop-Austräge beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0								
	Austrag [µg/m²]								
1*	8438,3	11825,8	8123,8	14037,8	10681,4	13069,4	6092,2	12178,2	1402,0
2*	8091,2	9673,4	3010,5	4168,5	4313,6	5583,0	2093,0	3250,6	450,4
3*	6189,5	6581,1	2168,3	2680,2	1622,8	1974,6	1348,9	2005,3	165,9
4	6992,2	7858,1	2026,8	2267,3	1220,8	1617,7	1130,3	1537,9	143,4
5	14509,7	13495,3	2993,7	2742,0	1403,0	1900,1	1192,5	1595,6	272,4
6	21662,4	26537,3	2837,7	2402,9	1470,4	2368,5	1037,3	1224,3	230,5
7	40424,8	50515,4	4738,9	3237,7	2146,1	3621,8	1267,4	1291,2	358,5
8	52501,7	68938,0	3562,6	2710,7	2526,3	4011,4	967,7	1757,8	341,1

* keine Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH).

Tabelle 28:

Kumulierte Mecoprop-Austräge beim Langzeittauchversuch nach DIN CEN/TS 16637-2. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-Polyethylenglykolester	Mecoprop-P-n-octylester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	ohne
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,5 %	0,8 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	0,25 %	0,4 %	--
Zyklus	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]								
1*	8,4	11,8	8,1	14,0	10,7	13,1	6,1	12,2	1,4
2*	16,5	21,5	11,1	18,2	15,0	18,7	8,2	15,4	1,9
3*	22,7	28,1	13,3	20,9	16,6	20,6	9,5	17,4	2,0
4	29,7	35,9	15,3	23,2	17,8	22,2	10,7	19,0	2,2
5	44,2	49,4	18,3	25,9	19,2	24,1	11,9	20,6	2,4
6	65,9	76,0	21,2	28,3	20,7	26,5	12,9	21,8	2,7
7	106,3	126,5	25,9	31,5	22,9	30,1	14,2	23,1	3,0
8	158,8	195,4	29,5	34,2	25,4	34,1	15,1	24,8	3,4

* keine Zugabe von 0,4 % Acticide MBS (Fa. Thor GmbH).

A.2 Anhang: Freibewitterung

A.2.1 Gründachaufbau

Tabelle 29:
Eigenschaften des verwendeten Pflanzsubstrats (Herstellerangaben).

Parameter	Ergebnis
Maximale Wasserkapazität (WK)	35 Vol.-%
Luftgehalt bei max. WK	28 Vol.-%
Gesamtporenvolumen	63 Vol.-%
Wasserdurchlässigkeit mod. Kf	26 mm/min
pH-Wert	7,35
Salzgehalt	0,6 g/L
Gehalt an organischer Substanz	29 g/L

So schnell bringen Sie Grün aufs Dach Alles für 10 m² Gründach auf einer Palette



1 Vor der Verlegung Untergrund sauber abkehren und die durchwurzelungsfeste Abdichtung auf Dichtigkeit prüfen. SDF-Matte auf der wurzelfesten Abdichtung ausrollen ...



2 ... zurechtschneiden und vollflächig, stumpf gestoßen verlegen. Überlappung der Längsnähte schließen.



3 Im Bereich von Dachabläufen SDF-Matte ausschneiden. Kann kein Kontrollschacht aufgestellt werden, Dachablauf mit Grobkies einfassen – vgl. Checkliste.



4 Unmittelbar im Anschluss pro Quadratmeter zwei Sack Pflanzerde einbauen. Bauder SDF-Matte nicht ohne Auflast liegen lassen.



5 Auf eine gleichmäßige Einbauhöhe der Pflanzerde von ca. 8 cm achten.



6 Flachballenstauden einsetzen* und leicht andrücken. Der Pflanzenballen muss leicht mit Substrat bedeckt sein. Anschließend wässern und düngen.

* Pflanz-Tipp: Die Pflanzung wirkt am besten, wenn gleiche Arten in Gruppen (Gräser/Kräuter: 3-5 Stück; Sedumpflanzen: 8-15 Stück) zusammengefasst werden. Gepflanzt werden 12 Stück/m² im Abstand von 25-30 cm. Nach der Pflanzung durchdringend wässern und Startdünger gleichmäßig verteilen.

Bild 53:
Aufbauanleitung zum „Standard Gründach-Paket“ der Fa. Paul Bauder GmbH & Co. KG, Stuttgart, für die Erstellung der Probekörper mit Substrat und Bepflanzung.

A.2.2 Ablaufvolumina

Tabelle 30:
Ablaufwasservolumina in der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung. Bei Volumina > 10,5 L ist das in den Tonnen aufgefangene Volumen angegeben.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Volumen [L]							
1	21.09.2015	11,0	2,1	11,1	1,8	10,9	1,7	7,9	1,4
2	23.09.2015	11,1	5,2	11,0	5,0	11,2	5,0	11,0	5,0
3	05.10.2015	1,3	-- ^a	1,3	-- ^a	1,3	0,9	1,3	1,0 ^b
4	08.10.2015	11,3	11,4	11,0	10,9	11,3	11,3	10,9	11,1
5	14.10.2015	11,3	11,0	11,1	10,7	11,0	11,0	11,0	11,3
6	15.10.2015	10,8	11,0	11,1	10,7	11,1	11,1	10,7	11,4
7	19.10.2015	10,8	11,0	10,8	10,7	11,0	10,9	11,2	10,9
8	20.10.2015	4,2	3,7	4,2	3,9	4,2	3,8	4,2	3,7
9	29.10.2015	2,1	0,9	2,1	1,0	2,1	0,8	2,1	0,8
10	16.11.2015	1,3	-- ^a	1,2	-- ^a	1,3	-- ^a	1,2	-- ^a
11	02.12.2015	84,9	54,3	84,9	54,3	84,9	54,3	84,9	54,3
12	17.12.2015	26,9	19,8	26,9	19,8	26,9	19,8	26,9	19,8
13	08.01.2016	33,4	24,7	33,4	24,7	33,4	24,7	33,4	24,7
14	11.01.2016	17,1	14,9	17,1	14,9	17,1	14,9	17,1	14,9
15	13.01.2016	17,3	15,4	17,3	15,4	17,3	15,4	17,3	15,4
16	27.01.2016	12,8	4,7	15,3	4,5	15,3	4,7	15,3	4,7
17	02.02.2016	58,8	54,3	58,8	54,3	58,8	54,3	58,8	54,3
18	08.02.2016	18,2	10,1	18,2	10,8	18,2	10,9	18,2	10,0
19	09.02.2016	3,8	-- ^a	3,6	-- ^a	3,7	-- ^a	3,7	-- ^a
20	15.02.2016	14,2	5,8	14,2	6,1	14,2	6,3	14,2	5,2
21	17.02.2016	3,5	2,3	3,4	2,2	3,5	2,3	3,5	2,3
22	22.02.2016	31,7	28,4	31,7	28,4	31,7	28,4	31,7	28,4
23	29.02.2016	18,0	2,3	18,0	2,7	18,0	2,5	18,0	2,3
24	21.03.2016	46,5	37,9	46,5	37,9	46,5	37,9	46,5	37,9
25	29.03.2016	25,3	15,5	25,3	15,5	25,3	15,5	25,3	15,5
26	31.03.2016	1,5	-- ^a	1,5	-- ^a	1,5	-- ^a	1,4	-- ^a
27	11.04.2016	13,7	1,6	13,7	1,6	13,7	1,8	13,7	1,6

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Volumen [L]							
28	12.04.2016	1,6	-- ^a	1,5	-- ^a	1,6	-- ^a	1,5	-- ^a
29	18.04.2016	45,3	34,3	45,3	34,3	45,3	34,3	45,3	34,3
30	02.05.2016	50,1	28,4	50,1	28,4	50,1	28,4	50,1	28,4
31	04.05.2016	4,7	-- ^a	3,1	-- ^a	3,2	-- ^a	3,2	-- ^a
32	17.05.2016	47,9	31,0	47,9	31,0	47,9	31,0	47,9	31,0
33	20.05.2016	14,0	7,3	14,0	7,7	14,0	7,8	14,0	7,2
34	25.05.2016	54,3	46,0	54,3	46,0	54,3	46,0	54,3	46,0
35	30.05.2016	14,4	4,3	14,4	4,3	14,4	4,5	14,4	4,0
36	31.05.2016	13,4	9,1	13,4	9,2	13,4	9,2	13,4	9,1
37	01.06.2016	12,8	9,4	12,8	9,6	12,8	9,5	12,8	9,4
38	03.06.2016	3,8	1,7	3,7	1,7	3,8	1,8	3,7	1,7
39	06.06.2016	29,4	25,5	29,4	25,5	29,4	25,5	29,4	25,5
40	10.06.2016	35,4	26,3	35,4	26,3	35,4	26,3	35,4	26,3
41	13.06.2016	5,4	-- ^a	5,3	-- ^a	5,4	-- ^a	5,3	-- ^a
42	16.06.2016	22,5	9,6	22,5	9,7	22,5	10,2	22,5	9,5
43	20.06.2016	45,4	37,3	45,4	37,3	45,4	37,3	45,4	37,3
44	27.06.2016	27,4	17,3	27,4	17,3	27,4	17,3	27,4	17,3
45	01.07.2016	18,3	9,2	18,3	9,0	18,3	9,2	18,3	8,7
46	04.07.2016	8,9	2,8	8,8	2,9	8,9	3,0	8,8	2,6
47	12.07.2016	9,4	-- ^a	9,4	-- ^a	9,4	-- ^a	9,4	-- ^a
48	14.07.2016	66,5	57,5	66,5	57,5	66,5	57,5	66,5	57,5
49	15.07.2016	6,4	6,8	6,4	6,8	6,4	7,0	6,4	6,8
50	22.07.2016	2,5	-- ^a	2,4	-- ^a	2,5	-- ^a	2,4	-- ^a
51	25.07.2016	81,2	76,1	81,2	75,9	81,2	76,4	81,2	76,1
52	27.07.2016	1,8	-- ^a	1,8	-- ^a	1,8	-- ^a	1,8	-- ^a
53	28.07.2016	6,5	2,7	5,5	3,1	6,6	3,0	6,4	2,9
54	01.08.2016	4,7	-- ^a	4,6	-- ^a	4,7	-- ^a	4,5	-- ^a
55	03.08.2016	3,6	-- ^a	3,5	-- ^a	3,6	-- ^a	3,5	-- ^a
56	08.08.2016	49,2	41,2	49,2	41,2	49,2	41,2	49,2	41,2
57	10.08.2016	19,3	13,3	19,3	13,3	19,3	13,3	19,3	13,3
58	11.08.2016	21,3	25,4	21,3	25,4	21,3	25,4	21,3	25,4
59	16.08.2016	4,0	-- ^a	4,0	-- ^a	4,1	-- ^a	4,0	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Volumen [L]							
60	19.08.2016	3,0	-- ^a	2,9	-- ^a	3,0	-- ^a	2,8	-- ^a
61	22.08.2016	21,7	13,0	21,7	13,0	21,7	13,0	21,7	13,0
62	30.08.2016	5,3	-- ^a	5,2	-- ^a	5,3	-- ^a	5,2	-- ^a
63	01.09.2016	18,1	12,8	18,1	12,8	18,1	12,8	18,1	12,8
64	06.09.2016	19,9	8,5	19,9	9,0	19,9	8,6	19,9	8,1
65	19.09.2016	85,3	75,8	85,3	75,8	85,3	75,8	85,3	75,8
66	21.09.2016	18,4	18,3	18,4	18,3	18,4	18,3	18,4	18,3
67	04.10.2016	17,5	4,1	17,5	4,2	17,5	4,4	17,5	3,7
68	05.10.2016	5,8	5,2	5,8	5,2	5,8	5,2	5,8	5,1
69	10.10.2016	8,7	5,7	8,6	5,7	8,7	5,8	8,7	5,7
70	13.10.2016	4,0	-- ^a	4,0	-- ^a	4,1	-- ^a	4,1	-- ^a
71	20.10.2016	17,3	14,8	17,3	14,8	17,3	14,8	17,3	14,8
72	27.10.2016	23,4	18,2	23,4	18,2	23,4	18,2	23,4	18,2
73	03.11.2016	10,3	5,1	10,0	5,2	10,2	5,3	10,0	5,0
74	07.11.2016	21,3	20,6	21,3	20,6	21,3	20,6	21,3	20,6
75	16.11.2016	32,4	29,4	32,4	29,4	32,4	29,4	32,4	29,4
76	17.11.2016	13,3	14,2	13,3	14,2	13,3	14,2	13,3	14,2
77	21.11.2016	5,9	4,7	5,8	4,7	5,8	4,8	5,7	4,6
78	07.02.2017	94,8	73,4	94,8	73,4	94,8	73,4	94,8	73,4
79	20.02.2017	24,5	20,8	24,5	20,8	24,5	20,8	24,5	20,8
80	22.02.2017	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b
81	24.02.2017	4,0	-- ^a	4,1	-- ^a	4,0 ^b	-- ^a	3,9	-- ^a
82	01.03.2017	9,3	2,1	9,1	2,4	9,2	2,6	9,1	2,2
83	03.03.2017	12,7	7,7	12,7	7,6	12,7	8,2	12,7	7,7
84	06.03.2017	2,6	-- ^a	2,6	-- ^a	2,7	-- ^a	2,6	-- ^a
85	08.03.2017	6,7	-- ^a	6,6	-- ^a	6,7	-- ^a	6,6	-- ^a
86	10.03.2017	39,3	36,0	39,3	36,0	39,3	36,0	39,3	36,0
87	20.03.2017	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b
88	24.03.2017	6,7	1,6	6,6	1,8	6,7	1,9	6,7	1,9

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

Tabelle 31:

Ablaufwasservolumina in der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2, und wirkstofffreie Referenzvarianten. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung (außer wirkstofffreie Referenzvarianten 17 und 18). Bei Volumina > 10,5 L ist das in den Tonnen aufgefangene Volumen angegeben.

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1			Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2			--			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Volumen [L]									
1	21.09.2015	11,1	2,8	10,6	2,9		11,0	2,6	10,7	3,2
2	23.09.2015	11,1	5,2	10,8	5,7		11,3	5,6	11,0	5,4
3	05.10.2015	1,3	-- ^a	1,2	0,9 ^b		1,3	0,9 ^b	1,2	1,2
4	08.10.2015	11,2	11,3	10,8	10,6		11,2	11,0	11,0	11,5
5	14.10.2015	11,0	11,2	10,6	11,0		10,6	10,9	10,9	11,4
6	15.10.2015	10,9	11,2	10,7	11,0		10,7	10,9	10,9	11,4
7	19.10.2015	11,0	10,9	10,7	10,8		10,6	10,8	10,9	10,6
8	20.10.2015	4,1	3,8	4,1	3,8		4,2	3,8	4,1	3,8
9	29.10.2015	2,1	1,0	1,8	1,0		2,1	0,9	2,0	0,9
10	16.11.2015	1,3	-- ^a	1,1	-- ^a		1,2	-- ^a	1,2	-- ^a
11	02.12.2015	84,9	54,3	84,9	54,3		84,9	54,3	84,9	54,3
12	17.12.2015	26,9	19,8	26,9	19,8		26,9	19,8	26,9	19,8
13	08.01.2016	33,4	24,7	33,4	24,7		33,4	24,7	33,4	24,7
14	11.01.2016	17,1	14,9	17,1	14,9		17,1	14,9	17,1	14,9

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1			Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25			0,4			0,4				
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nummer		Volumen [L]										
15	13.01.2016	17,3	15,4	17,3	15,4			17,3	15,4	17,3	15,4	
16	27.01.2016	15,3	5,5	15,3	5,5			15,3	5,2	15,3	5,3	
17	02.02.2016	58,8	54,3	58,8	54,3			58,8	54,3	58,8	54,3	
18	08.02.2016	18,2	10,9	18,2	10,9			18,2	10,7	18,2	10,0	
19	09.02.2016	3,7	-- ^a	3,7	-- ^a			3,6	-- ^a	3,5	-- ^a	
20	15.02.2016	14,2	5,5	14,2	6,0			14,2	5,1	14,2	5,3	
21	17.02.2016	3,5	2,2	3,5	2,4			3,5	2,3	3,5	2,4	
22	22.02.2016	31,7	28,4	31,7	28,4			31,7	28,4	31,7	28,4	
23	29.02.2016	18,0	2,9	18,0	2,9			18,0	2,6	18,0	2,2	
24	21.03.2016	46,5	37,9	46,5	37,9			46,5	37,9	46,5	37,9	
25	29.03.2016	25,3	15,5	25,3	15,5			25,3	15,5	25,3	15,5	
26	31.03.2016	1,7	-- ^a	1,5	-- ^a			1,5	0,2	1,4	-- ^a	
27	11.04.2016	13,7	1,6	13,7	1,9			13,7	1,4	13,7	1,6	
28	12.04.2016	1,6	-- ^a	1,6	-- ^a			1,6	-- ^a	1,6	-- ^a	
29	18.04.2016	45,3	34,3	45,3	34,3			45,3	34,3	45,3	34,3	
30	02.05.2016	50,1	28,4	50,1	28,4			50,1	28,4	50,1	28,4	
31	04.05.2016	3,2	-- ^a	3,2	-- ^a	2,7	-- ^a	3,1	-- ^a	3,1	-- ^a	

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2										
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	mit
Lfd. Nummer	Datum	Volumen [L]									
32	17.05.2016	47,9	31,0	47,9	31,0	47,9	31,0	47,9	31,0	47,9	31,0
33	20.05.2016	14,0	7,3	14,0	8,5	14,0	6,1	14,0	7,1	14,0	7,5
34	25.05.2016	54,3	46,0	54,3	46,0	54,3	46,0	54,3	46,0	54,3	46,0
35	30.05.2016	14,4	4,4	14,4	4,7	14,4	4,0	14,4	3,9	14,4	4,4
36	31.05.2016	13,4	9,1	13,4	10,0	13,4	9,0	13,4	9,3	13,4	9,3
37	01.06.2016	12,8	9,5	12,8	10,5	12,8	9,1	12,8	9,5	12,8	9,5
38	03.06.2016	3,7	1,5	3,8	1,9	3,7	1,2	3,7	1,7	3,7	1,6
39	06.06.2016	29,4	25,5	29,4	25,5	29,4	25,5	29,4	25,5	29,4	25,5
40	10.06.2016	35,4	26,3	35,4	26,3	35,4	26,3	35,4	26,3	35,4	26,3
41	13.06.2016	5,4	-- ^a	5,4	-- ^a	5,3	-- ^a	5,4	-- ^a	5,3	-- ^a
42	16.06.2016	22,5	9,8	22,5	10,7	22,5	8,3	22,5	9,6	22,5	9,9
43	20.06.2016	45,4	37,3	45,4	37,3	45,4	37,3	45,4	37,3	45,4	37,3
44	27.06.2016	27,4	17,3	27,4	17,3	27,4	17,3	27,4	17,3	27,4	17,3
45	01.07.2016	18,3	9,0	18,3	9,4	18,3	8,5	18,3	9,0	18,3	9,2
46	04.07.2016	8,8	2,8	9,2	3,4	8,9	2,2	8,7	2,8	8,8	2,9
47	12.07.2016	9,5	-- ^a	9,5	-- ^a	9,7	-- ^a	9,5	-- ^a	9,4	-- ^a
48	14.07.2016	66,5	57,5	66,5	57,5	66,5	57,5	66,5	57,5	66,5	57,5

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1				Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2				--	--
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4		--	--
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer		Volumen [L]									
Datum		Volumen [L]									
49	15.07.2016	6,4	6,8	6,8	7,1	7,1	6,3	7,1	6,9	6,8	7,1
50	22.07.2016	2,5	-- ^a	2,4	-- ^a	2,3	-- ^a	2,5	-- ^a	2,4	-- ^a
51	25.07.2016	81,2	76,1	81,2	76,1	81,2	76,1	81,2	76,1	81,2	76,1
52	27.07.2016	1,9	-- ^a	1,9	-- ^a	1,9	-- ^a	1,9	-- ^a	1,8	-- ^a
53	28.07.2016	6,6	2,6	6,4	3,2	7,0	2,2	7,0	3,3	6,9	3,2
54	01.08.2016	4,7	-- ^a	4,7	-- ^a	4,4	-- ^a	4,7	-- ^a	4,6	-- ^a
55	03.08.2016	3,5	-- ^a	5,0	-- ^a	3,4	-- ^a	3,4	-- ^a	3,5	-- ^a
56	08.08.2016	49,2	41,2	49,2	41,2	49,2	41,2	49,2	41,2	49,2	41,2
57	10.08.2016	19,3	13,3	19,3	13,3	19,3	13,3	19,3	13,3	19,3	13,3
58	11.08.2016	21,3	25,4	21,3	25,4	21,3	25,4	21,3	25,4	21,3	25,4
59	16.08.2016	4,1	-- ^a	4,4	-- ^a	4,1	-- ^a	4,1	-- ^a	4,1	-- ^a
60	19.08.2016	2,9	-- ^a	2,8	-- ^a	2,9	-- ^a	2,9	-- ^a	2,9	-- ^a
61	22.08.2016	21,7	13,0	21,7	13,0	21,7	13,0	21,7	13,0	21,7	13,0
62	30.08.2016	4,9	-- ^a	5,3	-- ^a	5,1	-- ^a	5,1	-- ^a	5,2	-- ^a
63	01.09.2016	18,1	12,8	18,1	12,8	18,1	12,8	18,1	12,8 ^b	18,1	12,8
64	06.09.2016	19,9	8,3	19,9	9,5	19,9	7,8	19,9	8,3 ^b	19,9	8,4
65	19.09.2016	85,3	75,8	85,3	75,8	85,3	75,8	85,3	75,8	85,3	75,8

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1									
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nummer	Datum	Volumen [L]									
66	21.09.2016	18,4	18,3	18,4	18,3	18,4	18,3	18,4	18,3	18,4	18,3
67	04.10.2016	17,5	4,3	17,5	4,7	17,5	4,0	17,5	4,1	17,5	4,1
68	05.10.2016	5,8	5,2	6,1	5,7	5,8	5,1	5,7	5,2	5,8	5,2
69	10.10.2016	8,7	5,8	8,7	6,4	9,0	5,7	8,8	6,0	8,7	5,9
70	13.10.2016	4,1	-- ^a	4,2	-- ^a	4,3	-- ^a	4,2	-- ^a	4,1	-- ^a
71	20.10.2016	17,3	14,8	17,3	14,8	17,3	14,8	17,3	14,8	17,3	14,8
72	27.10.2016	23,4	18,2	23,4	18,2	23,4	18,2	23,4	18,2	23,4	18,2
73	03.11.2016	10,1	5,0	10,3	5,9	9,9	4,6	9,9	4,8	10,0	5,1
74	07.11.2016	21,3	20,6	21,3	20,6	21,3	20,6	21,3	20,6	21,3	20,6
75	16.11.2016	32,4	29,4	32,4	29,4	32,4	29,4	32,4	29,4	32,4	29,4
76	17.11.2016	13,3	14,2	13,3	14,2	13,3	14,2	13,3	14,2	13,3	14,2
77	21.11.2016	5,8	4,6	6,2	5,0	5,9	4,6	5,8	4,8	5,7	4,6
78	07.02.2017	94,8	73,4	94,8	73,4	94,8	73,4	94,8	73,4	94,8	73,4
79	20.02.2017	24,5	20,8	24,5	20,8	24,5	20,8	24,5	20,8	24,5	20,8
80	22.02.2017	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b	17,8	15,1 ^b
81	24.02.2017	4,1	-- ^a	4,3 ^b	-- ^a	3,8	-- ^a	4,1	-- ^a	3,9	-- ^a
82	01.03.2017	9,2	2,3	9,9	3,1	9,2	2,3	9,3	2,0	9,2	2,2

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Volumen [L]									
Datum										
83	12,7	7,7	12,7	8,4	12,7	7,7	12,7	7,6	12,7	7,9
84	2,7	-- ^a	2,6	-- ^a	2,9	-- ^a	2,8	-- ^a	2,6	-- ^a
85	6,6	-- ^a	6,7	-- ^a	6,4	-- ^a	6,5	-- ^a	6,4	-- ^a
86	39,3	36,0	39,3	36,0	39,3	36,0	39,3	36,0	39,3	36,0
87	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b	27,4	15,0 ^b
88	6,7	1,7	7,0	2,6	6,9	1,7	6,8	1,8	6,7	2,1

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

A.2.3 pH-Werte

Tabelle 32:

pH-Werte der Eluate aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert des Eluats [-]							
1	21.09.2015	6,2	7,2	6,5	7,0	6,5	7,0	6,3	7,1
2	23.09.2015	6,0	7,2	6,5	7,2	6,2	7,2	7,2	7,1
3	05.10.2015	6,1	-- ^a	6,3	-- ^a	6,1	8,4	7,1	8,2 ^b
4	08.10.2015	6,6	7,8	6,7	7,9	6,5	7,8	6,5	7,7
5	14.10.2015	6,6	8,3	6,5	8,3	6,7	8,3	6,4	8,2
6	15.10.2015	6,4	8,3	6,2	8,3	6,1	8,3	6,3	8,2
7	19.10.2015	6,5	8,3	6,4	8,2	6,6	8,2	6,5	8,2
8	20.10.2015	5,8	8,3	6,0	8,3	6,0	8,3	5,9	8,2
9	29.10.2015	6,7	8,4	7,0	8,4	7,1	8,5	6,8	8,7
10	16.11.2015	6,8	-- ^a	6,9	-- ^a	6,9	-- ^a	7,0	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
14	11.01.2016	6,3	8,3	6,6	8,4	6,8	8,3	7,2	8,5
15	13.01.2016	6,9	8,3	6,6	8,2	7,2	8,3	7,6	8,3
16	27.01.2016	6,0	8,5	6,2	8,3	6,0	8,1	6,1	8,5
17	02.02.2016	6,0	8,4	5,9	8,2	5,9	8,1	5,9	8,1
18	08.02.2016	6,2	8,2	6,3	8,2	6,3	8,1	6,9	8,2
19	09.02.2016	6,4	-- ^a	6,6	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a
20	15.02.2016	6,2	9,0	6,2	8,9	6,3	8,6	6,4	8,9
21	17.02.2016	6,3	8,5	6,5	8,3	6,3	8,4	6,3	8,6
22	22.02.2016	6,2	8,4	6,4	8,3	6,3	8,3	6,3	8,5
23	29.02.2016	6,5	8,1	6,7	8,0	6,6	8,2	7,1	8,2
24	21.03.2016	6,3	9,3	6,3	8,9	6,2	9,1	6,2	9,5
25	29.03.2016	6,2	8,5	6,4	8,6	6,4	8,5	6,4	9,0
26	31.03.2016	6,9	-- ^a	6,9	-- ^a	7,0	-- ^a	6,9	-- ^a
27	11.04.2016	6,7	8,2	6,6	8,2	6,5	8,2	6,5	8,3
28	12.04.2016	6,4	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,4	-- ^a
29	18.04.2016	6,7	7,9	6,6	7,9	6,5	8,0	6,5	7,9
30	02.05.2016	6,3	8,2	6,3	8,4	6,3	8,4	6,3	8,7
31	04.05.2016	6,4	-- ^a	6,3	-- ^a	6,3	-- ^a	6,3	-- ^a
32	17.05.2016	6,2	8,5	6,1	8,5	6,1	8,6	6,2	8,7

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert des Eluats [-]							
33	20.05.2016	6,5	7,9	6,5	7,9	6,4	7,9	6,5	7,9
34	25.05.2016	6,3	7,9	6,1	7,9	6,1	7,9	6,1	7,9
35	30.05.2016	6,3	7,6	6,2	7,5	6,2	7,5	6,2	7,6
36	31.05.2016	6,4	7,9	6,5	7,9	6,4	7,9	6,3	7,9
37	01.06.2016	6,4	7,7	6,4	7,8	6,3	7,8	6,3	7,9
38	03.06.2016	6,9	8,9	6,7	8,5	6,9	8,9	6,6	9,4
39	06.06.2016	7,0	8,5	6,4	8,3	6,6	8,4	6,5	8,8
40	10.06.2016	6,3	8,0	6,2	7,9	6,2	7,9	6,2	7,9
41	13.06.2016	6,4	-- ^a	6,4	-- ^a	6,4	-- ^a	6,2	-- ^a
42	16.06.2016	6,5	8,4	6,3	8,1	6,4	8,2	6,3	8,1
43	20.06.2016	6,6	8,6	6,4	8,5	6,3	8,6	6,3	8,7
44	27.06.2016	6,1	7,7	6,1	7,7	6,2	7,8	6,1	7,8
45	01.07.2016	6,2	7,6	6,1	7,5	6,1	7,6	6,1	7,7
46	04.07.2016	6,3	9,0	6,3	8,6	6,3	8,7	6,2	8,9
47	12.07.2016	6,0	-- ^a	5,9	-- ^a	6,0	-- ^a	6,0	-- ^a
48	14.07.2016	6,5	7,8	6,4	7,5	6,3	7,8	6,3	7,7
49	15.07.2016	6,5	8,6	6,4	8,4	6,4	8,5	6,1	8,6
50	22.07.2016	6,2	-- ^a	6,1	-- ^a	6,1	-- ^a	6,1	-- ^a
51	25.07.2016	6,3	7,8	6,2	6,8 ^b	6,3	7,4	6,3	7,9
52	27.07.2016	6,5	-- ^a	6,9	-- ^a	6,7	-- ^a	6,8	-- ^a
53	28.07.2016	5,8	9,0	6,2	8,3	6,0	8,7	6,1	8,9
54	01.08.2016	6,3	-- ^a	6,5	-- ^a	6,2	-- ^a	6,6	-- ^a
55	03.08.2016	6,3	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,6	-- ^a
56	08.08.2016	6,2	9,3	6,1	9,2	6,1	9,5	6,1	9,5
57	10.08.2016	6,2	7,9	6,2	7,9	6,3	7,9	6,2	7,9
58	11.08.2016	6,2	8,2	6,2	8,2	6,4	8,0	6,3	8,3
59	16.08.2016	6,0	-- ^a	5,9	-- ^a	5,7	-- ^a	5,9	-- ^a
60	19.08.2016	6,5	-- ^a	6,2	-- ^a	6,3	-- ^a	6,2	-- ^a
61	22.08.2016	6,0	7,7	6,1	7,7	6,4	7,6	6,3 ^b	7,9
62	30.08.2016	6,7	-- ^a	6,5	-- ^a	6,4	-- ^a	6,4	-- ^a
63	01.09.2016	6,9	7,6	6,8	7,5	6,6	7,1	6,5	7,1
64	06.09.2016	6,6	7,6	6,4	7,5	6,3	7,5	6,3	7,9

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert des Eluats [-]							
65	19.09.2016	6,6	7,8	6,7	6,6	6,6	7,5	6,2	7,8
66	21.09.2016	6,2	8,5	6,3	8,4	6,2	8,6	6,0	9,0
67	04.10.2016	5,9	7,5	5,7	7,5	6,2	7,5	6,0	8,0
68	05.10.2016	5,9	7,7	5,9	7,7	6,2	7,7	5,8	7,9
69	10.10.2016	6,0	9,0	5,8	9,0	6,1	8,9	5,6	9,2
70	13.10.2016	6,2	-- ^a	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a	6,2	-- ^a
71	20.10.2016	6,8	8,4	5,5	8,4	5,7	8,6	5,5	9,0
72	27.10.2016	5,8	7,6	5,7	7,6	5,7	7,8	5,6	7,9
73	03.11.2016	6,0	7,4	6,2	7,5	6,4	7,6	6,4	7,6
74	07.11.2016	6,2	7,9	6,3	-- ^a	6,3	8,1	6,3	8,2
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
76	17.11.2016	6,2	7,8	6,3	7,8	6,4	7,8	6,3	7,8
77	21.11.2016	6,3	8,7	6,3	9,0	6,2	8,6	6,2	9,1
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
79	20.02.2017	5,9	7,8	6,1	7,8	6,2	7,9	6,2	7,9
80	22.02.2017	6,8	7,9	6,5	7,9	6,5	7,9	6,5	8,0
81	24.02.2017	6,6	-- ^a	6,7	-- ^a	6,5 ^b	-- ^a	6,7	-- ^a
82	01.03.2017	6,3	7,7	6,3	7,6	6,4	7,7	6,4	7,8
83	03.03.2017	6,5	8,1	6,6	8,0	6,5	8,1	6,5	8,1
84	06.03.2017	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,7	-- ^a
85	08.03.2017	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a
86	10.03.2017	6,2	8,0	6,3	7,9	6,3	7,9	6,2	7,9
87	20.03.2017	6,6	7,9	6,6	7,8	6,7	7,9	6,7	8,0
88	24.03.2017	6,9	9,4	6,8	8,9	6,8	9,3	6,8	9,3

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

Tabelle 33:

pH-Werte der Eluate aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2, und wirkstofffreie Referenzvarianten. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung (außer wirkstofffreie Referenzvarianten 13 und 14).

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer		pH-Wert [-]									
1	21.09.2015	6,4	6,9	6,5	6,9			6,4	6,7	6,6	6,7
2	23.09.2015	6,6	7,1	6,3	6,9			6,4	6,9	6,6	7,0
3	05.10.2015	6,2	-- ^a	6,2	8,5 ^b			6,3	8,4 ^b	6,1	8,5
4	08.10.2015	6,9	7,7	6,7	7,7			6,8	7,5	6,8	7,5
5	14.10.2015	6,4	8,2	6,5	8,1			6,5	8,1	6,2	8,2
6	15.10.2015	6,7	8,2	6,3	8,2			6,5	8,2	6,0	8,2
7	19.10.2015	6,4	8,1	6,3	8,2			6,3	8,2	6,3	8,1
8	20.10.2015	5,9	8,1	6,0	8,2			6,0	8,2	6,1	8,2
9	29.10.2015	6,9	8,8	7,0	8,2			7,0	8,6	7,0	8,8
10	16.11.2015	7,0	-- ^a	7,0	-- ^a			6,9	-- ^a	7,1	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
14	11.01.2016	7,5	8,2	7,1	8,1			7,2	8,3	7,5	8,4
15	13.01.2016	7,4	8,4	6,8	8,3			7,0	8,3	6,7	8,2

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
	Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25		0,4		0,25					
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert [-]									
16	27.01.2016	6,0	8,1	6,1	8,0			6,2	8,4	6,0	8,5
17	02.02.2016	5,9	8,2	5,9	7,9			5,9	8,2	6,0	8,3
18	08.02.2016	6,9	8,3	6,5	7,8			6,5	8,3	6,3	8,6
19	09.02.2016	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a			6,3	-- ^a	6,5	-- ^a
20	15.02.2016	6,4	8,7	6,5	7,8			6,4	8,8	6,3	9,1
21	17.02.2016	6,4	8,5	6,3	8,0			6,4	8,5	6,4	8,1
22	22.02.2016	6,2	8,3	6,6	8,1			6,3	8,4	6,6	8,4
23	29.02.2016	6,9	8,0	6,5	7,8			6,6	8,1	6,3	8,2
24	21.03.2016	6,1	9,5	6,1	7,7			6,2	9,2	6,2	9,7
25	29.03.2016	6,4	8,8	6,3	7,6			6,6	8,5	6,2	9,0
26	31.03.2016	6,9	-- ^a	6,8	-- ^a			6,9	8,1 ^b	6,8	-- ^a
27	11.04.2016	6,5	8,2	6,5	7,9			6,5	8,3	6,5	8,1
28	12.04.2016	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a			6,4	-- ^a	6,5	-- ^a
29	18.04.2016	6,4	7,9	6,4	7,9			6,3	7,9	6,4	7,8
30	02.05.2016	6,3	8,7	6,2	7,8			6,3	8,4	6,3	8,7
31	04.05.2016	6,2	-- ^a	6,4	-- ^a	6,6	-- ^a	6,2	-- ^a	6,5	-- ^a
32	17.05.2016	6,1	8,9	6,0	7,7	6,1	7,3	6,2	8,5	6,1	8,6

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1									
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert [-]									
33	20.05.2016	6,6	7,9	6,2	7,9	6,4	7,8	6,4	7,9	6,4	7,8
34	25.05.2016	5,9	7,8	6,0	7,8	6,1	7,4	6,0	7,8	6,0	7,9
35	30.05.2016	6,2	7,3	6,2	7,4	6,2	7,4	6,2	7,3	6,3	7,4
36	31.05.2016	6,5	7,8	6,6	7,9	6,8	7,9	6,5	7,8	6,5	7,9
37	01.06.2016	6,4	7,9	6,4	7,8	6,4	8,0	6,4	7,9	6,4	7,8
38	03.06.2016	6,7	9,1	6,7	8,0	6,7	8,6	6,7	9,1	6,8	9,6
39	06.06.2016	6,6	8,8	6,4	7,9	6,4	8,1	6,5	8,6	6,8	8,9
40	10.06.2016	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2	7,7	6,2	7,8	6,2	8,0
41	13.06.2016	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a	6,5	-- ^a	6,3	-- ^a	6,5	-- ^a
42	16.06.2016	6,5	8,2	6,4	7,8	6,4	7,9	6,4	8,0	6,5	8,3
43	20.06.2016	6,2	8,7	6,2	7,9	6,4	8,5	6,3	8,5	6,3	8,7
44	27.06.2016	6,2	7,7	6,4	7,6	6,4	7,5	6,2	7,7	6,2	7,6
45	01.07.2016	6,0	7,4	6,4	7,5	6,4	7,5	6,0	7,5	6,0	7,6
46	04.07.2016	6,0	9,0	6,4	7,7	6,5	9,1	6,2	8,6	6,2	9,1
47	12.07.2016	5,8	-- ^a	6,3	-- ^a	6,1	-- ^a	5,9	-- ^a	6,0	-- ^a
48	14.07.2016	6,2	7,7	6,3	7,8	6,4	7,7	6,4	7,7	6,4	7,8
49	15.07.2016	6,1	8,8	6,2	7,9	6,4	8,8	6,2	8,4	6,6	9,0

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2										
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	mit
Lfd. Nummer	Datum	pH-Wert [-]									
50	22.07.2016	6,0	-- ^a	6,7	-- ^a	6,4	-- ^a	6,0	-- ^a	6,3	-- ^a
51	25.07.2016	6,3	7,8	6,3	7,3	6,3	7,8	6,3	7,8	6,5	-- ^a
52	27.07.2016	6,4	-- ^a	6,7	-- ^a	6,8	-- ^a	6,8	-- ^a	7,0	-- ^a
53	28.07.2016	6,0	8,5	6,2	7,6	6,0	8,7	5,9	8,5	5,8	7,7
54	01.08.2016	6,1	-- ^a	6,5	-- ^a	6,4	-- ^a	6,2	-- ^a	6,4	-- ^a
55	03.08.2016	6,4	-- ^a	6,7	-- ^a	6,6	-- ^a	6,3	-- ^a	6,2	-- ^a
56	08.08.2016	6,1	9,4	6,1	7,4	6,3	9,3	6,1	9,3	6,2	9,3
57	10.08.2016	6,1	7,8	6,3	7,8	6,3	7,8	6,0	7,8	6,3	8,0
58	11.08.2016	6,3	8,3	6,3	7,8	6,5	8,1	6,4	8,1	6,3	8,2
59	16.08.2016	5,8	-- ^a	6,5	-- ^a	6,3	-- ^a	6,5	-- ^a	6,4	-- ^a
60	19.08.2016	5,8	-- ^a	6,5	-- ^a	6,2	-- ^a	6,2	-- ^a	6,0	-- ^a
61	22.08.2016	6,5	7,4	6,5	7,3	6,4	7,7	6,1	7,8	5,8	7,7
62	30.08.2016	6,3	-- ^a	6,6	-- ^a	6,5	-- ^a	6,2	-- ^a	6,5	-- ^a
63	01.09.2016	6,7	7,6	6,6	7,3	6,8	8,0	6,8	8,8 ^b	6,4	7,8
64	06.09.2016	6,4	7,8	6,6	7,5	6,5	8,0	6,3	8,1 ^b	6,4	7,8
65	19.09.2016	6,0	7,9	6,2	7,6	6,6	7,9	6,3	7,6	6,5	7,9
66	21.09.2016	5,9	9,0	6,0	7,8	6,4	8,6	6,2	8,2	6,4	8,8

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1			Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4				
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nummer		pH-Wert [-]										
Datum												
67	04.10.2016	6,0	7,4	6,1	7,7	6,1	7,8	6,2	7,6	5,9	7,5	
68	05.10.2016	5,8	7,7	6,4	7,8	6,2	8,0	6,2	7,6	5,8	7,8	
69	10.10.2016	5,5	9,2	6,1	7,9	6,2	8,9	6,1	8,8	6,0	-- ^a	
70	13.10.2016	6,4	-- ^a	6,2	-- ^a	6,1	-- ^a	5,9	-- ^a	6,1	-- ^a	
71	20.10.2016	5,6	8,8	6,1	7,7	6,0	8,6	5,7	8,4	6,0	8,8	
72	27.10.2016	5,6	7,9	6,0	7,7	6,0	7,8	5,9	7,6	5,9	7,9	
73	03.11.2016	6,4	7,6	6,4	7,8	6,2	7,0	6,8	7,5	6,0	7,4	
74	07.11.2016	6,3	8,1	6,2	7,8	6,2	8,0	6,1	7,9	6,2	8,0	
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)										
76	17.11.2016	6,3	7,8	6,4	7,8	6,4	7,8	6,2	7,8	6,3	7,6	
77	21.11.2016	6,2	9,0	6,3	8,0	6,4	8,8	6,2	8,4	6,3	8,7	
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)										
79	20.02.2017	6,2	8,0	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2	7,8	6,1	7,9	
80	22.02.2017	6,5	8,0	6,5	7,8	6,5	7,9	6,6	7,9	6,7	7,9	
81	24.02.2017	6,6	-- ^a	6,6 ^b	-- ^a	6,7	-- ^a	6,5	-- ^a	6,8	-- ^a	
82	01.03.2017	6,4	7,7	6,4	7,6	6,4	7,7	6,4	7,6	6,3	7,7	
83	03.03.2017	6,4	8,1	6,4	7,8	6,4	8,1	6,4	8,0	6,6	8,1	

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer		pH-Wert [-]									
Datum											
84	06.03.2017	6,4	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,5	-- ^a	6,8	-- ^a
85	08.03.2017	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a	6,4	-- ^a	6,3	-- ^a	6,4	-- ^a
86	10.03.2017	6,2	7,9	6,2	7,8	6,3	7,9	6,2	7,9	6,1	8,0
87	20.03.2017	6,7	7,7	6,7	7,6	6,8	7,8	6,8	7,8	6,7	7,8
88	24.03.2017	6,7	9,3	6,8	7,8	6,8	9,1	6,7	8,9	6,7	9,0

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

A.2.4 Elektrische Leitfähigkeit

Tabelle 34:
Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]							
1	21.09.2015	34,7	2616,5	37,8	1785,0	34,1	2385,0	45,0	3190,0
2	23.09.2015	19,5	2435,0	19,6	2262,0	18,8	2220,0	18,6	2645,0
3	05.10.2015	152,0	-- ^a	149,0	-- ^a	126,9	2215,0	131,3	122,7 ^b
4	08.10.2015	12,9	1682,0	13,2	1275,0	13,0	1583,5	31,4	2077,5
5	14.10.2015	23,8	908,0	23,7	984,5	23,9	1162,5	21,7	1062,0
6	15.10.2015	14,5	643,5	15,8	691,0	17,7	831,0	19,7	747,5
7	19.10.2015	16,5	491,0	17,2	514,0	16,9	632,5	16,8	571,0
8	20.10.2015	21,1	482,0	22,1	509,0	21,0	603,5	21,4	555,5
9	29.10.2015	70,2	409,0	67,6	389,0	66,7	492,0	67,8	511,5
10	16.11.2015	148,2	-- ^a	152,6	-- ^a	142,5	-- ^a	153,0	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
14	11.01.2016	9,0	318,5	10,3	329,0	9,7	351,0	9,9	335,0
15	13.01.2016	7,5	272,5	8,1	279,5	7,5	291,0	7,6	289,5
16	27.01.2016	18,3	235,5	19,3	231,0	18,8	255,0	18,9	248,5
17	02.02.2016	4,1	212,0	4,0	208,0	4,0	214,5	3,7	216,0
18	08.02.2016	10,7	227,0	11,2	218,5	10,7	222,0	11,0	238,5
19	09.02.2016	13,8	-- ^a	14,0	-- ^a	13,2	-- ^a	13,5	-- ^a
20	15.02.2016	14,7	237,5	16,0	220,5	15,4	230,0	13,3	250,5
21	17.02.2016	35,1	319,0	36,0	313,0	35,1	338,0	35,4	340,0
22	22.02.2016	6,2	246,0	5,9	239,0	5,6	243,0	7,8	256,0
23	29.02.2016	18,1	298,5	17,9	301,0	18,0	312,5	18,7	345,5
24	21.03.2016	17,6	261,0	17,5	272,0	17,9	278,0	16,8	270,5
25	29.03.2016	26,1	272,5	26,9	277,0	25,7	282,0	24,8	293,5
26	31.03.2016	53,3	-- ^a	57,3	-- ^a	53,1	-- ^a	56,4	-- ^a
27	11.04.2016	42,9	609,0	39,9	556,5	40,6	605,0	41,3	669,5
28	12.04.2016	40,7	-- ^a	38,2	-- ^a	38,3	-- ^a	38,1	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]							
29	18.04.2016	9,3	300,5	8,7	319,5	8,9	316,0	8,7	340,5
30	02.05.2016	18,7	305,0	17,9	308,5	18,0	312,0	17,0	323,0
31	04.05.2016	54,9	-- ^a	52,0	-- ^a	52,0	-- ^a	52,6	-- ^a
32	17.05.2016	19,5	282,0	18,9	292,5	18,7	285,5	18,3	314,5
33	20.05.2016	22,1	255,0	21,5	250,0	21,4	261,0	21,3	277,0
34	25.05.2016	12,1	195,3	7,0	191,7	7,8	184,8	7,9	208,5
35	30.05.2016	22,2	170,5	20,6	157,3	19,2	157,8	18,9	180,2
36	31.05.2016	10,3	261,0	8,4	253,5	8,6	255,5	8,5	264,0
37	01.06.2016	8,6	189,9	7,2	191,2	7,2	184,0	7,1	196,1
38	03.06.2016	20,5	260,0	15,9	265,0	15,6	279,0	14,5	275,0
39	06.06.2016	8,8	209,5	7,0	218,5	7,0	219,5	6,8	232,5
40	10.06.2016	10,1	188,5	8,7	188,1	9,1	189,3	9,3	201,0
41	13.06.2016	23,7	-- ^a	18,1	-- ^a	19,1	-- ^a	16,2	-- ^a
42	16.06.2016	9,8	233,5	8,8	228,5	8,5	235,0	8,4	254,5
43	20.06.2016	9,0	184,8	7,9	184,0	7,8	192,0	7,7	198,3
44	27.06.2016	13,7	242,0	13,7	252,0	14,2	248,5	13,8	264,5
45	01.07.2016	12,9	175,2	12,6	168,5	13,7	166,8	13,5	189,6
46	04.07.2016	14,4	265,0	16,3	243,0	15,8	248,5	13,9	284,0
47	12.07.2016	42,0	-- ^a	37,9	-- ^a	38,3	-- ^a	37,5	-- ^a
48	14.07.2016	7,1	197,2	6,9	174,8	7,4	181,3	7,0	213,5
49	15.07.2016	14,4	195,7	16,5	199,1	15,7	213,4	13,1	210,5
50	22.07.2016	76,5	-- ^a	78,6	-- ^a	77,0	-- ^a	85,3	-- ^a
51	25.07.2016	5,9	131,3	10,5	61,9 ^b	8,8	108,4	11,3	136,5
52	27.07.2016	35,8	-- ^a	43,6	-- ^a	37,1	-- ^a	36,3	-- ^a
53	28.07.2016	15,3	190,1	18,0	174,9	15,1	192,2	16,6	206,9
54	01.08.2016	33,1	-- ^a	40,2	-- ^a	31,2	-- ^a	38,4	-- ^a
55	03.08.2016	24,6	-- ^a	28,5	-- ^a	25,9	-- ^a	28,1	-- ^a
56	08.08.2016	3,6	199,7	6,8	254,5	2,8	240,0	3,7	236,0
57	10.08.2016	11,4	209,5	13,0	216,0	14,2	222,0	12,2	228,5
58	11.08.2016	11,2	138,9	11,3	151,0	10,9	155,9	11,5	154,9
59	16.08.2016	29,1	-- ^a	26,7	-- ^a	26,8	-- ^a	25,2	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]							
60	19.08.2016	51,2	-- ^a	43,5	-- ^a	50,4	-- ^a	40,5	-- ^a
61	22.08.2016	10,0	98,4	9,6	97,8	10,0	104,5	10,8	120,7
62	30.08.2016	59,8	-- ^a	55,1	-- ^a	52,1	-- ^a	54,7	-- ^a
63	01.09.2016	20,3	119,0	19,2	121,2	20,5	112,4	29,2	128,3
64	06.09.2016	14,3	208,0	17,5	210,9	23,6	190,9	29,4	244,5
65	19.09.2016	7,8	195,4	7,7	175,9	20,1	202,2	8,3	204,8
66	21.09.2016	11,2	185,8	11,8	187,5	11,2	204,9	11,0	190,1
67	04.10.2016	16,9	249,0	17,7	258,0	21,3	244,0	17,5	302,0
68	05.10.2016	12,4	264,0	13,1	269,0	13,6	265,0	12,3	277,5
69	10.10.2016	15,1	279,5	15,6	295,0	16,7	309,0	14,6	299,0
70	13.10.2016	23,3	-- ^a	26,6	-- ^a	25,5	-- ^a	25,3	-- ^a
71	20.10.2016	8,7	231,5	9,1	246,0	8,2	251,0	8,1	252,0
72	27.10.2016	7,6	206,6	7,7	210,5	7,2	222,5	6,8	212,0
73	03.11.2016	17,0	177,1	17,8	175,6	17,7	186,0	16,8	190,5
74	07.11.2016	8,2	207,5	9,1	-- ^a	10,5	223,0	9,4	210,0
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
76	17.11.2016	5,9	133,1	6,1	132,3	5,6	134,8	5,9	138,2
77	21.11.2016	13,2	143,5	13,6	142,9	12,7	149,6	13,0	150,3
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
79	20.02.2017	19,0	183,5	16,7	192,3	17,8	205,5	19,7	198,0
80	22.02.2017	8,6	142,3	8,9	137,7	8,0	142,9	9,5	150,2
81	24.02.2017	19,4	-- ^a	19,7	-- ^a	18,3 ^b	-- ^a	19,4	-- ^a
82	01.03.2017	11,6	147,9	11,7	146,6	11,4	159,1	11,5	198,6
83	03.03.2017	11,4	198,0	5,9	193,9	5,8	194,2	6,0	197,3
84	06.03.2017	22,3	-- ^a	22,2	-- ^a	20,2	-- ^a	20,6	-- ^a
85	08.03.2017	20,8	-- ^a	21,2	-- ^a	20,3	-- ^a	20,7	-- ^a
86	10.03.2017	5,8	153,9	5,3	149,1	4,8	141,3	5,3	140,8
87	20.03.2017	14,5	153,0	17,2	138,4	13,8	142,3	17,4	160,4
88	24.03.2017	29,3	240,5	29,2	234,0	27,9	227,5	28,4	241,0

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

Tabelle 35:

Elektrische Leitfähigkeiten der Eluate aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2, und wirkstofffreie Referenzvarianten. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung (außer wirkstofffreie Referenzvarianten 13 und 14).

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
Datum										
1	21.09.2015	34,0	2715,0	32,1	2880,0		35,3	3185,0	33,3	3650,0
2	23.09.2015	18,6	2285,0	18,7	2355,0		18,9	2630,0	18,9	2470,0
3	05.10.2015	122,5	-- ^a	125,5	196,9 ^b		120,5	1907,0 ^b	143,0	1943,0
4	08.10.2015	13,5	1419,5	13,3	1670,0		13,8	1870,5	13,1	2130,0
5	14.10.2015	22,6	1119,5	21,2	996,0		24,3	834,0	23,1	975,0
6	15.10.2015	15,4	780,5	13,8	668,0		15,6	696,0	16,5	676,0
7	19.10.2015	16,9	578,5	16,3	520,0		16,6	550,0	17,0	524,0
8	20.10.2015	20,9	569,0	21,3	504,0		20,9	535,0	21,3	513,0
9	29.10.2015	69,4	412,5	55,8	461,0		72,8	507,5	67,2	348,0
10	16.11.2015	136,9	-- ^a	174,2	-- ^a		153,9	-- ^a	164,6	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)								
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)								
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)								
14	11.01.2016	9,9	346,5	9,5	316,5		10,7	336,0	10,0	316,0
15	13.01.2016	7,6	291,5	7,6	253,5		8,2	286,5	8,0	267,0

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1									
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
16	27.01.2016	19,0	258,5	19,2	243,0			18,5	270,0	19,2	266,0
17	02.02.2016	3,7	219,0	4,4	219,0			3,8	215,0	3,8	200,0
18	08.02.2016	11,0	223,0	10,5	205,8			11,1	235,0	11,2	220,0
19	09.02.2016	13,4	-- ^a	13,5	-- ^a			14,5	-- ^a	14,8	-- ^a
20	15.02.2016	14,5	220,0	15,1	210,6			16,5	240,0	16,4	228,0
21	17.02.2016	34,9	342,0	34,9	332,0			35,8	358,5	35,6	348,0
22	22.02.2016	6,1	249,0	5,6	224,5			6,1	245,5	6,0	233,0
23	29.02.2016	18,5	293,5	17,7	246,0			18,7	332,0	17,5	329,0
24	21.03.2016	18,1	267,0	17,6	244,0			17,3	268,0	17,7	255,0
25	29.03.2016	22,7	274,5	27,1	243,5			25,9	279,5	27,1	263,0
26	31.03.2016	53,1	-- ^a	57,4	-- ^a			56,8	163,8	60,4	-- ^a
27	11.04.2016	41,2	501,5	42,3	390,0			42,6	533,0	42,0	571,0
28	12.04.2016	38,5	-- ^a	40,0	-- ^a			37,1	-- ^a	39,1	-- ^a
29	18.04.2016	9,0	299,0	8,5	270,0			9,3	299,0	7,9	259,0
30	02.05.2016	17,1	283,5	19,6	275,0			19,1	285,5	17,1	272,0
31	04.05.2016	52,0	-- ^a	53,4	-- ^a	116,2	-- ^a	51,9	-- ^a	53,8	-- ^a
32	17.05.2016	18,6	-- ^a	19,6	244,0	24,7	5585,0	18,7	264,5	18,6	251,0

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1									
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
33	20.05.2016	21,9	254,5	22,2	216,0	26,6	1949,0	22,3	249,0	22,0	235,0
34	25.05.2016	6,8	186,2	9,3	166,2	9,8	1077,0	6,9	180,5	6,7	173,8
35	30.05.2016	19,6	121,7	25,0	124,6	25,3	533,5	18,9	137,9	22,7	127,3
36	31.05.2016	8,7	239,5	10,1	215,5	11,2	816,0	8,7	236,5	9,7	227,0
37	01.06.2016	7,4	173,9	8,0	150,0	9,6	591,5	7,3	177,6	8,6	160,6
38	03.06.2016	14,9	252,5	20,3	224,5	20,0	774,0	16,1	250,5	16,5	242,0
39	06.06.2016	7,4	210,5	7,3	192,4	8,4	742,5	7,3	210,5	7,7	192,4
40	10.06.2016	8,7	177,0	9,5	161,7	10,0	482,5	8,9	176,8	8,5	163,8
41	13.06.2016	22,0	-- ^a	21,8	-- ^a	24,3	-- ^a	14,9	-- ^a	30,1	-- ^a
42	16.06.2016	10,0	203,5	9,8	180,6	10,6	540,0	8,7	212,5	11,2	202,0
43	20.06.2016	8,6	180,9	7,6	168,9	9,4	460,5	8,1	179,3	9,4	167,7
44	27.06.2016	13,8	215,5	16,3	194,1	15,8	367,0	13,5	220,0	15,3	191,6
45	01.07.2016	11,8	143,5	15,3	141,5	14,7	226,5	11,8	157,6	11,8	140,7
46	04.07.2016	13,2	197,0	19,6	187,2	17,3	308,5	13,9	228,5	15,0	212,0
47	12.07.2016	35,4	-- ^a	39,9	-- ^a	41,9	-- ^a	38,9	-- ^a	40,2	-- ^a
48	14.07.2016	6,4	181,7	6,4	177,0	6,9	223,0	6,9	196,2	6,6	185,6
49	15.07.2016	12,8	198,9	13,1	182,7	14,5	218,5	12,3	192,4	15,4	192,1

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1									
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nummer	Datum	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
50	22.07.2016	67,2	-- ^a	88,8	-- ^a	78,6	-- ^a	65,4	-- ^a	71,8	-- ^a
51	25.07.2016	6,5	125,8	9,7	84,8	12,6	166,5	6,8	132,1	6,9	-- ^a
52	27.07.2016	36,8	-- ^a	42,2	-- ^a	35,0	-- ^a	38,8	-- ^a	40,9	-- ^a
53	28.07.2016	15,5	159,0	17,7	162,9	16,2	204,2	15,5	173,5	14,9	164,5
54	01.08.2016	31,2	-- ^a	36,9	-- ^a	35,2	-- ^a	31,9	-- ^a	32,4	-- ^a
55	03.08.2016	24,1	-- ^a	32,6	-- ^a	30,5	-- ^a	23,4	-- ^a	22,8	-- ^a
56	08.08.2016	3,1	181,8	5,3	175,3	4,1	217,5	3,3	198,8	3,8	195,3
57	10.08.2016	11,9	198,3	12,9	179,4	13,0	272,0	11,5	201,9	15,7	187,7
58	11.08.2016	10,8	144,1	12,2	134,7	11,8	202,0	11,2	143,6	11,2	132,8
59	16.08.2016	23,6	-- ^a	31,6	-- ^a	28,2	-- ^a	26,0	-- ^a	25,0	-- ^a
60	19.08.2016	46,9	-- ^a	43,7	-- ^a	44,2	-- ^a	43,3	-- ^a	40,6	-- ^a
61	22.08.2016	9,7	74,2	14,3	76,7	9,1	106,1	8,5	85,1	7,6	68,5
62	30.08.2016	54,3	-- ^a	50,1	-- ^a	52,3	-- ^a	44,8	-- ^a	54,6	-- ^a
63	01.09.2016	21,7	91,8	19,0	96,8	18,8	128,1	18,2	102,7 ^b	18,1	78,0
64	06.09.2016	15,7	160,6	15,0	142,5	15,1	173,4	14,9	184,6 ^b	16,5	142,4
65	19.09.2016	7,4	172,8	8,9	149,4	8,2	165,9	12,7	180,6	8,1	164,2
66	21.09.2016	10,7	183,7	12,2	173,7	13,4	174,7	11,9	176,8	12,8	176,7

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2										
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25	0,4		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nummer	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]										
Datum											
67	04.10.2016	18,4	204,5	19,8	186,6	18,4	250,0	21,9	224,0	15,8	202,0
68	05.10.2016	12,6	234,5	14,3	211,5	14,9	260,0	14,5	237,0	12,5	223,0
69	10.10.2016	14,7	271,5	18,8	249,5	18,9	313,0	17,5	261,5	15,4	251,0
70	13.10.2016	25,8	-- ^a	25,1	-- ^a	26,0	-- ^a	23,7	-- ^a	23,4	-- ^a
71	20.10.2016	8,9	223,0	11,0	195,3	10,8	296,5	8,4	218,5	9,6	203,0
72	27.10.2016	6,6	205,5	8,4	183,3	8,4	283,5	7,6	192,0	7,5	183,0
73	03.11.2016	17,4	169,0	18,4	146,4	16,6	246,3	16,8	169,4	15,9	157,8
74	07.11.2016	9,7	202,5	8,9	181,7	8,1	268,0	8,1	189,3	10,5	185,4
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
76	17.11.2016	5,6	138,3	5,5	130,4	6,8	163,5	5,7	136,1	6,2	135,4
77	21.11.2016	12,0	149,6	14,2	143,5	15,9	184,4	13,8	150,3	13,6	151,6
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
79	20.02.2017	17,9	188,5	20,9	172,6	20,9	208,8	18,4	183,3	16,3	177,3
80	22.02.2017	8,7	143,4	9,0	84,5	11,2	164,3	9,0	142,9	9,0	139,6
81	24.02.2017	18,3	-- ^a	18,1 ^b	-- ^a	21,7	-- ^a	19,2	-- ^a	19,3	-- ^a
82	01.03.2017	11,1	126,1	11,5	103,8	13,0	157,2	11,4	125,3	11,4	139,7
83	03.03.2017	5,6	195,1	5,8	167,4	6,6	208,3	5,8	198,3	5,7	185,2

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer		Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]									
84	06.03.2017	19,3	-- ^a	22,3	-- ^a	21,8	-- ^a	19,6	-- ^a	20,2	-- ^a
85	08.03.2017	20,0	-- ^a	21,0	-- ^a	22,1	-- ^a	20,5	-- ^a	20,9	-- ^a
86	10.03.2017	5,1	144,5	6,2	132,7	6,4	170,2	5,4	148,1	5,4	141,3
87	20.03.2017	15,5	139,6	22,1	126,2	20,6	154,1	16,5	149,6	14,4	142,4
88	24.03.2017	27,4	238,5	29,4	180,8	33,0	267,0	29,2	254,0	27,9	234,0

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

A.2.5 TOC

Tabelle 36:
TOC in den Eluaten aus der Freibewitterung. Wirkstofffreie Referenzvarianten. Bestimmung ab 2016.

Variante		17	18	Variante		17	18
Ester		--	--	Ester		--	--
Konzentration bezogen auf Bitumen		--	--	Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		--	--
Begrünung		ohne	mit	Begrünung		ohne	mit
Lfd. Nr.	Datum	TOC [mg/L]		Lfd. Nr.	Datum	TOC [mg/L]	
1	21.09.2015			27	11.04.2016	11,6	69,8
2	23.09.2015			28	12.04.2016	17,3	-- ^a
3	05.10.2015			29	18.04.2016	2,6	24,4
4	08.10.2015			30	02.05.2016	5,9	28,8
5	14.10.2015			31	04.05.2016	15,6	-- ^a
6	15.10.2015			32	17.05.2016	5,5	27,3
7	19.10.2015			33	20.05.2016	6,5	24,7
8	20.10.2015			34	25.05.2016	3,7	17,3
9	29.10.2015			35	30.05.2016	10,5	23,4
10	16.11.2015			36	31.05.2016	3,7	29,4
11	02.12.2015	Frost	Frost	37	01.06.2016	3,1	20,1
12	17.12.2015	Frost	Frost	38	03.06.2016	8,8	31,7
13	08.01.2016	Frost	Frost	39	06.06.2016	2,9	22,3
14	11.01.2016	3,6	18,0	40	10.06.2016	3,7	16,5
15	13.01.2016	5,7	19,2	41	13.06.2016	17,3	-- ^a
16	27.01.2016	2,4	27,8	42	16.06.2016	4,7	27,3
17	02.02.2016	1,0	10,8	43	20.06.2016	2,9	17,4
18	08.02.2016	2,3	13,7	44	27.06.2016	7,2	25,4
19	09.02.2016	4,6	-- ^a	45	01.07.2016	6,4	19,5
20	15.02.2016	3,8	21,5	46	04.07.2016	8,5	29,7
21	17.02.2016	5,8	23,2	47	12.07.2016	27,1	-- ^a
22	22.02.2016	1,3	12,4	48	14.07.2016	1,7	16,6
23	29.02.2016	3,0	34,9	49	15.07.2016	4,7	17,8
24	21.03.2016	3,5	17,3	50	22.07.2016	42,3	-- ^a
25	29.03.2016	7,1	20,6	51	25.07.2016	2,8	-- ^a
26	31.03.2016	20,5	-- ^a	52	27.07.2016	21,6	-- ^a

a: kein Ablaufwasser asservierbar

b: Messgerät defekt

Variante		17	18	Variante		17	18
Ester		--	--	Ester		--	--
Konzentration bezogen auf Bitumen		--	--	Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		--	--
Begrünung		ohne	mit	Begrünung		ohne	mit
Lfd. Nr.	Datum	TOC [mg/L]		Lfd. Nr.	Datum	TOC [mg/L]	
53	28.07.2016	7,1	30,6	79	20.02.2017	-- ^b	-- ^b
54	01.08.2016	19,1	-- ^a	80	22.02.2017	3,5	12,3
55	03.08.2016	15,8	-- ^a	81	24.02.2017	5,1	-- ^a
56	08.08.2016	3,4	22,3	82	01.03.2017	3,9	14,5
57	10.08.2016	5,8	27,1	83	03.03.2017	1,8	15,6
58	11.08.2016	1,9	12,2	84	06.03.2017	9,5	-- ^a
59	16.08.2016	13,1	-- ^a	85	08.03.2017	4,5	-- ^a
60	19.08.2016	23,4	-- ^a	86	10.03.2017	2,0	11,4
61	22.08.2016	5,2	12,3	87	20.03.2017	4,1	14,8
62	30.08.2016	28,9	-- ^a	88	24.03.2017	6,5	31,8
63	01.09.2016	6,7	16,5				
64	06.09.2016	6,6	20,4				
65	19.09.2016	3,8	16,8				
66	21.09.2016	3,5	15,6				
67	04.10.2016	8,4	27,1				
68	05.10.2016	4,8	22,5				
69	10.10.2016	5,5	23,6				
70	13.10.2016	6,6	-- ^a				
71	20.10.2016	7,8	23,4				
72	27.10.2016	3,9	19,4				
73	03.11.2016	6,2	16,8				
74	07.11.2016	2,2	16,4				
75	16.11.2016	Frost	Frost				
76	17.11.2016	2,0	10,1				
77	21.11.2016	6,2	12,9				
78	07.02.2017	Frost	Frost				

a: kein Ablaufwasser asservierbar

b: Messgerät defekt

A.2.6 Mecoprop-Konzentrationen

Tabelle 37:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nr.	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [$\mu\text{g/L}$]							
1	21.09.2015	366,1	11528,2	646,0	14685,0	575,8	7083,2	1420,6	5264,5
2	23.09.2015	118,3	1914,5	186,0	3162,4	97,2	941,0	156,2	1408,1
3	05.10.2015	230,2	-- ^a	539,3	-- ^a	122,4	2098,9	220,5	906,3 ^b
4	08.10.2015	23,7	961,8	41,1	693,8	13,7	234,4	76,8	380,3
5	14.10.2015	69,7	964,2	131,5	2320,7	34,2	324,1	43,9	618,7
6	15.10.2015	13,0	223,4	22,1	352,3	8,0	87,9	17,7	167,1
7	19.10.2015	59,3	440,3	91,1	693,6	25,6	111,0	35,4	240,9
8	20.10.2015	87,6	563,1	149,1	727,5	22,6	134,4	32,8	284,2
9	29.10.2015	127,2	1165,9	503,6	1998,6	170,3	237,2	252,2	654,5
10	16.11.2015	368,1	-- ^a	923,8	-- ^a	157,7	-- ^a	239,9	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
14	11.01.2016	34,1	199,5	67,6	419,4	12,9	82,2	19,7	209,2
15	13.01.2016	20,7	125,2	35,5	212,5	8,0	37,9	10,6	104,2
16	27.01.2016	18,7	495,6	31,4	1392,5	7,3	161,0	8,5	374,4
17	02.02.2016	12,1	140,7	16,3	239,8	4,2	35,8	3,8	126,5
18	08.02.2016	28,0	228,0	50,0	547,8	11,0	87,0	15,4	206,9
19	09.02.2016	49,3	-- ^a	90,8	-- ^a	18,5	-- ^a	24,8	-- ^a
20	15.02.2016	32,3	596,4	61,7	1487,7	11,8	181,3	24,6	536,4
21	17.02.2016	101,3	494,9	188,7	1673,8	26,8	173,3	35,1	454,6
22	22.02.2016	16,6	263,1	28,2	483,9	5,9	76,6	7,6	258,5
23	29.02.2016	39,4	863,9	75,8	1558,1	11,5	212,3	15,9	857,9
24	21.03.2016	23,8	572,0	45,6	1232,7	10,0	213,2	13,5	479,7
25	29.03.2016	38,4	446,5	66,6	778,5	8,8	108,2	13,5	312,1
26	31.03.2016	195,1	-- ^a	286,9	-- ^a	61,6	-- ^a	101,8	-- ^a
27	11.04.2016	106,1	4478,3	182,2	10906,3	36,3	2189,7	52,9	4386,8
28	12.04.2016	200,7	-- ^a	157,3	-- ^a	70,7	-- ^a	91,4	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nr.	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]							
29	18.04.2016	31,0	350,5	47,9	642,4	9,9	107,6	13,7	260,4
30	02.05.2016	55,7	598,8	84,5	1166,0	16,1	175,5	19,1	307,0
31	04.05.2016	100,4	-- ^a	180,2	-- ^a	34,3	-- ^a	48,3	-- ^a
32	17.05.2016	36,9	250,2	57,7	583,5	11,0	59,8	15,7	100,9
33	20.05.2016	67,6	213,3	97,7	535,1	17,7	57,6	26,3	70,3
34	25.05.2016	59,2	113,0	71,4	277,4	10,9	24,0	14,4	39,4
35	30.05.2016	169,2	534,8	254,2	1852,3	38,4	136,9	55,1	197,3
36	31.05.2016	64,5	110,1	91,9	372,0	16,1	30,9	25,1	40,8
37	01.06.2016	44,4	146,2	71,0	389,0	12,4	28,5	19,5	46,2
38	03.06.2016	246,5	263,2	346,1	1015,8	70,5	64,1	99,2	117,6
39	06.06.2016	47,5	49,3	68,1	220,4	11,2	14,7	19,3	18,2
40	10.06.2016	71,9	54,4	86,3	157,8	11,6	13,3	17,0	20,9
41	13.06.2016	194,5	-- ^a	266,3	-- ^a	50,5	-- ^a	80,1	-- ^a
42	16.06.2016	82,0	131,7	110,5	369,7	19,3	45,1	32,3	93,1
43	20.06.2016	72,6	42,2	79,8	98,6	15,0	7,7	21,8	14,7
44	27.06.2016	174,0	218,3	217,3	448,4	31,6	45,6	49,3	57,1
45	01.07.2016	131,2	189,2	153,8	415,0	28,2	55,6	45,6	56,8
46	04.07.2016	238,4	177,6	287,5	400,7	46,3	46,9	76,5	76,5
47	12.07.2016	343,9	-- ^a	454,4	-- ^a	64,4	-- ^a	104,2	-- ^a
48	14.07.2016	41,4	44,0	47,7	456,9	10,1	9,4	14,8	12,7
49	15.07.2016	123,2	38,7	152,9	65,1	34,8	6,7	48,6	12,6
50	22.07.2016	725,5	-- ^a	833,6	-- ^a	160,4	-- ^a	237,9	-- ^a
51	25.07.2016	45,2	80,1	120,1	456,0 ^b	21,6	29,3	47,0	13,9
52	27.07.2016	802,8	-- ^a	816,3	-- ^a	211,5	-- ^a	227,0	-- ^a
53	28.07.2016	209,9	149,2	284,7	367,1	59,6	59,1	86,2	65,7
54	01.08.2016	731,5	-- ^a	849,6	-- ^a	220,3	-- ^a	318,3	-- ^a
55	03.08.2016	424,6	-- ^a	466,4	-- ^a	121,3	-- ^a	196,9	-- ^a
56	08.08.2016	63,8	78,1	113,9	935,8	16,8	45,3	26,0	56,0
57	10.08.2016	138,4	50,4	195,5	128,8	47,0	17,3	68,7	31,3
58	11.08.2016	64,1	24,4	78,8	62,7	18,8	7,7	31,4	9,9
59	16.08.2016	334,5	-- ^a	332,7	-- ^a	110,9	-- ^a	173,3	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nr.	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]							
60	19.08.2016	909,7	-- ^a	1025,4	-- ^a	250,4	-- ^a	382,1	-- ^a
61	22.08.2016	147,2	99,5	176,4	206,8	227,2	166,2	71,3	58,1
62	30.08.2016	618,5	-- ^a	664,6	-- ^a	147,1	-- ^a	212,5	-- ^a
63	01.09.2016	121,0	159,7	157,7	358,5	43,5	43,7	55,3	94,7
64	06.09.2016	240,1	140,2	257,3	229,6	129,5	36,8	189,4	82,7
65	19.09.2016	79,7	19,8	143,0	212,0	30,0	24,1	41,8	23,8
66	21.09.2016	111,8	15,5	123,7	31,2	15,8	3,0	25,3	4,6
67	04.10.2016	171,3	125,2	199,3	256,1	34,0	61,6	52,1	143,8
68	05.10.2016	193,9	44,9	176,0	88,7	27,7	9,7	42,3	27,2
69	10.10.2016	168,3	43,6	229,3	131,4	24,4	4,4	41,0	9,9
70	13.10.2016	68,7	-- ^a	96,1	-- ^a	24,5	-- ^a	20,7	-- ^a
71	20.10.2016	108,5	46,4	147,7	154,5	14,3	12,4	26,9	22,6
72	27.10.2016	86,3	26,7	131,5	90,3	7,8	10,5	13,9	12,5
73	03.11.2016	88,7	56,2	140,2	219,5	11,3	39,0	18,4	37,6
74	07.11.2016	49,2	22,1	62,9	-- ^a	9,5	7,7	15,2	9,7
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
76	17.11.2016	71,3	7,1	109,4	24,6	6,9	2,6	10,0	2,9
77	21.11.2016	224,4	22,3	403,8	91,8	12,3	4,4	16,0	4,4
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
79	20.02.2017	28,0	16,0	36,7	155,5	7,5	16,7	12,5	12,3
80	22.02.2017	52,8	9,0	77,5	52,3	7,1	4,7	10,4	3,5
81	24.02.2017	46,3	-- ^a	67,0	-- ^a	13,5 ^b	-- ^a	23,3	-- ^a
82	01.03.2017	26,2	45,0	33,2	264,7	7,1	51,7	11,7	86,7
83	03.03.2017	34,5	18,5	24,7	87,5	4,4	14,6	6,8	22,4
84	06.03.2017	38,4	-- ^a	52,3	-- ^a	16,4	-- ^a	25,2	-- ^a
85	08.03.2017	47,1	-- ^a	67,8	-- ^a	8,3	-- ^a	12,1	-- ^a
86	10.03.2017	45,3	19,4	63,8	76,9	5,3	7,6	8,1	11,5
87	20.03.2017	35,8	23,4	49,7	58,4	8,5	14,7	15,0	25,8
88	24.03.2017	111,2	75,3	166,4	232,7	13,6	35,0	18,0	47,1

a: bei beiden Probekörpern kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

Tabelle 38:

Mecoprop-Konzentrationen in den Eluaten aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2, und wirkstofffreie Referenzvarianten. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung (außer wirkstofffreie Referenzvarianten 13 und 14).

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1			Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,25			0,4			0,25			0,4	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [$\mu\text{g/L}$]										
1	576,7	4224,8	744,8	3297,4			937,3	2158,4	102,6	260,0	
2	91,5	632,2	129,6	784,4			131,4	821,7	15,8	73,7	
3	127,2	-- ^a	179,6	902,1 ^b			179,1	8,9 ^b	17,9	280,9	
4	12,9	152,6	19,1	232,8			15,3	405,8	2,4	44,0	
5	24,2	177,7	26,4	215,7			29,7	218,3	5,0	40,7	
6	5,4	54,5	5,9	69,5			6,3	88,7	1,8	11,9	
7	14,9	68,1	17,8	79,0			18,2	109,1	4,6	22,7	
8	12,4	71,4	17,3	87,4			15,5	120,0	5,2	32,2	
9	115,9	194,0	129,0	175,9			170,1	232,9	25,5	57,1	
10	96,8	-- ^a	297,3	-- ^a			153,6	-- ^a	29,4	-- ^a	
11	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)										
12	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)										
13	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)										
14	7,1	46,0	9,6	65,8			9,5	72,1	2,1	12,5	
15	3,5	27,4	6,7	37,1			4,9	42,4	1,3	8,0	

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration be- zogen auf Bitumen	0,25		0,4		0,25		0,4		--	
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]									
16	27.01.2016	4,6	139,1	7,4	126,7		4,8	203,4	1,1	37,3
17	02.02.2016	2,2	24,7	3,2	49,9		3,0	42,6	1,7	7,1
18	08.02.2016	6,9	57,7	10,3	52,4		9,9	73,9	2,4	18,5
19	09.02.2016	12,7	-- ^a	16,5	-- ^a		19,4	-- ^a	3,9	-- ^a
20	15.02.2016	8,2	186,1	11,6	127,8		14,5	163,9	2,3	51,3
21	17.02.2016	16,2	153,3	22,3	96,7		24,0	191,2	3,5	32,9
22	22.02.2016	3,7	37,9	4,4	44,5		4,4	65,4	1,6	22,0
23	29.02.2016	8,5	253,3	11,7	168,6		10,9	218,3	1,9	60,0
24	21.03.2016	8,9	141,2	18,7	20,4		13,9	162,0	2,2	46,0
25	29.03.2016	8,3	80,1	14,7	48,0		14,0	97,4	2,8	43,4
26	31.03.2016	47,4	-- ^a	70,5	-- ^a		84,8	156,1 ^b	9,4	-- ^a
27	11.04.2016	26,7	1515,6	45,8	1341,0		45,7	1664,4	6,0	562,8
28	12.04.2016	61,1	-- ^a	72,2	-- ^a		92,1	-- ^a	12,1	-- ^a
29	18.04.2016	6,4	79,8	9,3	61,7		10,7	92,7	1,3	30,6
30	02.05.2016	12,6	138,5	17,2	79,3		22,5	155,0	1,9	45,8
31	04.05.2016	25,6	-- ^a	32,3	-- ^a	2405,1	-- ^a	48,5	6,1	-- ^a
32	17.05.2016	6,7	38,3	8,5	20,7	12,2	400,8	32,7	1,5	24,5

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1			Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration be- zogen auf Bitumen	0,25			0,4			0,4				
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]										
33	20.05.2016	11,2	44,7	13,1	29,4	19,3	169,7	19,5	45,7	1,8	29,1
34	25.05.2016	7,8	16,8	11,3	13,5	10,4	285,9	10,8	20,3	1,5	9,8
35	30.05.2016	29,0	73,6	24,5	47,6	25,0	827,3	42,7	101,7	6,4	64,7
36	31.05.2016	11,8	24,1	11,7	15,5	10,0	142,3	15,6	23,5	3,1	17,1
37	01.06.2016	9,8	28,6	10,1	18,4	8,0	253,1	13,7	27,9	2,2	13,3
38	03.06.2016	45,2	27,1	30,7	8,8	32,8	543,9	67,6	80,8	10,7	26,9
39	06.06.2016	8,8	11,0	7,6	4,7	8,0	400,8	15,1	7,8	1,7	6,4
40	10.06.2016	8,2	7,7	9,3	7,2	6,1	136,6	11,1	10,6	2,0	5,3
41	13.06.2016	38,1	-- ^a	31,8	-- ^a	30,1	-- ^a	60,4	-- ^a	9,4	-- ^a
42	16.06.2016	14,7	18,5	14,8	11,8	12,0	289,9	21,6	36,5	3,4	17,4
43	20.06.2016	11,8	6,0	10,0	3,9	8,4	92,3	15,5	9,4	2,7	3,8
44	27.06.2016	21,2	19,8	26,0	12,8	13,8	168,9	28,0	40,7	5,0	16,3
45	01.07.2016	21,9	20,8	20,4	13,9	13,6	90,8	32,2	26,5	4,4	11,6
46	04.07.2016	33,5	17,5	25,7	5,4	22,9	99,8	52,0	54,5	8,8	16,8
47	12.07.2016	44,5	-- ^a	53,4	-- ^a	28,4	-- ^a	63,1	-- ^a	12,1	-- ^a
48	14.07.2016	6,1	5,5	6,2	4,3	2,8	10,2	6,9	10,0	1,7	2,7
49	15.07.2016	18,3	6,1	16,7	3,1	9,3	12,6	22,9	14,4	5,2	2,5

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2									
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2										
Konzentration be- zogen auf Bitumen	0,25	0,4		0,25		0,4					
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]										
50	22.07.2016	112,8	-- ^a	110,1	-- ^a	81,8	-- ^a	181,2	-- ^a	26,1	-- ^a
51	25.07.2016	6,0	8,3	10,4	5,8	10,4	8,6	8,2	12,9	2,3	-- ^a
52	27.07.2016	124,1	-- ^a	36,5	-- ^a	59,7	-- ^a	151,6	-- ^a	32,5	-- ^a
53	28.07.2016	30,8	25,0	28,6	14,2	17,5	33,9	40,7	45,8	10,0	17,8
54	01.08.2016	123,9	-- ^a	49,6	-- ^a	65,6	-- ^a	153,9	-- ^a	40,3	-- ^a
55	03.08.2016	68,1	-- ^a	43,3	-- ^a	34,7	-- ^a	82,3	-- ^a	23,7	-- ^a
56	08.08.2016	12,1	10,2	8,2	2,4	7,1	11,9	16,6	19,4	3,6	9,5
57	10.08.2016	22,4	10,4	22,8	7,3	10,6	11,0	28,1	19,7	7,2	6,6
58	11.08.2016	9,7	4,1	10,8	3,2	4,6	4,4	11,1	6,8	3,5	2,4
59	16.08.2016	66,8	-- ^a	19,3	-- ^a	38,2	-- ^a	81,0	-- ^a	20,2	-- ^a
60	19.08.2016	145,3	-- ^a	73,4	-- ^a	67,7	-- ^a	155,8	-- ^a	49,2	-- ^a
61	22.08.2016	29,7	15,5	21,7	11,4	12,2	15,3	30,7	30,4	8,6	8,7
62	30.08.2016	105,4	-- ^a	57,3	-- ^a	51,9	-- ^a	92,6	-- ^a	30,3	-- ^a
63	01.09.2016	26,0	24,2	27,1	40,8	14,3	28,6	26,1	44,1 ^b	6,7	12,1
64	06.09.2016	50,8	27,9	35,2	14,7	24,8	32,7	44,9	41,1 ^b	13,5	18,3
65	19.09.2016	25,0	4,3	19,8	3,3	12,4	6,2	16,3	8,2	6,9	3,7
66	21.09.2016	21,2	3,7	14,1	2,2	12,0	4,6	12,4	3,4	5,8	2,6

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2								
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,25		0,4		0,25		0,4		--		
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]										
67	04.10.2016	40,3	27,4	23,3	25,8	15,6	43,7	24,4	72,6	11,0	22,2
68	05.10.2016	39,7	6,7	24,9	3,8	17,3	13,0	18,3	18,0	8,6	4,1
69	10.10.2016	48,5	3,9	14,8	1,3	20,0	13,8	20,5	20,4	9,2	3,1
70	13.10.2016	43,6	-- ^a	17,5	-- ^a	15,7	-- ^a	15,9	-- ^a	9,1	-- ^a
71	20.10.2016	29,0	7,4	11,2	3,7	11,9	17,4	13,7	22,4	7,9	7,3
72	27.10.2016	23,5	5,6	7,6	3,4	6,9	11,0	8,2	14,5	4,9	4,0
73	03.11.2016	28,8	12,3	8,6	7,8	5,5	28,3	6,7	36,8	4,0	6,3
74	07.11.2016	11,9	3,5	7,6	2,7	4,9	9,2	7,0	10,5	3,1	2,2
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
76	17.11.2016	14,4	2,6	8,2	1,7	5,6	4,4	5,5	3,2	2,8	1,0
77	21.11.2016	54,7	5,6	17,6	1,5	14,0	13,6	11,8	7,4	7,9	2,4
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)									
79	20.02.2017	7,1	4,3	6,0	3,1	4,6	44,2	5,8	18,5	2,6	3,1
80	22.02.2017	11,6	2,3	7,9	1,7	8,4	19,2	6,4	7,1	3,7	2,0
81	24.02.2017	12,5	-- ^a	10,0 ^b	-- ^a	8,7	-- ^a	10,5	-- ^a	5,2	-- ^a
82	01.03.2017	7,7	14,7	6,1	14,0	4,8	58,4	6,2	49,3	2,8	11,0
83	03.03.2017	4,8	4,6	4,1	4,3	3,4	24,4	4,0	20,9	1,9	3,3

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2								
Konzentration bezogen auf Bitumen	0,25		0,4		0,25		0,4		--		
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Lfd. Nr.	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Konzentration [µg/L]										
84	06.03.2017	16,9	-- ^a	13,6	-- ^a	12,3	-- ^a	16,0	-- ^a	5,3	-- ^a
85	08.03.2017	12,4	-- ^a	8,8	-- ^a	8,5	-- ^a	8,2	-- ^a	4,0	-- ^a
86	10.03.2017	7,9	4,1	7,5	3,1	6,4	19,3	4,7	14,8	2,5	3,3
87	20.03.2017	8,6	6,0	8,8	4,9 ^b	6,8	20,5	7,2	5,7	3,2	4,0
88	24.03.2017	25,8	20,8	14,0	3,2	18,4	97,6	13,7	60,3	6,9	15,6

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

A.2.7 Streuung der Einzelwerte

Tabelle 39:

Prozentuale Streuung der Mecopropkonzentrationen der beiden Einzelprobekörper um den Mittelwert aus beiden Eluaten. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
1	21.09.2015	6,9	32,6	5,1	15,6	3,3	24,6	40,9	23,1
2	23.09.2015	7,2	57,8	0,1	20,2	2,4	1,1	3,4	21,9
3	05.10.2015	5,5	-- ^a	3,5	-- ^a	2,3	8,9	17,2	-- ^b
4	08.10.2015	1,9	25,4	1,8	31,9	3,6	24,3	72,8	21,6
5	14.10.2015	13,8	22,8	4,9	2,5	12,4	7,1	3,1	44,2
6	15.10.2015	11,5	8,5	3,9	12,5	0,6	15,0	53,7	1,6
7	19.10.2015	5,3	16,8	2,0	7,1	6,6	7,6	3,4	33,3
8	20.10.2015	3,0	2,9	30,2	18,3	3,8	10,0	3,8	32,3
9	29.10.2015	2,8	55,6	48,7	26,0	3,3	11,1	7,4	5,8
10	16.11.2015	2,0	-- ^a	4,4	-- ^a	10,4	-- ^a	22,2	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
14	11.01.2016	10,4	4,6	3,0	13,6	4,3	0,8	3,6	22,1
15	13.01.2016	3,1	5,0	4,5	13,6	8,2	0,3	10,0	0,0
16	27.01.2016	1,3	77,5	4,8	29,4	0,0	27,9	5,3	42,0
17	02.02.2016	8,7	4,4	4,0	2,8	6,0	2,7	13,2	12,0
18	08.02.2016	1,8	20,0	4,5	5,8	7,3	2,1	1,3	37,5
19	09.02.2016	2,6	-- ^a	5,1	-- ^a	7,0	-- ^a	4,0	-- ^a
20	15.02.2016	0,2	44,5	3,6	11,7	0,0	3,8	12,0	57,4
21	17.02.2016	3,6	58,8	3,3	3,3	2,2	44,3	3,9	24,8
22	22.02.2016	5,1	11,4	8,7	22,7	5,1	19,6	13,9	19,8
23	29.02.2016	6,9	62,3	3,7	35,3	1,7	11,1	2,8	17,5
24	21.03.2016	1,9	7,6	0,2	15,9	4,0	15,8	11,1	22,0
25	29.03.2016	2,9	9,4	10,7	9,0	3,4	4,9	9,6	29,0
26	31.03.2016	2,3	-- ^a	4,1	-- ^a	2,2	-- ^a	8,7	-- ^a
27	11.04.2016	3,5	6,1	3,4	18,6	0,8	26,1	0,9	69,7
28	12.04.2016	2,8	-- ^a	16,9	-- ^a	4,2	-- ^a	17,8	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
29	18.04.2016	1,8	11,5	0,1	10,9	8,6	14,6	1,8	30,8
30	02.05.2016	1,9	27,1	6,1	8,9	8,4	16,9	0,8	62,9
31	04.05.2016	0,7	-- ^a	5,4	-- ^a	1,5	-- ^a	0,1	-- ^a
32	17.05.2016	12,3	19,7	1,8	35,1	5,0	1,8	3,2	61,3
33	20.05.2016	10,0	12,1	7,4	14,6	3,7	7,9	7,6	65,1
34	25.05.2016	5,7	10,7	16,8	42,6	2,8	1,7	9,7	32,7
35	30.05.2016	12,0	14,5	1,2	32,9	9,8	29,0	6,7	27,7
36	31.05.2016	5,0	21,0	1,7	9,9	4,0	16,8	3,2	57,1
37	01.06.2016	2,0	24,1	5,4	0,1	1,2	11,1	9,5	58,4
38	03.06.2016	13,0	23,3	8,8	4,6	4,8	20,4	7,1	80,0
39	06.06.2016	10,9	5,2	4,3	5,9	3,6	35,2	3,9	83,5
40	10.06.2016	10,4	7,3	8,1	16,2	4,8	15,5	17,6	46,8
41	13.06.2016	2,6	-- ^a	1,6	-- ^a	5,5	-- ^a	0,7	-- ^a
42	16.06.2016	9,7	16,7	3,1	15,9	4,9	16,6	13,0	12,2
43	20.06.2016	9,2	19,8	5,8	12,3	4,0	13,7	9,2	78,2
44	27.06.2016	1,1	45,4	2,3	45,0	9,0	7,8	2,1	31,9
45	01.07.2016	6,2	48,4	12,8	46,3	8,5	6,2	7,8	16,1
46	04.07.2016	8,1	41,8	7,2	39,3	9,6	8,3	3,3	66,9
47	12.07.2016	0,5	-- ^a	2,2	-- ^a	2,5	-- ^a	3,9	-- ^a
48	14.07.2016	16,3	38,9	9,9	91,1	4,5	0,5	4,4	18,1
49	15.07.2016	13,7	37,9	11,9	15,8	5,9	22,4	11,5	74,5
50	22.07.2016	7,8	-- ^a	14,8	-- ^a	1,1	-- ^a	6,6	-- ^a
51	25.07.2016	6,6	59,0	14,1	-- ^b	47,1	43,2	70,0	42,2
52	27.07.2016	16,6	-- ^a	24,0	-- ^a	1,5	-- ^a	44,3	-- ^a
53	28.07.2016	17,5	35,1	30,2	11,1	6,4	10,8	35,6	51,0
54	01.08.2016	21,4	-- ^a	22,5	-- ^a	5,3	-- ^a	23,0	-- ^a
55	03.08.2016	20,2	-- ^a	15,0	-- ^a	9,4	-- ^a	17,1	-- ^a
56	08.08.2016	18,9	36,0	1,1	19,9	6,3	70,6	14,8	31,2
57	10.08.2016	18,2	20,8	4,7	13,0	10,1	18,3	22,3	31,0
58	11.08.2016	18,1	25,4	9,2	11,3	4,8	1,3	15,8	33,3
59	16.08.2016	29,3	-- ^a	0,3	-- ^a	5,0	-- ^a	12,1	-- ^a

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
60	19.08.2016	20,6	-- ^a	7,0	-- ^a	9,9	-- ^a	21,5	-- ^a
61	22.08.2016	29,1	24,0	0,5	14,7	19,2	22,9	13,9	17,4
62	30.08.2016	35,0	-- ^a	21,7	-- ^a	40,4	-- ^a	28,8	-- ^a
63	01.09.2016	25,4	17,4	19,8	14,8	16,2	1,1	5,6	9,7
64	06.09.2016	38,4	16,9	25,4	11,5	69,3	11,7	40,1	30,7
65	19.09.2016	0,6	19,2	11,7	49,0	19,0	84,6	44,9	87,4
66	21.09.2016	36,4	33,5	7,2	20,7	52,4	18,6	32,0	50,0
67	04.10.2016	40,0	16,4	17,0	16,3	45,2	13,3	51,4	17,3
68	05.10.2016	37,5	4,0	38,6	5,7	45,8	2,1	51,2	14,7
69	10.10.2016	27,7	4,9	6,7	7,9	54,8	4,5	58,5	2,5
70	13.10.2016	29,6	-- ^a	8,6	-- ^a	46,8	-- ^a	49,6	-- ^a
71	20.10.2016	26,4	5,3	11,4	11,1	43,4	31,5	46,7	5,3
72	27.10.2016	14,8	7,1	10,2	11,6	30,8	13,3	35,0	7,2
73	03.11.2016	18,6	16,7	14,2	13,1	31,6	2,6	37,9	12,5
74	07.11.2016	20,9	19,7	6,4	-- ^a	27,0	16,3	18,8	1,6
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
76	17.11.2016	27,9	5,6	14,5	18,3	27,5	9,8	17,0	27,6
77	21.11.2016	13,8	28,1	5,6	27,1	0,0	31,8	12,9	24,1
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
79	20.02.2017	19,1	22,3	0,7	8,0	15,4	1,8	12,8	18,7
80	22.02.2017	25,0	31,1	9,9	13,5	9,2	5,4	9,6	4,3
81	24.02.2017	30,8	-- ^a	4,5	-- ^a	-- ^b	-- ^a	6,2	-- ^a
82	01.03.2017	25,4	15,0	1,8	16,2	5,6	1,7	9,9	8,8
83	03.03.2017	58,3	25,4	1,6	19,5	2,3	5,2	14,7	24,8
84	06.03.2017	23,6	-- ^a	4,6	-- ^a	8,9	-- ^a	3,6	-- ^a
85	08.03.2017	20,8	-- ^a	7,2	-- ^a	6,0	-- ^a	10,7	-- ^a
86	10.03.2017	18,3	9,0	6,4	51,6	3,8	7,3	11,8	20,0
87	20.03.2017	14,1	9,4	1,9	0,3	10,1	11,3	11,0	13,4
88	24.03.2017	20,3	11,5	8,0	3,2	5,5	26,3	11,1	18,6

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

Tabelle 40:

Prozentuale Streuung der Mecopropkonzentrationen der beiden Einzelprobekörper um den Mittelwert beider Eluate. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2.

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1				Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
1	21.09.2015	2,9	25,0	1,9	8,5			13,0	55,2
2	23.09.2015	7,5	4,3	1,7	9,9			15,6	14,6
3	05.10.2015	5,4	-- ^a	1,9	-- ^b			6,2	50,0
4	08.10.2015	21,7	11,1	4,5	28,6			2,3	27,0
5	14.10.2015	2,5	21,7	10,2	23,4			7,4	13,5
6	15.10.2015	10,3	29,4	3,4	2,6			3,2	18,4
7	19.10.2015	8,4	10,9	1,7	7,7			3,0	2,4
8	20.10.2015	2,8	22,2	8,1	12,7			11,3	6,2
9	29.10.2015	5,0	2,6	7,7	28,3			6,1	16,3
10	16.11.2015	5,8	-- ^a	6,3	-- ^a			13,8	-- ^a
11	02.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
12	17.12.2015	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
13	08.01.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
14	11.01.2016	0,7	5,1	3,7	24,0			1,6	9,0
15	13.01.2016	0,0	4,4	2,3	13,9			3,1	23,0
16	27.01.2016	4,3	25,0	4,8	13,7			3,2	16,7
17	02.02.2016	4,5	14,4	1,6	8,0			3,3	18,3
18	08.02.2016	2,9	1,4	17,1	13,2			4,6	3,7
19	09.02.2016	3,9	-- ^a	9,1	-- ^a			1,8	-- ^a
20	15.02.2016	8,0	18,6	12,1	4,5			17,6	5,2
21	17.02.2016	2,5	14,9	11,5	25,1			1,7	7,3
22	22.02.2016	2,7	13,1	9,1	18,1			11,4	2,7
23	29.02.2016	16,5	17,4	1,7	18,9			1,8	6,8
24	21.03.2016	6,7	15,8	26,7	26,3			8,6	9,0
25	29.03.2016	12,7	2,4	20,4	48,3			9,3	14,5
26	31.03.2016	1,3	-- ^a	23,7	-- ^a			5,9	-- ^b
27	11.04.2016	0,7	25,6	2,7	10,2			2,6	32,5
28	12.04.2016	7,7	-- ^a	23,5	-- ^a			8,4	-- ^a
29	18.04.2016	0,8	13,3	18,9	21,9			8,4	13,1

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1				Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
30	02.05.2016	10,3	25,1	22,7	41,0			1,1	33,5
31	04.05.2016	0,4	-- ^a	42,0	-- ^a	6,2	-- ^a	6,3	-- ^a
32	17.05.2016	5,3	34,2	16,0	55,0	31,1	13,2	2,7	12,2
33	20.05.2016	7,1	41,1	17,2	55,4	6,2	22,4	3,1	55,6
34	25.05.2016	6,4	34,3	23,9	35,3	0,0	22,3	5,1	38,8
35	30.05.2016	2,1	40,6	13,3	33,1	4,4	10,3	0,8	46,7
36	31.05.2016	5,9	49,3	10,7	35,3	6,0	10,5	0,6	48,4
37	01.06.2016	6,7	38,7	9,5	22,1	5,7	2,7	4,0	26,5
38	03.06.2016	2,5	25,8	26,7	33,0	0,8	21,2	4,2	65,8
39	06.06.2016	8,0	36,4	19,7	2,1	5,0	11,8	1,0	37,2
40	10.06.2016	0,6	11,1	22,6	14,7	5,8	2,3	2,3	53,8
41	13.06.2016	8,5	-- ^a	16,4	-- ^a	2,8	-- ^a	1,0	-- ^a
42	16.06.2016	4,8	7,6	9,5	14,4	2,1	15,4	1,2	39,9
43	20.06.2016	2,1	2,5	11,6	10,3	2,4	40,1	1,0	85,0
44	27.06.2016	0,2	21,0	2,1	10,6	0,7	29,6	1,6	58,7
45	01.07.2016	1,4	2,2	1,5	6,9	0,0	19,0	1,2	32,1
46	04.07.2016	2,8	6,3	7,2	3,7	1,3	36,0	3,9	72,5
47	12.07.2016	2,4	-- ^a	2,2	-- ^a	1,1	-- ^a	0,6	-- ^a
48	14.07.2016	4,1	7,3	3,2	5,9	7,1	34,3	2,9	52,8
49	15.07.2016	4,1	26,2	13,8	4,9	2,7	43,4	4,4	73,6
50	22.07.2016	2,7	-- ^a	19,5	-- ^a	2,9	-- ^a	2,3	-- ^a
51	25.07.2016	3,3	31,3	33,3	20,0	66,3	23,3	9,2	62,6
52	27.07.2016	6,3	-- ^a	12,5	-- ^a	11,7	-- ^a	7,7	-- ^a
53	28.07.2016	9,6	5,4	9,4	14,8	14,9	28,0	6,8	41,0
54	01.08.2016	8,3	-- ^a	5,6	-- ^a	12,2	-- ^a	2,5	-- ^a
55	03.08.2016	15,0	-- ^a	6,9	-- ^a	17,3	-- ^a	7,4	-- ^a
56	08.08.2016	8,3	7,8	5,5	4,2	5,6	12,6	4,5	10,6
57	10.08.2016	4,9	4,8	8,1	1,4	10,0	10,5	0,2	37,4
58	11.08.2016	8,2	7,3	1,4	4,8	6,5	2,3	0,5	51,1
59	16.08.2016	13,7	-- ^a	1,3	-- ^a	7,6	-- ^a	0,9	-- ^a
60	19.08.2016	4,6	-- ^a	25,5	-- ^a	14,3	-- ^a	2,1	-- ^a
61	22.08.2016	26,9	35,5	27,6	17,5	7,0	12,8	2,9	18,0

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16
Ester		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1				Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Streuung [%]							
62	30.08.2016	11,2	-- ^a	13,7	-- ^a	22,1	-- ^a	1,8	-- ^a
63	01.09.2016	11,4	32,6	0,9	62,5	14,0	18,5	0,2	-- ^b
64	06.09.2016	12,1	15,8	5,5	2,0	14,3	30,8	13,0	-- ^b
65	19.09.2016	15,4	9,3	0,3	12,1	0,0	21,0	7,1	14,6
66	21.09.2016	18,9	10,8	4,3	7,0	5,4	19,6	0,4	8,8
67	04.10.2016	22,8	36,4	0,2	24,7	2,6	40,9	12,3	13,5
68	05.10.2016	24,8	33,8	6,6	18,4	8,4	56,0	3,3	21,7
69	10.10.2016	25,8	6,5	1,7	12,0	6,8	67,3	1,5	44,5
70	13.10.2016	29,6	-- ^a	13,7	-- ^a	15,0	-- ^a	0,6	-- ^a
71	20.10.2016	31,7	3,4	0,4	9,6	13,1	54,6	1,5	26,2
72	27.10.2016	37,7	3,6	3,9	1,5	10,9	39,1	1,8	34,9
73	03.11.2016	35,8	9,4	3,5	4,5	8,3	17,5	5,3	33,3
74	07.11.2016	24,9	11,4	1,3	13,2	5,2	45,4	3,6	41,9
75	16.11.2016	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
76	17.11.2016	20,6	21,6	1,2	9,1	2,7	43,2	4,6	9,4
77	21.11.2016	35,4	28,6	0,6	6,7	3,6	56,6	1,7	30,6
78	07.02.2017	Nur Volumenbestimmung, keine weitere Analytik (Frost-Tauwechsel)							
79	20.02.2017	19,7	16,3	6,7	25,8	3,3	58,6	3,4	42,2
80	22.02.2017	27,6	2,2	6,3	27,3	5,4	72,9	1,6	48,9
81	24.02.2017	20,0	-- ^a	-- ^b	-- ^a	6,4	-- ^a	1,4	-- ^a
82	01.03.2017	18,2	2,4	0,8	30,5	10,4	58,2	0,8	56,8
83	03.03.2017	14,6	25,3	0,0	7,0	4,5	68,0	2,5	32,4
84	06.03.2017	19,3	-- ^a	12,5	-- ^a	9,4	-- ^a	2,5	-- ^a
85	08.03.2017	17,7	-- ^a	5,1	-- ^a	5,3	-- ^a	3,1	-- ^a
86	10.03.2017	25,3	26,8	16,0	1,6	8,7	64,8	1,1	35,8
87	20.03.2017	22,8	1,7	5,1	-- ^b	17,0	76,0	4,2	-- ^b
88	24.03.2017	25,4	28,7	14,0	1,6	6,8	74,9	2,6	53,7

a: bei beiden Probekörpern bzw. bei Referenzvariante kein Ablaufwasser asservierbar

b: Einzelwert (nur bei einem Probekörper Ablaufwasser asservierbar)

A.2.8 Kumulierte Mecoprop-Austräge

Tabelle 41:

Kumulierte Mecoprop-Austräge in den Eluaten aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-Polyethylenglykolester und Mecoprop-P-n-octylester. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung.

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]							
1	21.09.2015	2,78	15,87	4,95	18,23	4,37	7,89	6,50	5,21
2	23.09.2015	3,69	22,52	6,37	29,29	5,13	11,18	7,69	10,08
3	05.10.2015	3,90	22,52	6,84	29,29	5,24	12,54	7,88	10,69
4	08.10.2015	4,08	30,10	7,16	34,52	5,35	14,39	8,46	13,63
5	14.10.2015	4,62	37,45	8,17	51,76	5,61	16,87	8,79	18,56
6	15.10.2015	4,72	39,16	8,34	54,37	5,67	17,55	8,92	19,88
7	19.10.2015	5,17	42,53	9,02	59,52	5,86	18,38	9,20	21,69
8	20.10.2015	5,42	43,97	9,45	61,47	5,93	18,74	9,30	22,42
9	29.10.2015	5,61	44,75	10,15	62,82	6,18	18,87	9,66	22,80
10	16.11.2015	5,93	44,75	10,93	62,82	6,32	18,87	9,86	22,80
11	02.12.2015	5,93	44,75	10,93	62,82	6,32	18,87	9,86	22,80
12	17.12.2015	5,93	44,75	10,93	62,82	6,32	18,87	9,86	22,80
13	08.01.2016	5,93	44,75	10,93	62,82	6,32	18,87	9,86	22,80
14	11.01.2016	6,34	46,81	11,73	67,13	6,47	19,72	10,09	24,97
15	13.01.2016	6,59	48,14	12,16	69,40	6,57	20,12	10,22	26,08
16	27.01.2016	6,75	49,65	12,49	73,81	6,64	20,63	10,31	27,29
17	02.02.2016	7,24	54,95	13,15	82,85	6,81	21,98	10,46	32,05
18	08.02.2016	7,60	56,55	13,79	86,95	6,95	22,63	10,66	33,47
19	09.02.2016	7,73	56,55	14,02	86,95	7,00	22,63	10,72	33,47
20	15.02.2016	8,04	58,92	14,62	93,24	7,12	23,43	10,96	35,36
21	17.02.2016	8,29	59,68	15,07	95,78	7,18	23,70	11,05	36,07
22	22.02.2016	8,65	64,83	15,70	105,48	7,31	25,19	11,22	41,24
23	29.02.2016	9,14	66,15	16,64	108,50	7,45	25,56	11,41	42,56
24	21.03.2016	9,91	81,20	18,11	141,04	7,78	31,19	11,85	55,23
25	29.03.2016	10,58	86,02	19,27	149,36	7,93	32,34	12,08	58,52
26	31.03.2016	10,79	86,02	19,56	149,36	8,00	32,34	12,19	58,52
27	11.04.2016	11,80	90,88	21,29	161,63	8,34	34,98	12,69	63,76
28	12.04.2016	12,02	90,88	21,46	161,63	8,42	34,98	12,78	63,76

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]							
29	18.04.2016	12,99	99,20	22,96	176,99	8,73	37,55	13,21	70,02
30	02.05.2016	14,93	110,89	25,90	200,03	9,29	41,03	13,88	76,20
31	04.05.2016	15,25	110,89	26,28	200,03	9,36	41,03	13,98	76,20
32	17.05.2016	16,48	116,28	28,20	212,50	9,73	42,31	14,50	78,35
33	20.05.2016	17,13	117,38	29,15	215,34	9,90	42,62	14,76	78,69
34	25.05.2016	19,37	120,99	31,85	224,15	10,31	43,39	15,30	79,94
35	30.05.2016	21,05	122,58	34,38	229,66	10,69	43,83	15,85	80,50
36	31.05.2016	21,65	123,28	35,24	232,02	10,84	44,02	16,09	80,75
37	01.06.2016	22,05	124,24	35,87	234,61	10,95	44,21	16,26	81,05
38	03.06.2016	22,69	124,54	36,76	235,84	11,13	44,29	16,52	81,19
39	06.06.2016	23,66	125,41	38,15	239,73	11,36	44,55	16,91	81,51
40	10.06.2016	25,42	126,41	40,27	242,62	11,65	44,79	17,33	81,89
41	13.06.2016	26,16	126,41	41,24	242,62	11,84	44,79	17,62	81,89
42	16.06.2016	27,44	127,29	42,96	245,11	12,14	45,11	18,13	82,50
43	20.06.2016	29,73	128,38	45,48	247,66	12,61	45,31	18,81	82,88
44	27.06.2016	33,04	131,01	49,61	253,01	13,21	45,85	19,75	83,56
45	01.07.2016	34,71	132,25	51,55	255,58	13,57	46,21	20,33	83,91
46	04.07.2016	36,18	132,60	53,31	256,39	13,86	46,31	20,80	84,03
47	12.07.2016	38,43	132,60	56,26	256,39	14,28	46,31	21,48	84,03
48	14.07.2016	40,34	134,36	58,46	274,64	14,74	46,68	22,16	84,54
49	15.07.2016	40,89	134,55	59,14	274,94	14,90	46,71	22,38	84,60
50	22.07.2016	42,15	134,55	60,54	274,94	15,18	46,71	22,78	84,60
51	25.07.2016	44,70	138,79	67,31	287,03	16,39	48,26	25,42	85,33
52	27.07.2016	45,72	138,79	68,35	287,03	16,66	48,26	25,70	85,33
53	28.07.2016	46,67	139,08	69,37	287,82	16,93	48,38	26,08	85,46
54	01.08.2016	49,04	139,08	72,06	287,82	17,65	48,38	27,07	85,46
55	03.08.2016	50,09	139,08	73,20	287,82	17,95	48,38	27,55	85,46
56	08.08.2016	52,26	141,32	77,08	314,62	18,52	49,67	28,44	87,06
57	10.08.2016	54,09	141,78	79,71	315,81	19,15	49,83	29,34	87,35
58	11.08.2016	55,01	142,21	80,89	316,92	19,43	49,97	29,79	87,52
59	16.08.2016	55,94	142,21	81,81	316,92	19,74	49,97	30,27	87,52
60	19.08.2016	57,83	142,21	83,84	316,92	20,25	49,97	31,02	87,52

Variante		1	2	3	4	5	6	7	8
Ester		Mecoprop-Polyethylenglykolester				Mecoprop-P-n-octylester			
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,5		0,8		0,25		0,4	
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]							
61	22.08.2016	60,03	143,12	86,50	318,77	23,70	51,45	32,09	88,04
62	30.08.2016	62,29	143,12	88,88	318,77	24,24	51,45	32,86	88,04
63	01.09.2016	63,82	144,55	90,84	321,93	24,78	51,84	33,56	88,88
64	06.09.2016	67,17	145,37	94,39	323,37	26,55	52,06	36,15	89,34
65	19.09.2016	71,89	146,41	102,85	334,50	28,32	53,33	38,62	90,58
66	21.09.2016	73,31	146,61	104,43	334,90	28,52	53,37	38,95	90,64
67	04.10.2016	75,38	146,96	106,85	335,64	28,94	53,55	39,58	91,00
68	05.10.2016	76,17	147,12	107,56	335,96	29,05	53,59	39,75	91,10
69	10.10.2016	77,19	147,29	108,92	336,47	29,19	53,61	40,00	91,14
70	13.10.2016	77,38	147,29	109,19	336,47	29,26	53,61	40,06	91,14
71	20.10.2016	78,68	147,77	110,97	338,05	29,44	53,73	40,38	91,37
72	27.10.2016	80,08	148,11	113,11	339,19	29,56	53,87	40,60	91,53
73	03.11.2016	80,71	148,31	114,08	339,99	29,64	54,01	40,73	91,66
74	07.11.2016	81,44	148,62	115,01	339,99	29,78	54,12	40,95	91,80
75	16.11.2016	81,44	148,62	115,01	339,99	29,78	54,12	40,95	91,80
76	17.11.2016	82,10	148,69	116,02	340,23	29,85	54,14	41,05	91,83
77	21.11.2016	83,02	148,76	117,64	340,53	29,90	54,16	41,11	91,84
78	07.02.2017	83,02	148,76	117,64	340,53	29,90	54,16	41,11	91,84
79	20.02.2017	83,50	148,99	118,26	342,77	30,02	54,40	41,32	92,02
80	22.02.2017	84,15	149,09	119,22	343,31	30,11	54,45	41,45	92,05
81	24.02.2017	84,28	149,09	119,40	343,31	30,13	54,45	41,51	92,05
82	01.03.2017	84,45	149,15	119,61	343,75	30,17	54,54	41,59	92,19
83	03.03.2017	84,76	149,25	119,83	344,21	30,21	54,62	41,65	92,31
84	06.03.2017	84,83	149,25	119,93	344,21	30,24	54,62	41,69	92,31
85	08.03.2017	85,05	149,25	120,24	344,21	30,28	54,62	41,75	92,31
86	10.03.2017	86,28	149,74	121,97	346,12	30,42	54,81	41,97	92,60
87	20.03.2017	86,96	149,98	122,92	346,73	30,59	54,96	42,25	92,86
88	24.03.2017	87,48	150,06	123,69	347,02	30,65	55,01	42,34	92,93

Tabelle 42:

Kumulierte Mecoprop-Austräge in den Eluaten aus der Freibewitterung. Varianten mit Mecoprop-P-2-ethylhexylester, Produkt 1 und Produkt 2, und wirkstofffreie Referenzvarianten. Angegeben sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung (außer wirkstofffreie Referenzvarianten 13 und 14).

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		0,25		0,4		--	--
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25		0,4		0,25		0,4		--	--
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25		0,4		--	--
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
1	21.09.2015	4,45	7,86	5,48	6,56			7,12	4,62	0,76	0,57
2	23.09.2015	5,15	10,13	6,45	9,67			8,15	7,80	0,88	0,85
3	05.10.2015	5,27	10,13	6,60	10,23			8,31	8,07	0,90	1,08
4	08.10.2015	5,37	11,32	6,74	11,96			8,42	11,16	0,92	1,43
5	14.10.2015	5,55	12,70	6,94	13,60			8,64	12,80	0,95	1,75
6	15.10.2015	5,59	13,12	6,98	14,13			8,69	13,47	0,97	1,84
7	19.10.2015	5,71	13,63	7,11	14,72			8,82	14,29	1,00	2,01
8	20.10.2015	5,74	13,82	7,16	14,95			8,87	14,61	1,02	2,10
9	29.10.2015	5,91	13,95	7,32	15,06			9,11	14,75	1,05	2,13
10	16.11.2015	5,99	13,95	7,55	15,06			9,24	14,75	1,08	2,13
11	02.12.2015	5,99	13,95	7,55	15,06			9,24	14,75	1,08	2,13
12	17.12.2015	5,99	13,95	7,55	15,06			9,24	14,75	1,08	2,13
13	08.01.2016	5,99	13,95	7,55	15,06			9,24	14,75	1,08	2,13
14	11.01.2016	6,08	14,43	7,66	15,73			9,35	15,49	1,10	2,26
15	13.01.2016	6,12	14,72	7,74	16,13			9,41	15,94	1,12	2,35

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25					
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
16	27.01.2016	6,17	15,24	7,82	16,61			9,46	16,68	1,13	2,49
17	02.02.2016	6,26	16,17	7,95	18,48			9,59	18,28	1,20	2,75
18	08.02.2016	6,35	16,61	8,08	18,88			9,71	18,83	1,23	2,88
19	09.02.2016	6,38	16,61	8,12	18,88			9,76	18,83	1,24	2,88
20	15.02.2016	6,46	17,31	8,23	19,41			9,90	19,41	1,26	3,06
21	17.02.2016	6,50	17,54	8,29	19,57			9,96	19,71	1,27	3,12
22	22.02.2016	6,58	18,28	8,39	20,44			10,05	21,00	1,30	3,52
23	29.02.2016	6,69	18,79	8,53	20,76			10,19	21,40	1,33	3,61
24	21.03.2016	6,97	22,50	9,13	21,30			10,64	25,67	1,40	4,81
25	29.03.2016	7,12	23,36	9,39	21,83			10,89	26,71	1,45	5,30
26	31.03.2016	7,17	23,36	9,46	21,83			10,98	26,74	1,46	5,30
27	11.04.2016	7,42	25,13	9,89	23,55			11,41	28,48	1,52	5,91
28	12.04.2016	7,49	25,13	9,97	23,55			11,51	28,48	1,53	5,91
29	18.04.2016	7,69	27,02	10,26	25,01			11,85	30,69	1,58	6,62
30	02.05.2016	8,13	29,73	10,86	26,55			12,63	33,78	1,64	7,49
31	04.05.2016	8,19	29,73	10,93	26,55	4,45		12,73	33,78	1,66	7,49
32	17.05.2016	8,41	30,55	11,21	27,00	4,85	8,60	13,10	34,48	1,71	8,03

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25					
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
33	20.05.2016	8,52	30,79	11,34	27,17	5,04	9,32	13,29	34,71	1,72	8,18
34	25.05.2016	8,81	31,32	11,76	27,60	5,43	18,42	13,69	35,35	1,78	8,50
35	30.05.2016	9,10	31,56	12,01	27,77	5,68	20,75	14,12	35,64	1,84	8,70
36	31.05.2016	9,21	31,71	12,12	27,87	5,78	21,63	14,26	35,79	1,87	8,81
37	01.06.2016	9,30	31,90	12,20	28,01	5,85	23,22	14,39	35,97	1,89	8,89
38	03.06.2016	9,41	31,93	12,28	28,02	5,93	23,68	14,56	36,06	1,92	8,92
39	06.06.2016	9,59	32,12	12,44	28,10	6,09	30,77	14,86	36,20	1,95	9,04
40	10.06.2016	9,79	32,26	12,67	28,23	6,24	33,27	15,14	36,39	2,00	9,13
41	13.06.2016	9,94	32,26	12,79	28,23	6,35	33,27	15,36	36,39	2,04	9,13
42	16.06.2016	10,17	32,39	13,02	28,32	6,54	34,91	15,70	36,64	2,09	9,25
43	20.06.2016	10,54	32,54	13,33	28,42	6,81	37,29	16,18	36,88	2,18	9,35
44	27.06.2016	10,94	32,78	13,82	28,57	7,07	39,31	16,71	37,37	2,27	9,55
45	01.07.2016	11,22	32,91	14,08	28,66	7,24	39,84	17,12	37,53	2,33	9,62
46	04.07.2016	11,42	32,94	14,25	28,68	7,38	39,99	17,44	37,64	2,38	9,66
47	12.07.2016	11,71	32,94	14,60	28,68	7,57	39,99	17,85	37,64	2,46	9,66
48	14.07.2016	11,99	33,16	14,89	28,85	7,70	40,40	18,17	38,04	2,54	9,76
49	15.07.2016	12,07	33,19	14,97	28,86	7,75	40,45	18,29	38,10	2,56	9,78

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25		0,4		0,25					
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25					
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
50	22.07.2016	12,26	33,19	15,15	28,86	7,88	40,45	18,60	38,10	2,61	9,78
51	25.07.2016	12,60	33,63	15,73	29,17	8,46	40,91	19,06	38,78	2,74	9,78
52	27.07.2016	12,76	33,63	15,78	29,17	8,54	40,91	19,26	38,78	2,78	9,78
53	28.07.2016	12,90	33,68	15,90	29,20	8,63	40,96	19,46	38,89	2,82	9,81
54	01.08.2016	13,31	33,68	16,06	29,20	8,82	40,96	19,96	38,89	2,95	9,81
55	03.08.2016	13,48	33,68	16,21	29,20	8,91	40,96	20,16	38,89	3,01	9,81
56	08.08.2016	13,89	33,97	16,49	29,27	9,15	41,30	20,72	39,44	3,13	10,09
57	10.08.2016	14,19	34,06	16,79	29,33	9,29	41,40	21,10	39,62	3,23	10,15
58	11.08.2016	14,33	34,14	16,95	29,39	9,36	41,48	21,26	39,74	3,28	10,19
59	16.08.2016	14,52	34,14	17,01	29,39	9,46	41,48	21,49	39,74	3,34	10,19
60	19.08.2016	14,82	34,14	17,15	29,39	9,60	41,48	21,81	39,74	3,44	10,19
61	22.08.2016	15,26	34,28	17,48	29,49	9,78	41,62	22,27	40,01	3,57	10,27
62	30.08.2016	15,61	34,28	17,69	29,49	9,96	41,62	22,60	40,01	3,68	10,27
63	01.09.2016	15,94	34,49	18,03	29,84	10,14	41,87	22,92	40,22	3,76	10,38
64	06.09.2016	16,64	34,65	18,52	29,94	10,49	42,04	23,54	40,34	3,95	10,48
65	19.09.2016	18,12	34,87	19,69	30,11	11,22	42,37	24,51	40,77	4,36	10,68
66	21.09.2016	18,39	34,92	19,87	30,14	11,38	42,43	24,66	40,81	4,43	10,71

Variante		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1	0,25		0,4		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2					
	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2	0,25		0,4		0,25					
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]		0,25		0,4		0,25					
Begrünung		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Datum	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
67	04.10.2016	18,88	35,00	20,15	30,22	11,56	42,54	24,96	41,02	4,56	10,77
68	05.10.2016	19,04	35,02	20,25	30,23	11,63	42,59	25,03	41,09	4,60	10,79
69	10.10.2016	19,33	35,04	20,34	30,24	11,76	42,64	25,16	41,17	4,65	10,80
70	13.10.2016	19,46	35,04	20,39	30,24	11,80	42,64	25,20	41,17	4,68	10,80
71	20.10.2016	19,81	35,11	20,53	30,27	11,95	42,82	25,37	41,40	4,77	10,88
72	27.10.2016	20,19	35,19	20,65	30,32	12,06	42,96	25,50	41,58	4,85	10,93
73	03.11.2016	20,39	35,23	20,71	30,35	12,10	43,05	25,55	41,71	4,88	10,95
74	07.11.2016	20,56	35,28	20,82	30,39	12,17	43,18	25,65	41,86	4,93	10,98
75	16.11.2016	20,56	35,28	20,82	30,39	12,17	43,18	25,65	41,86	4,93	10,98
76	17.11.2016	20,70	35,30	20,90	30,40	12,22	43,22	25,70	41,89	4,95	10,99
77	21.11.2016	20,92	35,32	20,98	30,41	12,28	43,27	25,75	41,91	4,99	11,00
78	07.02.2017	20,92	35,32	20,98	30,41	12,28	43,27	25,75	41,91	4,99	11,00
79	20.02.2017	21,04	35,38	21,08	30,45	12,35	43,90	25,85	42,18	5,03	11,04
80	22.02.2017	21,18	35,41	21,17	30,47	12,46	44,10	25,92	42,25	5,07	11,06
81	24.02.2017	21,22	35,41	21,19	30,47	12,48	44,10	25,95	42,25	5,09	11,06
82	01.03.2017	21,26	35,43	21,23	30,50	12,51	44,18	25,99	42,32	5,11	11,08
83	03.03.2017	21,31	35,45	21,27	30,52	12,54	44,31	26,03	42,44	5,12	11,10

Variante	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ester	Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 1		Mecoprop-P-2-ethylhexylester Produkt 2							
Konzentration bezogen auf Bitumen [%]	0,25		0,4		0,25		0,4			
Begrünung	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
Lfd. Nummer	Mecoprop (Racemat) CAS 7085-19-0 Kumulierter Austrag [mg/m²]									
84	21,34	35,45	21,29	30,52	12,56	44,31	26,06	42,44	5,13	11,10
85	21,39	35,45	21,33	30,52	12,60	44,31	26,10	42,44	5,15	11,10
86	21,61	35,56	21,54	30,60	12,77	44,79	26,22	42,80	5,22	11,18
87	21,77	35,62	21,70	30,63	12,90	45,00	26,36	42,86	5,28	11,22
88	21,89	35,64	21,77	30,63	12,99	45,10	26,42	42,94	5,31	11,24