

## 0°- Dächer – Einfluss von Kontaktzeit und Wassermatrix auf die Freisetzung von Mecoprop aus Bitumendachbahnen?

Daniel Nieß und Brigitte Helmreich

*Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft,  
Am Coulombwall 3, D-85748 Garching, Deutschland*

**Kurzfassung:** 0°- Dächer bieten viele Lösungsansätze für die Minimierung der Folgen des Klimawandels. Allerdings werden die Gründachsubstrate oftmals auf Bitumendachbahnen mit Herbiziden (Mecoprop) zum Schutz der Gebäude vor Wurzelschäden aufgebaut. Mecoprop ist ein gewässerrelevanter Schadstoff, der in hohen Konzentrationen von diesen Bitumendachbahnen freigesetzt wird. Ziel unserer Forschung ist es, die Parameter, die für die Mecoprop-Freisetzung relevant sind, zu untersuchen und zu evaluieren, insbesondere bei unterschiedlichen Gründachaufbauten.

**Key-Words:** Mecoprop, 0°-Dächer, Auswaschung, Kontaktzeit, Bitumendachbahn, Wassermatrix

### 1 Hintergrund

Die Urbanisierung mit fortschreitender Verdichtung der Siedlungsräume und einer zunehmenden Zahl an versiegelten Flächen verstärkt die negativen Auswirkungen des Klimawandels. Damit steigt vor Allem das Risiko für Überflutung, den Wärmeinseleffekt und für eine abnehmende Biodiversität. Dies wirkt sich nicht nur negativ auf das Stadtklima aus, sondern beeinflusst auch den natürlichen Wasserkreislauf in der Stadt. Gründächer reduzieren die Dachtemperaturen durch Evapotranspiration, speichern Niederschlagswasser und minimieren den Spitzenabfluss im Starkregenfall, wodurch das Risiko urbaner Sturzfluten gesenkt wird (Shafique et al., 2018). Die Vegetation der Gründächer bietet Lebensraum für Insekten und erhöht so die Biodiversität. Des Weiteren fördert Sie Evapotranspiration, was zur Senkung der Umgebungstemperatur führt. Somit bieten Gründächer eine Lösung für viele Folgen des Klimawandels.

Um diese positiven Eigenschaften der Gründächer zu stärken, hat sich die Forschung in den letzten Jahren insbesondere auf die Wahl der Bepflanzung und des Gründachsubstrates fokussiert. Die Art des Daches, insbesondere die Neigung, wurde selten analysiert. Um den Auswirkungen des Klimawandels auch während längeren Dürreperioden entgegenzuwirken, sollten die Funktionen des Gründaches auch während dieser Zeit erhalten bleiben. Im Gegensatz zu normalen Gründächern besitzen 0°-Dächer keine Neigung und generieren somit keinen Abfluss, was zu einer verbesserten

Wasserverfügbarkeit der Gründachvegetation führt. Das Niederschlagswasser wird in den Retentionskammern gespeichert und über Kapillarbrücken langsam an das Substrat abgegeben. Damit die Wurzeln nicht vernässen wird das Wasser ab einer bestimmten Einstauhöhe über einen Notüberlauf abgeführt.

Bei der Optimierung der Gründächer wurde meist nicht beachtet, ob die verwendeten Materialien durch den Kontakt mit Niederschlagswasser gewässerrelevante Schadstoffe freisetzen oder ob bestimmte Eigenschaften der Gründächer einen Einfluss auf die Schadstofffreisetzung haben (Chenani et al., 2015). Allerdings stehen einige im Gründach verwendete Materialien im Verdacht, hohe Mengen gewässerrelevanter Schadstoffe freizusetzen.

Beispielsweise werden Bitumendachbahnen als Wurzelschutzbahnen für Gründächer eingesetzt. Obwohl die Bitumendachbahn als physikalische Barriere hergestellt werden kann, wird sie aufgrund der einfacheren Herstellung, der geringeren Kosten und des zuverlässigeren Schutzes häufig mit synthetische Wachstumsregulatoren aus der Gruppe der Auxin-Herbizide behandelt (Oh et al., 2007). Wenn die Wurzel mit der Chemikalie in Kontakt kommt, nimmt sie bestimmte Wachstumshormone auf durch die das weitere Wurzelwachstum gehemmt wird. Eines dieser Auxine ist Mecoprop (MCPP). Obwohl es schon viele zugelassene herbizidfreie Bitumendachbahnen gibt, ist der Großteil mit MCPP behandelt (Hachoumi et al., 2021).

Eine der häufigsten verwendeten Auxine ist MCPP, allerdings werden auch andere Stoffe wie 2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure (MCPA) eingesetzt. Die Freisetzung der Herbizide wird hierbei hauptsächlich von der Verarbeitung in der Bitumendachbahn sowie der Art der chemischen Verbindung beeinflusst. Die Herbizide können auf verschiedene Arten eingearbeitet werden. Am weitesten verbreitet ist hierbei das Beimischen des Herbizids in die Bitumenmasse. Wird diese Masse nun direkt auf eine Trägerschicht aufgebracht, ist das Herbizid frei verfügbar und kann jederzeit freigesetzt werden.

MCPP und seine Transformationsprodukte sind persistent und können bis zu 2 Monate nach der Freisetzung in der Umwelt nachgewiesen werden. Da es sich schlecht an den Boden bindet und sehr gut wasserlöslich ist, wird es bei der Infiltration durch die Bodenzone nicht adsorptiv zurückgehalten. Die Transformation von MCPP erfolgt in erster Linie durch biologischen Abbau; dieser läuft wiederum am schnellsten im Boden ab. Die wichtigsten Einflussfaktoren für den Abbau sind die Temperatur, der Gehalt an organischen Stoffen oder anaerobe Bedingungen (Gómez-Ramírez und García-Fernández, 2014). Niedrigere Temperaturen und ein höherer Gehalt an organischen Stoffen führen zu einer Verringerung der Abbaurate.

Die längere Kontaktzeit des gespeicherten Niederschlagswassers im 0°-Dach in Kombination mit einer hohen organischen Belastung im Gründachsubstratgemisch, könnte zu einer erhöhten Freisetzung von MCPP aus Bitumendachbahnen führen. Diese Hypothese gilt es zu testen.

## 2 Vorgehen

### 2.1 Perkulationsversuche im Labor

Das Projekt besteht aus Labor- und halbtechnischen Versuchen. Im ersten Schritt wurden alle verwendeten Dachmaterialien auf ihre Auswaschung untersucht. Dazu wurden Sie in durchlässige und nicht durchlässige Materialien unterteilt. Die durchlässigen Materialien (Gründachsubstrate) wurden im Labor über Perkolationstests nach DIN 19528 geprüft. Hierfür werden die Materialien in einer Säule mit vier Durchflussraten beschickt, diese sollen die Auswaschung über einen längeren Zeitraum und während verschiedener Regenereignisse darstellen. Im Gegensatz dazu wurde die Auslaugung der nicht durchlässigen Materialien mit dem Horizontal Dynamic Surface Leaching Test (HDSLTL) nach DIN 16637-2 geprüft. Hierbei wurden die Gründachmaterialien für acht unterschiedlich lange Zeiträume in deionisiertes Wasser eingetaucht, um verschiedene Standzeiten zu simulieren.

Die Proben aus den Laborversuchen wurden zusätzlich zu ihrem Gehalt an MCPP auch auf Diuron, Terbutryn, Kupfer, Nickel, Vanadium, Zink, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Sulfat, Sulfit, Gesamtstickstoff und gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) untersucht. Darüber hinaus wurden Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert bestimmt.

### 2.2 Halbtechnische Versuche

Auf dem TUM-Campus Garching, Deutschland, wird derzeit in halbtechnischen Versuchen der Einfluss von Wassermatrix und Kontaktzeit auf die Auswaschung von MCPP untersucht. Dafür wurden Kombinationen aus zwei Arten von Bitumenbahnen und drei verschiedenen Dachtypen aufgebaut (Abbildung 1).

	Bitumendachbahn			
	Physikalisch	Chemisch Triplikate		
Kiesdach	1	1	2	3
Extensives Gründach	1	1	2	3
Intensives Gründach	1	1	2	3



Abbildung 1: Versuchsaufbau für MCPP-Freisetzungsversuche im halbtechnischen Maßstab; Links: Verschiedene Kombinationen von Bitumenbahnen (physikalisch, chemisch) und Dachtypen (Kies, Extensiv- und Intensivbegrünung).

Es werden extensive und intensive Gründächer sowie Kiesdächer untersucht. Jedes Dach besteht aus einem Holzkasten als Träger, einer Dämmung zum Ausgleich starker Temperaturschwankungen, einer Schweißschuttschicht zum Schutz der Dämmung vor Struktur- oder Hitzeschäden während der Wurzelschuttbahnverlegung. Der weitere Aufbau ist dachspezifisch. Das Kiesdach hat auf der Wurzelsperrschicht nur eine 5 cm hohe, 16/32er Rundkiesschicht. Im Gegensatz dazu bestehen die Gründächer aus Schutzvlies, Retentionsbox, Speichervlies und spezifischem Substrat und Begrünung. Da die 0°-Dächer immer waagrecht angeordnet sind, wurden höhenverstellbare Füße eingebaut, um mögliche Setzungen auszugleichen. Außerdem verfügt jedes Dach über einen analogen Wasserstandsanzeiger und einen Abfluss zur Probenahme. Der Notüberlauf in einer Höhe von 7,5 cm entspricht der vom Gründachhersteller angegebenen maximalen Wasserrückhaltehöhe, um Staunässe an den Wurzeln der Pflanzen zu vermeiden.

Die hypothetisierte Korrelation zwischen Kontaktzeit und Auswaschung von MCPP soll durch die gesammelten Daten dargelegt werden. Da bekannt ist, dass die größten Mengen an MCPP kurz nach dem Einbau freigesetzt werden und sich die Freisetzung erst mit der Zeit stabilisiert, werden im Versuchsablauf Eintages-Versuche (Kontaktzeit mit Wasser 1 Tag) als Referenzpunkte zwischen längeren Kontaktzeit-Versuchen durchgeführt. Dies dient dazu, die Ergebnisse auch bei stetig sinkender MCPP-Konzentration durch die Alterung des Materials vergleichen zu können. Eine Versuchsreihe besteht aus elf Durchläufen. Sechs Eintages-Versuchen und fünf Versuchen mit unterschiedlich langen Kontaktzeiten. Um die Reproduzierbarkeit der Versuche gewährleisten zu können, werden alle Versuche mit synthetischen Regenwasser (Sanusi et al., 1996) durchgeführt. Bei jedem Durchlauf werden die Dächer mit 30 L synthetischen Regenwasser bewässert. Die Dächer wurden bisher für 1, 2, 4, 6, 9 und 12 Tage eingestaut, danach entleert und beprobt.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Perkolationstests**

Die Perkolationstests im Labor ergaben, dass vor allem aus den Gründachsubstraten Nährstoffe und Schwermetalle ausgewaschen werden. Obwohl die Proben der ersten Säulenbeschickung teilweise stark erhöhte Konzentrationen aufwiesen, lagen alle Parameter nach der vierten Säulenbeschickung unter den Schwellenwerten der Grundwasserverordnung (GrwV, 2010) bzw. den Geringfügigkeitsschwellenwerten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2017). Dies deutet auf eine starke Anfangsauswaschung zu Beginn und eine rapide Abnahme der Konzentration mit der Zeit hin. Der HDSL-T hat ergeben, dass mit Ausnahme der Bitumendachbahnen, die MCPP emittieren, keine gewässerrelevanten Schadstoffe aus den Gründachmaterialien ausgewaschen werden.

### 3.2 Halbtechnische Versuche

Die bisherigen Eintages-Versuche haben gezeigt, dass die Flächenfreisetzung von MCPP vom Anfang bis zum Ende der Versuchsreihe leicht abnimmt (Abbildung 2). Die Konzentrationen lagen jedoch alle über den Geringfügigkeitsschwellenwerten für LAWA für Pflanzenschutzmittel von  $0,1 \mu\text{g/L}$ . Dieser Trend ist vor allem bei den extensiven Gründächern und den Kiesdächern zu sehen, lediglich die intensiven Gründächer sind davon nicht betroffen.

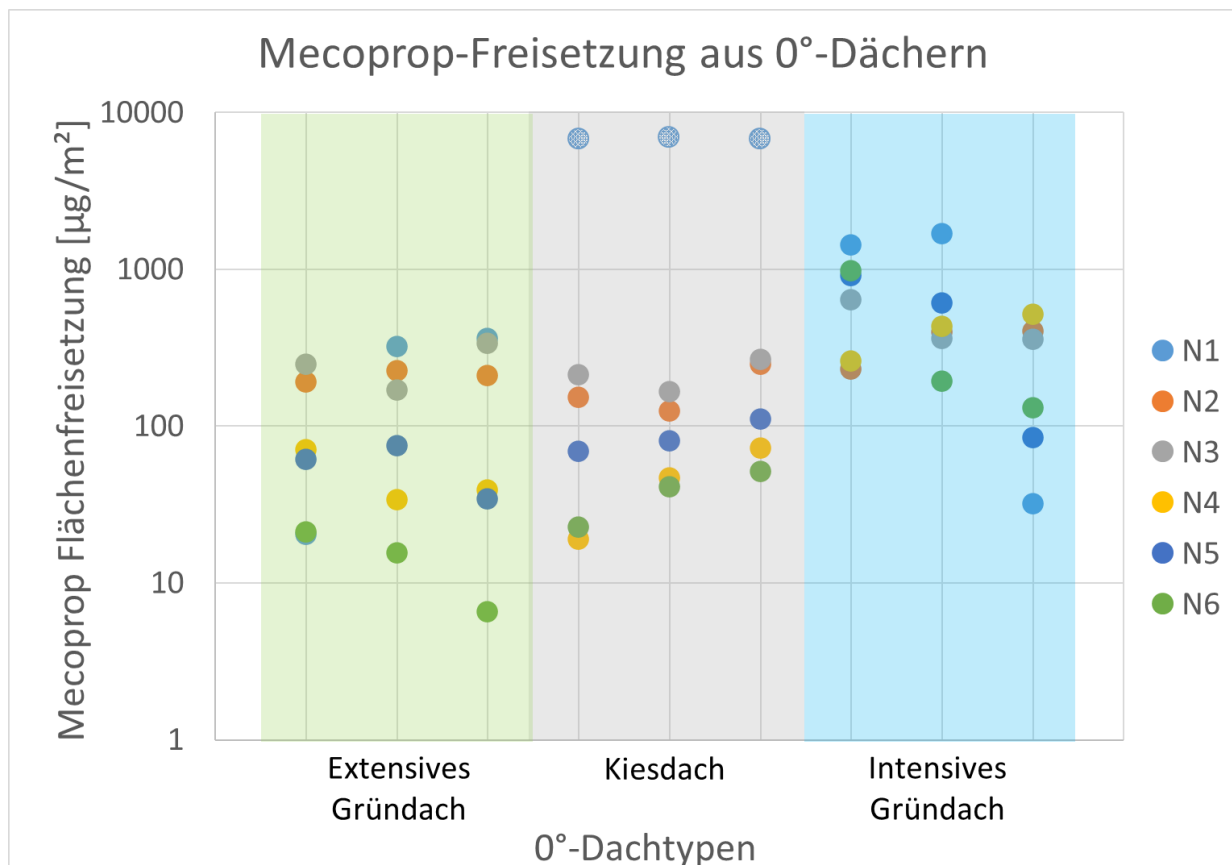


Abbildung 2: Mecoprop-Freisetzung aus 0° Dächern; y-Achse: Flächenbezogene Fracht [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ] auf einer logarithmischen Skala; x-Achse: Dächer mit chemischer Bitumendachbahn (Abbildung 1, links), gruppiert nach 0°-Dachtypen; N1-N6 Eintagesversuche pro Versuchsreihe, N1 erster Versuch in Reihe, N6 letzter Versuch in Reihe. Die Werte für N1 der Kiesdächer sind vorläufig und müssen aufgrund der hohen Konzentration wiederholt werden, da sie oberhalb des Kalibrierungsbereichs lagen.

Um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Dächern zu ermöglichen, wird in Abbildung 2 die Flächenfreisetzung von MCPP auf die Dachfläche bezogen ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ). Die MCPP-Konzentration und das Probenvolumen sind bei den Versuchen sehr variabel und hängen vor allem von der Temperatur und der Bodenfeuchte ab. Zum einen wird angenommen, dass MCPP bei höheren Temperaturen schneller aus den Bitumen-

dachbahnen freigesetzt wird, zum anderen verringert sich das Probenvolumen bei hohen Temperaturen durch die Evapotranspiration. Hingegen der Erwartungen haben die Kisdächer mehr Wasser verdunstet als die Gründächer. Das liegt vor allem an dem sich schnell und stark aufheizenden Kies und der dunklen Bitumendachbahn, die diesen Effekt noch verstärkt. Die Gründächer hingegen verdunsteten nur moderat viel Wasser, senken aber durch die Substratschicht die Temperatur auf der Bitumenbahn. Das führt vor allem zu einem größeren Probenvolumen, was sich wieder negativ auf die Flächenfreisetzung auswirkte. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, befinden sich die hellblauen Punkte (N1) meist am oberen Ende der Messwerte und die grünen Punkte (N6) am unteren Ende, was darauf hinweist, dass es über die Länge der Versuchsreihe zu einer Abnahme der Flächenfreisetzung kommt. Die N1 Werte des Kisdaches sind überproportional hoch, dies liegt sehr wahrscheinlich an kleinen Beschädigungen der Bitumendachbahn, die beim Einbau der Kiesoberfläche entstanden sind. Um genauere Aussagen über die Korrelation bestimmter Parameter auf die MCP-P-Freisetzung ziehen zu können, müssen weitere Experimente durchgeführt werden.

## 4 Ausblick

Die genauen Freisetzungsbedingungen von Mecoprop aus Bitumendachbahnen sind noch nicht hinreichend untersucht worden. Es sind weitere Versuchsreihen mit den 0°-Dächern im halbtechnischen Maßstab geplant, um eine hinreichende Datengrundlage für fundierte Aussagen zu schaffen. Des Weiteren wird der Einfluss von Temperatur, Probenvolumen und Wassermatrix in Laborversuchen untersucht und mit den Daten aus den halbtechnischen Versuchen verglichen.

## 5 Finanzierung

Das Projekt „rain2energy“ wird dankenswerterweise durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert (FKZ: 03EN3045A-K).

## 6 Literaturverzeichnis

- Chenani, Sanaz Bozorg; Lehvavirta, Susanna; Hakkinen, Tarja (2015): Life cycle assessment of layers of green roofs. In: *Journal of Cleaner Production* 90, S. 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.070>.
- Gómez-Ramírez, P.; García-Fernández, A. J. (2014): Mecoprop. In: Philip Wexler (Hg.): *Encyclopedia of toxicology*. Third edition. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Academic Press an imprint of Elsevier, S. 176–179.
- Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1802) geändert worden ist.

- Hachoumi, Imane; Pucher, Bernhard; Vito-Francesco, Elisabetta de; Prenner, Flora; Ertl, Thomas; Langergraber, Guenter et al. (2021): Impact of Green Roofs and Vertical Greenery Systems on Surface Runoff Quality. In: *Water* 13 (19), S. 2609. <https://doi.org/10.3390/w13192609>.
- LAWA: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart 2017.
- Oh, Sang-Keun; Kwak, Kyu-Sung; Sun, Yoon-Suk; Kwon, Shi-Won (2007): A Study on Test Methods for Performance Appraisal of Root Barrier Applying to Green Roofs. In: *Journal of the Korean Institute of Building Construction* 7 (1), S. 79–84. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2007.7.1.079>.
- Sanusi, Astrid; Wortham, Henri; Millet, Maurice; Mirabel, Philippe (1996): Chemical composition of rainwater in Eastern France. In: *Atmospheric Environment* 30 (1), S. 59–71. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00237-s](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00237-s).
- Shafique, Muhammad; Kim, Reeho; Rafiq, Muhammad (2018): Green roof benefits, opportunities and challenges - A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90, S. 757–773. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>.

**Korrespondenz an:**

Daniel Nieß  
Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft  
Am Coulombwall 3  
85748 Garching, Deutschland  
+49 89 289 13780  
[daniel.niess@tum.de](mailto:daniel.niess@tum.de)