

# Wirkstoffauswaschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen: verkapselte versus unverkapselte Biozidsysteme

von

Dr. rer. nat. Klaus Breuer  
Dr. rer. nat. Florian Mayer  
Dipl.-Chem. Christian Scherer  
Dr.-Ing. Regina Schwerd  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

---

## **Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

(Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer)  
Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

## **Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

Standort Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

## **Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

Standort Kassel  
Gottschalkstraße 28a – 34127 Kassel



Klaus Breuer  
 Florian Mayer  
 Christian Scherer  
 Regina Schwerd  
 Klaus Sedlbauer

# Wirkstoffauswaschung aus hydrophoben Fassadenbeschichtungen: verkapselte versus unverkapselte Biozidsysteme

Durch Schlagregen können biozide Wirkstoffe, die zur Verhinderung bzw. Verzögerung des Bewuchses von Fassaden mit Algen und Pilzen eingesetzt werden, aus Fassadenbeschichtungen ausgewaschen werden. Seit ca. zehn Jahren werden die Wirkstoffe zunehmend auch in verkapselter Form eingesetzt. In einem einjährigen Freilandversuch wurde die Auswaschung der Wirkstoffe Terbutryn (2-Methylthio-4-tert-butylamino-1,3,5-triazin), Diuron (DCMU, 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea), IPBC (3-Iodoprop-2-ynyl-N-butylcarbamate), OIT (2-n-Octyl-isothiazolin-3-on) und DCOIT (4, 5-Di-chloro-2-n-octyl-isothiazolin-3-on) sowohl in freier als auch in verkapselter Form untersucht. Es zeigte sich, dass, eingesetzt in einem hoch wasserabweisenden Putzsystem, eine in ihrer Stärke an den jeweiligen Wirkstoff angepasste Verkapselung die Auswaschung deutlich – um bis zu 85 % bei Diuron – reduziert.

**Release of biocides from hydrophobic façade coatings: encapsulated vs. non-capsulated biocide systems** *Due to driving rain biocidal active substances, which prevent or delay the overgrowth of façades with algae and fungi, can be leached out of the façade coatings. For the past 10 years encapsulated active substances are increasingly used. During a one year field trial the leaching of the substances Terbutryn (2-Methylthio-4-tert-butylamino-1,3,5-triazine), Diuron (DCMU, 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea), IPBC (3-Iodoprop-2-ynyl-N-butylcarbamate), OIT (2-n-Octyl-isothiazolin-3-one) and DCOIT (4, 5-Di-chloro-2-n-octyl-isothiazolin-3-one) have been investigated in capsulated and non-capsulated form. It shows that a well adjusted rate of encapsulation of the active substances could significantly reduce the release (up to 85 % in case of Diuron) from highly hydrophobic façade coatings.*

## 1 Einleitung

### 1.1 Pilze und Algen auf gedämmten Fassaden

83 % des gesamten Energiebedarfs in privaten Haushalten werden für die Raumerwärmung und die Warmwasserbereitstellung aufgewendet. Dabei verbrauchen bestehende Gebäude ca. dreimal so viel Heizenergie wie Neubauten [1]. Die Dämmung der gesamten Gebäudehülle ist eine effektive Maßnahme zur in der Energieeinsparverordnung von 2009 festgeschriebenen Verringerung der Transmissionswärmeverluste und damit zur Energieeinsparung [2]. Auf die eingesetzten Dämmstoffe werden als Abschluss häufig organisch gebundene Putze bzw. Putzsysteme aufgetragen. Darüber hinaus müssen im Laufe der Zeit mehr oder weniger alle Fassaden auch überarbeitet werden. Diese Über-

arbeitung erfolgt dann ebenfalls häufig mit organisch gebundenen Fassadenfarben. Organisch gebundene Fassadenbeschichtungen sind komplexe, aus vielen organischen Komponenten bestehende Systeme. Während ihrer Nutzungsphase wirken eine Vielzahl von Einflüssen wie Schlagregen, Betauung, Temperaturwechsel und Strahlung auf die Beschichtungen und ihre Bestandteile ein. Bei wärmegeprägten Fassaden ist besonders die Betauung hervorzuheben, da mit der Verringerung des Wärmetransports durch die Fassade eine Absenkung der Temperatur der Außenoberfläche besonders in den Nachtstunden einhergeht. Damit steigt im Vergleich zur ungedämmten Fassade die Wahrscheinlichkeit, dass sich auf der Außenoberfläche Tauwasser – eine wichtige Grundlage für mikrobielles Wachstum – bildet. Sowohl nach Tauwasserbildung als auch nach Regenerereignissen bleiben gedämmte Fassaden im Durchschnitt länger feucht, was auch wiederum für Mikroorganismen wie Pilze und Algen die Wachstumsbedingungen verbessert.

### 1.2 Bewuchsverzögerung durch Biozide – Problematik der Wasserlöslichkeit

Um den Bewuchs mit Algen und Pilzen zu verhindern bzw. zu verzögern, werden Fassadenbeschichtungen entsprechend dem Stand der Technik matrixabhängig vielfach mit bioziden Wirkstoffen ausgerüstet. Diese Biozide müssen einerseits möglichst lange in der Beschichtung verbleiben, weshalb prinzipiell nur relativ schwer lösliche Stoffe eingesetzt werden, andererseits bildet eine gewisse Wasserlöslichkeit die Grundvoraussetzung, damit sie von den Mikroorganismen aufgenommen und somit wirksam werden können. Hierin ist die Problematik der Dauerhaftigkeit gegenüber der Wirksamkeit begründet, da diese systembedingt notwendige Wasserlöslichkeit dazu führt, dass die eingesetzten Wirkstoffe durch auftreffendes Regenwasser ausgewaschen werden können – in unterschiedlichem Ausmaß entsprechend ihrer stoffbedingten Löslichkeit. Der Austrag von Bioziden durch ablaufendes Regenwasser nach Schlagregenereignissen ist direkt messbar. In Abhängigkeit vom Wirkstoff und der Art der Beschichtung sind im Allgemeinen die ersten sechs Monate nach Erstellung einer Fassade maßgeblich für die mit dem ablaufenden Regenwasser ausgetragenen Wirkstoffmengen (sog. „Anfangsauswaschung“). Dies zeigten Ergebnisse eines breit angelegten, fünfjährigen Freilandversuchs an Prüfkörpern, die mit unterschiedlichen biozid-ausgerüsteten Putzen und Anstri-

chen versehen waren [3]. Verschiedene Laborversuche bestätigen dies auch [4], [5]. Je nach Konzeption der Oberflächenentwässerung (z. B. Versickerung, direkte Einleitung in Oberflächengewässer) werden Biozide dadurch auch in die Umwelt eingetragen [6], [7].

### 1.3 Moderne Technologien des Bewuchsschutzes

Um zum einen die Dauerhaftigkeit in der Beschichtung zu erhöhen und zum anderen die Auswaschung durch Regenwasser zu minimieren, bestehen zwei Möglichkeiten: spezielle hoch wasserabweisende Beschichtungsmittel mit niedriger Wasseraufnahme (Durchlässigkeitsrate für flüssiges Wasser  $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ ) können einerseits die Wasserzugänglichkeit der Biozide herabsetzen, andererseits können die Biozide bereits in „geschützter“ Form in die Fassadenbeschichtung eingebracht werden. Zum Einsatz kommen hier z. B. sog. Mikrokapseln, bei denen die Wirkstoffe in eine organische Polymermatrix eingebettet sind. Der Durchmesser der Mikrokapseln liegt dabei zwischen 10 und 20  $\mu\text{m}$ . Die Freisetzung der Wirkstoffe erfolgt diffusionskontrolliert, wodurch insbesondere die sonst hohe „Anfangsauswaschung“ herabgesetzt werden soll. Die Stärke und Ausführung der Verkapselung wird an die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Wirkstoffe „maßgeschneidert“ angepasst und damit deren Übergang in die Wasserphase gesteuert. Die Mikroverkapselung verringert so die Auswaschung der Biozide und trägt zu einer Verlängerung der Schutzwirkung in der Beschichtung bei. Eine Reduktion der eingesetzten Wirkstoffmengen kann darüber hinaus gegebenenfalls auch erreicht werden.

### 1.4 Zielsetzung der Untersuchung

Der hier dargestellte einjährige Freilandversuch untersucht vergleichend das unterschiedliche Freisetzungsverhalten freier (nicht verkapselter) und verkapselter biozider Wirkstoffe aus Fassadenbeschichtungen. Die Ergebnisse sollen exemplarisch aufzeigen, in welcher Größenordnung eine Verkapselung von bioziden Wirkstoffen deren Auswaschung aus Beschichtungen reduziert.

## 2 Vorgehensweise

### 2.1 Klimatische Randbedingungen

Der einjährige Freilandversuch wurde auf dem Freiland-Versuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen durchgeführt. Der Standort Holzkirchen, auf einer Höhe von ca. 680 m im Voralpenland gelegen, ist aufgrund folgender Klimabedingungen für Freilanduntersuchungen besonders geeignet:

- hohe Schlagregenbelastung
- hohe solare Einstrahlung
- tiefe winterliche Temperaturen mit großen Schneemengen
- hohe sommerliche Temperaturen
- starke Temperaturwechsel Tag/Nacht
- extreme Temperaturwechsel durch Föhn.

Das langjährige Jahresmittel (1995 bis 2009) des Gesamtniederschlags in Holzkirchen beträgt  $1190 \text{ L/m}^2$ . Das Jahresmittel von z. B. Würzburg (268 m ü. NN) liegt bei

$664 \text{ L/m}^2$ . Der Schlagregenanteil in Holzkirchen aus westlicher Richtung beläuft sich dabei auf ca. 40 %. Der Standort ist daher in die höchste Schlagregenbeanspruchungsgruppe „III“ eingeordnet [8]. Vergleicht man die Niederschlagsbelastung von Holzkirchen und Würzburg, Schlagregenbeanspruchungsgruppe „I-II“, über den Zeitraum 01/2010 bis 06/2011, in den auch die Untersuchungen fallen, stellt man fest, dass in Holzkirchen die Niederschlagsmenge um den Faktor 1,6 höher war. Die Errechnung der Windfeldindices in Anlehnung an [9] zur Bestimmung der Schlagregenbelastung aus Westen ergibt für den gleichen Zeitraum für Holzkirchen einen 1,7-fach höheren Wert.

### 2.2 Beschichtungen und Wirkstoffe

Für die Untersuchungen wurden zwei identische, nach Westen orientierte Hausfassaden („Haus 1“ und „Haus 2“) mit einer Fläche von jeweils  $21,7 \text{ m}^2$  herangezogen. Die betrachteten Fassadenflächen wurden jeweils mit einem Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) der Fa. Sto AG, Stühlingen, bestehend aus EPS-Dämmplatten und einem stark hydrophoben Oberputzsystem nach DIN EN 15824 mit einem Reinacrylat als Bindemittel versehen [10] (Bilder 1 und 2). Die entsprechenden Kennzahlen finden sich in Tabelle 1. Die Deckputze auf beiden WDVS-Flächen waren biozid ausgerüstet. Die Einsatzkonzentration betrug  $500 \text{ ppm}$  pro Wirkstoff im Nassmaterial. Dies entspricht bei einem Verbrauch von  $3,2 \text{ kg}$  Deckputz pro  $\text{m}^2$  einer Flächenkonzentration je Wirkstoff von  $1600 \text{ mg/m}^2$ .

Als Wirkstoffe kamen Terbutryn (CAS-Nr. 886-50-0), Diuron (CAS-Nr. 330-54-1), IPBC (CAS-Nr. 55406-53-6), OIT (CAS-Nr. 26530-20-1) und DCOIT (CAS-Nr. 64359-81-5) zum Einsatz. Die zugehörigen Wasserlöslichkeiten und *n*-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bei „Haus 2“ lagen die Biozide frei, also nicht verkapselt in der Putzmatrix vor, bei „Haus 1“ in mikroverkapselter Form. Laut Herstellerangaben (Fa. Thor GmbH, Speyer) handelt es sich bei der hier verwendeten Technologie der Verkapselung um eine



Bild 1. Nach Westen ausgerichtete Giebelseiten der identisch aufgebauten Versuchs-Häuser vor Aufbringung der untersuchten Beschichtungen

Fig. 1. West-facing gable wall of identically built test houses prior to the application of exterior test coatings

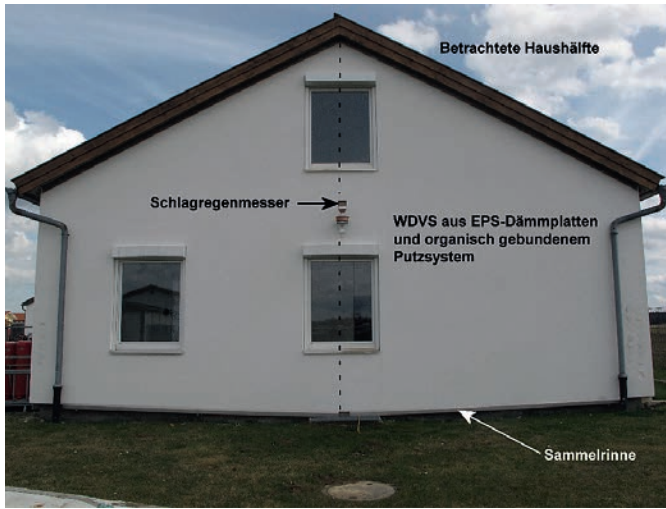


Bild 2. Direktansicht einer frisch hergestellten Versuchsfläche  
Fig. 2. Direct view of a freshly prepared test area

Tabelle 1. Kennzahlen des verwendeten Oberputzes  
Table 1. Key data for the exterior coating applied

Parameter	Kennzahl
Dichte	1,7–1,9 g/cm <sup>3</sup>
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d$	0,05–0,08 m
Wasserdurchlässigkeitsrate $w$	< 0,05 kg/(m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> )
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$	25–40

Tabelle 2. Wasserlöslichkeiten und *n*-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten (Angabe als log K<sub>OW</sub>) der Wirkstoffe  
Table 2. Water solubility and *n*-Octanol-water partition coefficient (stated as log K<sub>OW</sub>) of the active substances

Wirkstoff	Löslichkeit in Wasser [mg/L]	log K <sub>OW</sub> [-]
Terbutryn [11]	25	3,5
IPBC [12]	168	2,4
OIT [12]	480	2,5
DCOIT [12]	14	4,9
Diuron [13]	35	2,8

organische Mikro-Polymermatrix (Aminoplast) mit Partikelgrößen von 10 bis 20 µm, in die die Wirkstoffe eingebettet sind und aus der sie in der Anwendung diffusionskontrolliert freigesetzt werden.

### 2.3 Probenahme und Analytik

Bei jedem Regenereignis wurde das von der Fassade ablaufende Regenwasser über Sammelrinnen aufgefangen und die Volumina bestimmt. Untersucht wurden alle Ablaufwässer, deren Volumen 1 L überschritt. Die Probenahme erfolgte dabei täglich, außer an den Wochenenden. In Erwartung geringer Wirkstoffgehalte im Ablaufwasser zum Ende der Projektlaufzeit hin wurden während der gesamten Versuchsdauer die Wirkstoffe aus Aliquoten von 200 mL Volumen mittels Festphasenextraktion (SPE: Solid Phase Extraction) angereichert und die Extrakte bei Bedarf für die instrumentelle Analytik verdünnt, um eine gleichbleibende Behandlung der Proben sicherzustellen. Als Adsorbentmaterial diente ein polar modifiziertes Polystyrol-Divi-

nylbenzol-Harz (Bond Elut PPL der Firma Varian). Die Extrakte wurden direkt mittels HPLC-Tandem-MS vermessen. Für die Auswertung wurde aus im Labor hergestellten wässrigen Proben mit unterschiedlichen Wirkstoffkonzentrationen nach der gleichen Vorgehensweise eine Kalibrationsreihe erstellt.

Über die in die Fassade integrierten Schlagregenschlagmesser wurde die auf die Beschichtung auftreffende Regenmenge erfasst (Bild 2). Durch eine auf dem Testgelände befindliche Wetterstation standen auch weitere Klimadaten wie Normalregen und Temperatur zur Verfügung.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Schlagregenablauf

Während des 378 Tage dauernden Versuchszeitraums vom 19. Mai 2010 bis zum 1. Juni 2011 fanden 58 Regenereignisse mit analysierbaren Ablaufwassermengen (Ablaufvolumen > 1 L) statt. Insgesamt wurde im Beprobungszeitraum eine Gesamtniederschlagsmenge von 1150 L/m<sup>2</sup> gemessen. Bei Haus 1 trafen insgesamt 429 L/m<sup>2</sup> und bei Haus 2 483 L/m<sup>2</sup> an Schlagregen auf die untersuchte Fassadenfläche auf. Das von der Fassade ablaufende Volumen ergab bei Haus 1 148,5 L/m<sup>2</sup>, bei Haus 2 131,6 L/m<sup>2</sup>. Dies entspricht 13 % vom Gesamtniederschlag und 35 % vom Schlagregen bei Haus 1 bzw. 11 % und 27 % bei Haus 2 (Tabelle 3).

Tabelle 3. An den Testhäusern ermittelte Gesamtvolumina von Schlagregen und Fassadenablauf nach 378 Tagen  
Table 3. Total volume of driving rain and facade run-off determined at the test houses after a period of 378 days

Parameter	Haus 1	Haus 2
Normalregen [L/m <sup>2</sup> ]	1150	
Schlagregen [L/m <sup>2</sup> ]	429	483
Verhältnis Normalregen : Schlagregen	2,7 : 1	2,4 : 1
Fassadenablaufwasser [L/m <sup>2</sup> ]	148,5	131,6
Anteil Fassadenablauf vom Gesamtniederschlag [%]	13	11
Anteil Fassadenablauf vom Schlagregen [%]	35	27

### 3.2 Wirkstoff-Freisetzung

Die Flächenkonzentration je Wirkstoff in den Fassadenbeschichtungen beträgt 1600 mg/m<sup>2</sup>. Die kumulierten flächenbezogenen Austräge der unverkapselten Wirkstoffe liegen zwischen 189 mg/m<sup>2</sup> bei OIT bzw. 187 mg/m<sup>2</sup> bei Diuron und 13 mg/m<sup>2</sup> bei DCOIT. Von den mikroverkapselt vorliegenden Wirkstoffen werden zwischen 78 mg/m<sup>2</sup> bei OIT bzw. 75 mg/m<sup>2</sup> bei IPBC und 10 mg/m<sup>2</sup> bei DCOIT freigesetzt (Tabelle 4).

Die ermittelten Austräge zeigen die erwarteten Querbeziehungen zu den jeweiligen qualitativen Stoffeigenschaften wie Wasserlöslichkeit und *n*-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient (s. a. Tabelle 2). Je höher die Wasserlöslichkeit und je niedriger der *n*-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient ist, desto höher ist generell die ausgetragene Wirkstoffmenge (s. a. [14]).

Bei den eingesetzten Wirkstoffen zeigen sich bei Verkapselung deutlich geringere Austräge als bei „frei“ vorliegendem Wirkstoff. Bezogen auf die eingesetzte Wirkstoffmenge werden bei den frei vorliegenden Bioziden innerhalb des Beobachtungszeitraums maximal 11,8 % (OIT) eines Wirkstoffs ausgetragen, bei den anderen Wirkstoffen teilweise sogar deutlich weniger (Tabelle 4). Bei den verkapselt eingesetzten Bioziden ist dieser Anteil nochmals deutlich geringer und beträgt maximal 4,9 % (OIT).

Tabelle 4. Absoluter [mg/m<sup>2</sup>] und anteilig auf die insgesamt eingesetzte Wirkstoffmenge bezogener Austrag [%] (1600 mg pro Wirkstoff und m<sup>2</sup>)

Table 4. Absolute [mg/m<sup>2</sup>] and proportional release [%] (related to the total amount of active substances used, 1600 mg per active substance and m<sup>2</sup>)

Wirkstoff	verkapselt		unverkapselt	
	[mg/m <sup>2</sup> ]	[%]	[mg/m <sup>2</sup> ]	[%]
Terbutryn	24	1,5	59	3,7
IPBC	75	4,7	135	8,4
OIT	78	4,9	189	11,8
DCOIT	10	0,6	13	0,8
Diuron	29	1,8	187	11,7

Die größte Reduktion des kumulierten Austrags durch die Mikroverkapselung der Wirkstoffe wird bei Diuron (85 %) festgestellt, gefolgt von OIT und Terbutryn (beide 59 %), IPBC (44 %) und DCOIT (23 %). Die kumulierten Austräge der verkapselten Wirkstoffe liegen dabei nach einem Jahr mit Werten zwischen 78 mg/m<sup>2</sup> bei OIT bzw. 75 mg/m<sup>2</sup> bei IPBC und 10 mg/m<sup>2</sup> bei DCOIT deutlich unter den Werten der Vergleichsflächen mit nicht verkapselten Wirkstoffen (Bild 3).

### 3.3 Zeitlicher Verlauf des Wirkstoffaustrags

Wie in früheren Projekten mit ähnlicher Fragestellung auch (z. B. [3]) zeigt sich, dass bei allen eingesetzten Wirk-

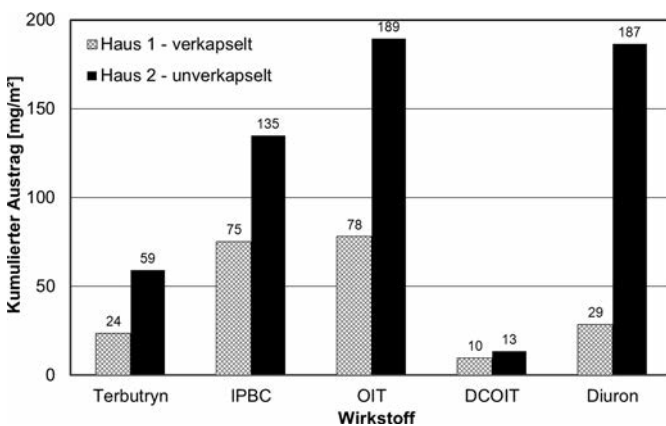


Bild 3. Vergleich der kumulierten Austräge der verkapselten und nicht verkapselten Wirkstoffe im Versuchszeitraum vom 19. Mai 2010 bis zum 1. Juni 2011

Fig. 3. Comparison of the cumulative release of encapsulated and non-encapsulated active substances during the trial period from 19th May 2010 to 1st June 2011

stoffen die größten Austräge innerhalb der ersten 10 bis 20 Regenereignisse erfolgen („Anfangsauswaschung“). Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Beregnungsversuchen im Labor (z. B. [4]) liegen diese Austräge allerdings auf deutlich niedrigerem Niveau, auch schon bei den freien Wirkstoffen. Die 10 bis 20 ersten Regenereignisse entsprechen bei den im Sommer 2010 herrschenden Witterungsverhältnissen einem Zeitraum von 21 bzw. 68 Tagen, also ca. 1 bis 2 Monate Exposition im Freiland. In Bild 4 wird dies exemplarisch für den Wirkstoff Diuron gezeigt, der, wie bereits erwähnt, sowohl frei als auch verkapselt jeweils in einer Konzentration von 1600 mg/m<sup>2</sup> im Deckputz vorliegt. Der kumulierte Austrag des unverkapselten Diurons steigt hier innerhalb von 10 Regenereignissen auf 165 mg/m<sup>2</sup> (10,3 % der eingesetzten Menge) an. Im weiteren Zeitverlauf werden dann nur noch relativ geringe und in der Stoffmenge konstante Austräge beobachtet. So steigt der kumulierte Austrag bis zum 20. Regenereignis auf 180 mg/m<sup>2</sup> (11,3 %) und nimmt über den restlichen Beobachtungszeitraum nur noch geringfügig bis zu einem Wert von 187 mg/m<sup>2</sup> (11,7 %) zum Ende des Beobachtungszeitraums zu. Auch bei den verkapselt eingesetzten Wirkstoffen trägt die Anfangsauswaschung maßgeblich zum Gesamtaustrag bei, jedoch auf signifikant niedrigerem Niveau. So beträgt hier der kumulierte Austrag von Diuron nach 10 Regenereignissen nur 19 mg/m<sup>2</sup> (1,2 %) und somit gut zwei Drittel des letztlich experimentell erreichten Endaustrags von 28 mg/m<sup>2</sup> (1,8 %). 28 mg/m<sup>2</sup> entsprechen 15 % des Austrags an unverkapselt in die Beschichtung eingebrachtem Diuron.

Bei Verwendung des kumulierten Schlagregens als Bezugsgröße für den kumulierten Austrag ergeben sich annähernd logarithmische Kurvenverläufe des Wirkstoffaustrags (Bild 5). Der kumulierte Schlagregen steht hierbei für die Wassermenge, die im Laufe der „Lebenszeit“ einer Fassade auf diese auftrifft und zum Austrag von Bioziden führen kann. Bei Kenntnis der für die einzelnen Wirkstoffe und die Fassadenbeschichtung jeweils charakteristischen logarithmischen Näherungsfunktion kann so in der Zukunft möglicherweise der Wirkstoffaustrag prognostiziert werden.

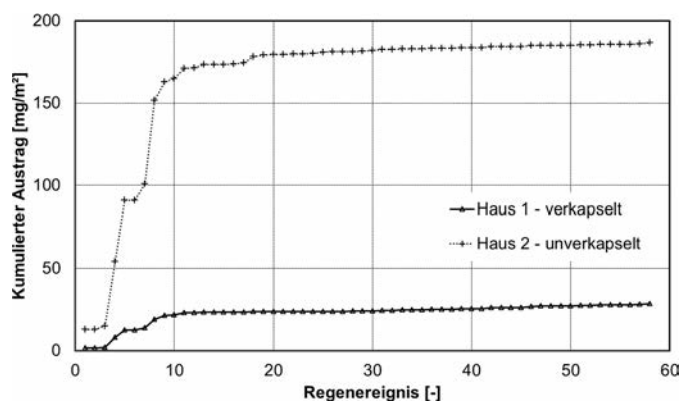


Bild 4. Entwicklung des kumulierten Diuron-Austrags über die Regenereignisse im Versuchszeitraum vom 19. Mai 2010 bis zum 1. Juni 2011

Fig. 4. Development of the cumulative Diuron release over the rain events in the trial period from 19th May 2010 to 1st June 2011

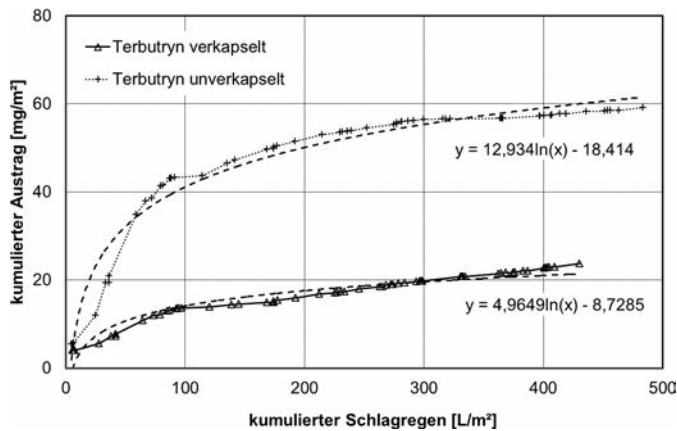


Bild 5. Logarithmische Näherung des kumulierten Wirkstoffaustrags am Beispiel Terbutryn

Fig. 5. Logarithmic approximation of the cumulative active substances release using the example of Terbutryn

#### 4 Fazit und Ausblick

Nach jedem Regenereignis wurde das asservierte Ablaufwasser der Fassaden auf seine Wirkstoffgehalte hin untersucht. Dabei konnten die eingesetzten Biozide in unterschiedlichen Mengen nachgewiesen werden. Die Ergebnisse des einjährigen Freilandversuches zeigen exemplarisch, dass durch den Einsatz von mikroverkapselten bioziden Wirkstoffen in Kombination mit einem stark hydrophoben Putzsystem der Biozid-Austrag durch Schlagregen aus Fassadenbeschichtungen im Vergleich zum Einsatz von unverkapselten Bioziden erheblich reduziert werden kann. Besonders die bei frei vorliegenden Wirkstoffen starke sog. „Anfangsauswaschung“ wird durch die Verkapselung deutlich vermindert. Die Verwendung mikroverkapselter biozider Wirkstoffe in organischen Fassadenbeschichtungen stellt sich damit als effektiver Ansatz dar, den unerwünschten Eintrag von bioziden Wirkstoffen in die Umwelt zu verringern.

Aus der aktuell noch laufenden experimentellen Bestimmung der Wirkstoff-Restgehalte in den Beschichtungen wird zudem noch weiterer Aufschluss über Fragen zur Dauerhaftigkeit erwartet, der über den bisherigen Wissensstand, der lediglich „frei“ vorliegende Wirkstoffe umfasst, hinaus geht. So wird z. B. erwartet, dass empfindliche, also unter Witterungseinfluss reaktive Wirkstoffe durch die Mikroverkapselung auch besser geschützt sind und so innerhalb der Beschichtung länger stabil erhalten bleiben. Mikroverkapselte Wirkstoffe eröffnen somit die Möglichkeit, im Sinne der Nachhaltigkeit die Dauerhaftigkeit von Fassadenbeschichtungen gegen mikrobiellen Bewuchs zu erhöhen und Renovierungszyklen zu verlängern.

Weiterführende experimentelle Arbeiten befassen sich derzeit auch mit Phänomenen wie der Verteilung von Wirkstoffen innerhalb von Fassadenflächen durch Migration (hervorgerufen durch Trocknungsvorgänge etc.). Darüber hinaus ist geplant, an mineralisch beschichteten Vergleichsflächen noch Regenwasser-„Ablaufmengen“ zu bestimmen, um den Einfluss von unterschiedlich hydrophoben Beschichtungen auf die „Wasserzugänglichkeit“ der Wirkstoffe in der Beschichtung charakterisieren zu können. Insgesamt sollen die hier vorgestellten und noch geplanten Arbeiten dazu beitragen, ein umfassendes Verständnis des

Verhaltens biozider Wirkstoffe in Fassadenbeschichtungen zu gewinnen und damit dauerhafte, ressourcenschonende und umweltverträgliche Fassadenbaustoffe zu entwickeln.

#### Literatur

- [1] Deutsche Energie Agentur: Energieeffiziente Gebäude. <http://www.dena.de/themen/thema-bau/>, Stand: 22. Juli 2011.
- [2] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, vom 29. April 2009. Bundesgesetzblatt Jg. 2009 Teil I Nr. 23 (2009), S. 954–989.
- [3] Schwerd, R., Scherer, C. R., Krueger, N., Hofbauer, W., Mayer, F., Breuer, K.: Dauerhaftigkeit von bioziden Wirkstoffen in Fassadenbeschichtungen. Tagung Bauchemie 2010, Dortmund 7.–8. Oktober 2010, GDCh-Monographie, Bd. 42 (2010), S. 77–84.
- [4] Burkhardt, M., Junghans, M., Zuleeg, S., Schoknecht, U., Lamani, X., Bester, K., Vonbank, R., Simmler, H., Boller, M.: Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 21 (2009), S. 536–547.
- [5] Schoknecht, U.: Auswaschbarkeit von Biozidwirkstoffen aus Fassadenbeschichtungen – welche Erkenntnisse bringen Laboruntersuchungen? In: Venzmer, H. (Hrsg.): Forum Altbausanierung 2. Biofilme und funktionale Baustoffoberflächen, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 111–119.
- [6] Burkhardt, M., Zuleeg, S., Marti, T., Vonbank, H., Simmler, H., Boller, M.: Auswaschung aus Fassaden versus nachhaltige Regenwasserentsorgung? In: H. Venzmer, Forum Altbausanierung 2. Biofilme und funktionale Baustoffoberflächen, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 101–110.
- [7] Burkhardt, M., Schmidt, P.: Gebäudefassaden als Quelle für Gewässerverschmutzung, Ökoskop 1/09 (2009), S. 10–12.
- [8] DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [9] DIN EN ISO 15927-3:2009-08 Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 3: Berechnung des Schlagregenindex für senkrechte Oberflächen aus stündlichen Wind- und Regendaten.
- [10] DIN EN 15824:2009-10 (D) Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln; Deutsche Fassung EN 15824:2009.
- [11] Industrieverband Agrar IVA (Hrsg.): Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln – Physikalisch-chemische und toxikologische Daten. 2., neubearb. Aufl. München: BLV-Verlag, 1990.
- [12] Paulus, W. (ed.): Microbicide Data. In: Directory of Microbicides for the Protection of Materials. Springer: New York, 2005.
- [13] European Commission Joint Research Centre, ESIS European chemical Substances Information System, Stand 18. August 2011. [http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/existing-chemicals/IUCLID/data\\_sheets/330541.pdf](http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/existing-chemicals/IUCLID/data_sheets/330541.pdf)
- [14] Schoknecht, U., Gruycheva, J., Mathies, H., Bergmann, H., Burkhardt, M.: Leaching of Biocides Used in Facade Coatings under Laboratory Test Conditions. Environmental Science and Technology 43 (2009), pp. 9321–9328.

#### Autoren dieses Beitrages:

Dr. rer. nat. Klaus Breuer, Dr. rer. nat. Florian Mayer, Dipl.-Chem. Christian Scherer, Dr.-Ing. Regina Schwerd, Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer  
Alle:

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Standort Holzkirchen,  
Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley

