

# Untersuchung des Austragsverhaltens von Maisherbiziden in Lysimetern unter Freilandbedingungen (Standort Wielenbach)

Anne Bayer<sup>1\*</sup>, Maren Obernolte<sup>1</sup> und Arne Thie<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

In der Versuchsanlage Wielenbach des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) wurden 2013 vier Lysimeter (Fläche 1 m<sup>2</sup>, Tiefe 2 m) mit unterschiedlichen Böden, sowie das sie umgebende Feld auf ca. 30 m<sup>2</sup> mit Energiemais bepflanzt (9 Pfl./m<sup>2</sup>). Ende Mai 2013 wurde eine Pflanzenschutzmittelmischung bestehend aus den Wirkstoffen Terbutylazin, Metolachlor, Nicosulfuron und Prosulfuron entsprechend der guten fachlichen Praxis nach Anwendungsvorschrift ausgebracht. Um eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen zu gewährleisten, wurde die Fläche nach landwirtschaftlicher Praxis gedüngt. Nach der Ausbringung der PSM am 28.05.2013 folgte ein Starkregenereignis von 140 l/m<sup>2</sup> zwischen dem 29.05. und 02.06.2013. Die Versickerung in den Lysimetern wurde durch die erhöhten Niederschlagsmengen Anfang Juni stark begünstigt. Die PSM-Messungen der Sickerwässer am 02. und 03.06.2013 zeigen deutliche Konzentrationsspitzen der einzelnen Herbizide. Es wurden Einzelkonzentrationen von bis zu 70 µg/l (Metolachlor) im Sickerwasser gemessen. Die verschiedenen Wirkstoffe zeigten in den Lysimetern je nach Bodentyp ein unterschiedliches Verhalten. Die höchsten auf die Fracht bezogenen Austräge wurden für Nicosulfuron erreicht.

*Schlagwörter:* Energiemais, Metolachlor, Terbutylazin, Nicosulfuron, Lysimeter

## Summary

In 2013 four lysimeters of different soil types (area 1 m<sup>2</sup>, depth 2 m) and the surrounding field (30 m<sup>2</sup>) were cultivated with maize for biogas at the experimental plant in Wielenbach, Bavarian Environment Agency. A mixture of terbuthylazine, metolachlor, nicosulfuron and prosulfuron was deployed at the end of May 2013 according to good practice. The area was also fertilized according to agricultural practice to ensure a sufficient nutrient supply. A heavy rain event (140 l/m<sup>2</sup>) which occurred between May 29<sup>th</sup> and June 2<sup>nd</sup> after the application of the plant protection products (28.05.2013), promoted the infiltration. Peak concentrations up to 70 µg/l metolachlor have been measured in the leachate. The active components show different behavior according to soil type. The highest soil seepage output according to load was measured for nicosulfuron.

*Keywords:* maize for biogas, metolachlor, terbuthylazine, nicosulfuron, lysimeter

## Einleitung

In den letzten Jahren konnten insbesondere an kleinen Fließgewässern steigende Konzentrationen von speziell im Maisanbau verwendeten Herbiziden (wie Terbutylazin und Metolachlor) nachgewiesen werden. Rund 2.300 der ca. 7.000 Biogasanlagen Deutschlands stehen in Bayern und dementsprechend ist hier mit ca. 530.000 ha (bundesweit ca. 2,5 Mio. ha) nach Niedersachsen die zweitgrößte Maisanbaufläche mit steigender Tendenz. Zwischen 2008 und 2013 nahm die Silomaisanbaufläche in Bayern um 14,5 Prozent zu. Allein von 2010 bis 2011 konnte eine Zunahme von ca. 12 Prozent verzeichnet werden [1]. Mais bzw. Maissilage wird in Biogasanlagen bevorzugt verwendet, da er eine ertragreiche Energiepflanze ist. Er wächst schnell, liefert viel Biomasse und hat einen sehr hohen Biogasertrag. 2012 stellte Maissilage einen Anteil von 73 Prozent am massebezogenen Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen dar [2]. Dies verdeutlicht, warum der Silomaisanbau in Deutschland in den vergangenen Jahren

stark zugenommen hat, weshalb in diesem Zusammenhang auch häufig von einer „Vermaisung“ der Landschaft gesprochen wird. Nachteilige Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer durch die Zunahme des Maisanbaus können nicht ausgeschlossen werden.

## Material und Methoden

In der Versuchsanlage Wielenbach des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) gibt es eine Lysimeteranlage mit acht Lysimetern. Vier dieser Lysimeter wurden für die Pflanzenschutzmittelexperimente verwendet.

Die einzelnen Lysimeter haben eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> bei einer Tiefe von 2 m. Der Standort stellt ursprünglich einen Grünlandstandort dar, der für das geforderte Versuchsdesign über vier zusammenhängende Lysimeter zum Maisacker abgeändert wurde. Dazu wurde auch der diesem Versuchsfeld nächst gelegene Niederschlagsmesser (Pluviometer) zur Vermeidung von Abschattungseffekten auf ca. 2,5 m erhöht. Ein zweiter Niederschlagsmesser, ein sog. Bulzkäh-

<sup>1</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 76: Stoff- und Chemikalienbewertung, Demollstraße 31, D-82407 WIELENBACH

\* Ansprechpartner: Dr. Anne Bayer, anne.bayer@lfu.bayern.de



Tabelle 1: Korngrößenverteilung der Lysimeter 2 und 7.

Bezeichnung	Horizont		Kies [Gew.%]	Sand [Gew.%]	Schluff [Gew.%]	Ton [Gew.%]
Lysimeter 2	0 - 40 cm	Ap	4	23	49	23
	40 - 90 cm	Bv	2	20	35	43
	90 - 130 cm	BvCv	< 1	5	55	39
	130 - 180 cm	Cv	2	25	45	27
	> 180 cm	Zersatz	3	21	55	20
Lysimeter 7	0 - 30 cm	Ap	2	8	81	9
	30 - 85 cm	Bv I	< 1	10	69	21
	85 - 120 cm	Bvs	< 1	9	66	25
	> 120 cm	Cv	< 1	9	70	22

Tabelle 2: Ausgebrachte Menge PSM-Wirkstoffe 2013 und 2014.

Wirkstoff	Menge Wirkstoff laut Hersteller [mg/m <sup>2</sup> ]	Tatsächliche Menge ausgebrachter Wirkstoff [mg/m <sup>2</sup> ] 2013	Tatsächliche Menge ausgebrachter Wirkstoff [mg/m <sup>2</sup> ] 2014
Metolachlor	93,75	46,13	117,3
Terbutylazin	56,25	33,2	80,7
Nicosulfuron	3,6	7,61	-
Prosulfuron	1,125	nn	nn

ler, der zur Kontrolle dient, wurde auf 1 m Höhe belassen. Die Bewetterung ist ausschließlich natürlich, bei einem mittleren Niederschlag von ca. 950 mm/a. Die Temperatur im Lysimeterkeller wird mittels Kühlung im Sommer auf +15°C gehalten, was in etwa der mittleren Temperatur von zwei im Freiland neben der Lysimeteranlage versenkten Temperaturfühlern in 1 und 2 m entspricht. Im Winter kann die Temperatur auf ca. +5°C fallen, da keine Heizung vorhanden ist.

Alle Daten (Niederschlag, Gesamtgewicht und Sickerwasser) der Lysimeterstation werden mit einer Auflösung von 0,01 mm gemessen, so dass immer eine Mindest-Genauigkeit von 0,1 mm (bezogen auf den Niederschlag) erreicht wird (sog. „Präzisionslysimeter“). Die Daten werden alle 15 bzw. 30 min in einer MySQL-Datenbank gespeichert, die über zwei Industrie-PC's (IPC) mit LINUX-Betriebssystem gesteuert wird.

Bei Lysimeter 1 handelt es sich um einen Boden der Münchner Schotterebene. Die ursprünglich bleibelasteten (aus Schießplatzbetrieb) oberen 30 cm wurden gegen unbelasteten Humus ausgetauscht. Darunter folgt bis in 50 cm Tiefe der ursprüngliche humose Oberboden. Ab 50 cm Tiefe besteht der Boden aus einem sandigen Kies. Bei dem Ackerboden Lysimeter 2 handelt es sich um einen Braunerde – Pseudogley aus Gneiszersatz. Der Ackerstandort Lysimeter 7 ist eine Braunerde aus Lößlehm über risszeitlicher Grundmoräne. Für diese Böden liegen zudem Daten zur Korngrößenverteilung vor (siehe *Tabelle 1*). Der Boden für Lysimeter 8 stammt vom Gelände des LfU in Wielenbach und ist als Flusstalfüllung der Ammer charakterisiert.

2013 und 2014 wurden die vier gewählten Lysimeter sowie das sie umgebende Feld auf ca. 30 m<sup>2</sup> mit Energiemais bepflanzt (9 Pfl./m<sup>2</sup>). Hierdurch wurde ein gleichmäßig bewachsenes Maisfeld geschaffen, in dem Oberflächen- und Randeffekte so weit wie möglich ausgeschlossen sind. Ende Mai 2013 wurde eine Pflanzenschutzmittelmischung bestehend aus den Wirkstoffen Terbutylazin, Metolachlor, Nico-

sulfuron und Prosulfuron entsprechend der guten fachlichen Praxis nach Anwendungsvorschrift ausgebracht (*Tabelle 2*). Um eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen zu gewährleisten, wurde die Fläche nach landwirtschaftlicher Praxis gedüngt. Die Maisernte fand Ende Oktober 2013 statt. Auch 2014 wurden die vier gewählten Lysimeter sowie das sie umgebende Feld wieder mit Energiemais bepflanzt und entsprechend der landwirtschaftlichen Praxis gedüngt. Es wurden erneut die Wirkstoffe Metolachlor, Terbutylazin und Prosulfuron eingesetzt. Auf die Ausbringung von Nicosulfuron wurde 2014 verzichtet, da die Anwendung nur alle 2 Jahre auf derselben Fläche zulässig ist.

Generell fand bei einer ausreichenden Menge Sickerwasser eine wöchentliche Beprobung statt. In den Sommermonaten wurde der Probenahmezeitraum wegen geringer Sickerwassermengen meist auf 2 bzw. 3 Wochen ausgedehnt. Lysimeter 8 gab zwischen August und November 2013 kein Sickerwasser ab, so dass eine Beprobung während dieser Zeit nicht möglich war. Insgesamt wurden die Sickerwässer der Lysimeter 1, 2 und 7 bisher an 29 Probenahmen auf PSM untersucht. Das Sickerwasser von Lysimeter 8 wurde bisher aufgrund von Trockenheit 25 Mal auf PSM untersucht.

Die Analytik der PSM und Metaboliten erfolgte mittels HPLC-MS/MS nach Direktinjektion mit Nachweisgrenzen von 0,01 µg/l bis 0,03 µg/l.

## Ergebnisse und Diskussion

Nach der Ausbringung der PSM am 28.05.2013 folgte ein längeres Starkregenereignis von 140 l/m<sup>2</sup> zwischen dem 29.05. und 02.06.2013. Wie *Abbildung 1* zeigt, wurde die Versickerung in den Lysimetern durch die erhöhten Niederschlagsmengen Anfang Juni 2013 stark begünstigt, so dass schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt die aufgeführten PSM nachgewiesen werden konnten. Die PSM-Messungen der Lysimeter 1, 2 und 7 am 02. und 03.06.2013 zeigen deutliche Konzentrationsspitzen der einzelnen Herbizide. Allerdings verhalten sich die einzelnen PSM in den Lysimetern unterschiedlich.

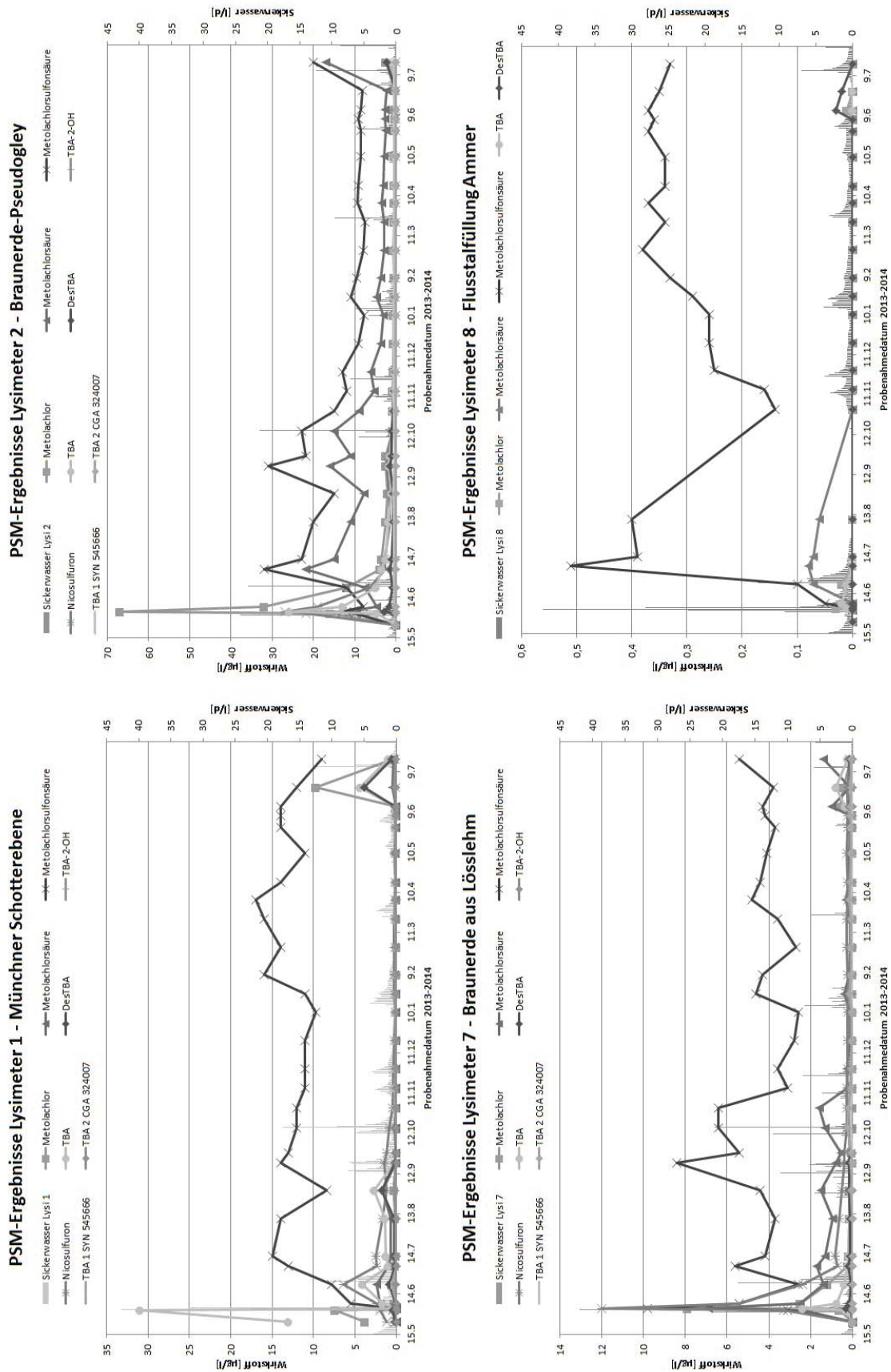


Abbildung 1: PSM-Konzentrationen und Sickerwassermengen der einzelnen Lysimeter in den Jahren 2013 und 2014.

**Tabelle 3: PSM-Austrag aus Lysimetern vom 24.05.2013 bis 28.05.2014 bezogen auf die Aufwandmenge 2013.**

Austrag bezogen auf Aufwandmenge 2013	Terbuthylazin + Metabolite [%]	Metolachlor + Metabolite [%]	Nicosulfuron [%]
Lysimeter 1	6,5	11,1	8,8
Lysimeter 2	8,7	29,0	38,8
Lysimeter 7	0,9	7,3	13,4
Lysimeter 8	0,004	0,18	nn

Im kiesigen Boden der Münchner Schotterebene von Lysimeter 1 zeigt Terbuthylazin das stärkste Versickerungsverhalten mit bis zu 31 µg/l im Sickerwasser. In dem Braunerde-Pseudogley aus Lysimeter 2 dominiert Metolachlor mit bis zu 67 µg/l im Sickerwasser während des Starkregenereignisses. In Lysimeter 7, der Braunerde aus Lößlehm auf risszeitlicher Grundmoräne, zeigt Nicosulfuron mit max. 12 µg/l das höchste Versickerungspotential. Die Flusstalfüllung der Ammer in Lysimeter 8 zeigt zwar auch eine starke Sickerwasserbildung während des Starkniederschlags, allerdings kommt es hier nur zu einem sehr geringen Austrag der PSM (Metolachlor 0,03 µg/l bzw. TBA 0,02 µg/l). Erst bei einer zweiten längeren Regenperiode Ende Juni 2013 können die beiden Metaboliten von Metolachlor mit 0,08 µg Metolachlorsäure/l und 0,51 µg Metolachlorsulfonsäure/l nachgewiesen werden. Die TBA-Metaboliten wurden hier während der gesamten Zeit bis zur zweiten PSM-Applikation im Juni 2014 nicht nachgewiesen.

In den Sickerwässern der anderen Lysimeter treten sie nur in sehr geringen Mengen auf. Am häufigsten wird Desethylterbuthylazin bestimmt. Metolachlorsäure und -sulfonsäure wurden in allen Lysimetern nachgewiesen.

Wie bereits bei weiteren, begleitenden Untersuchungen von Fließgewässern und Grundwasser beobachtet, liegt die Sulfonsäurekonzentration meist deutlich über der Metolachlorsäure-Konzentration. In Lysimeter 1 und 2 traten die höchsten Konzentrationen der beiden Metaboliten nach dem zweiten längeren Regenereignis Ende Juni 2013 auf, während die Konzentration der Ausgangssubstanz Metolachlor deutlich zurück ging. Über das gesamte Jahr gesehen, blieb die Sulfonsäurekonzentration in Lysimeter 1 relativ konstant zwischen 10 und 15 µg/l. Bei Lysimeter 7 wurden die höchsten Konzentrationen der Metolachlormetaboliten bereits bei dem ersten Starkregenereignis bestimmt. Dies deutet auf einen schnelleren Abbau von Metolachlor in der Braunerde hin. Über das gesamte Jahr gesehen, verhalten sich die Sulfonsäurekonzentrationen in Lysimeter 2 und 7 gleich. Nach einem zweiten Anstieg im September 2013, sanken die Konzentrationen bis zur neuen Ausbringung der PSM im Juni 2014 auf ein geringeres Niveau (10 bzw. 4 µg/l). Bei Lysimeter 8 stieg die Sulfonsäurekonzentration nach der Trockenperiode im Sommer 2013 ab November an und pendelte sich seit Februar 2014 auf 0,35 µg/l ein. Der Wirkstoff Prosulfuron wurde bisher in keiner Probe der 4 Lysimeter nachgewiesen.

Auch nach der PSM-Ausbringung am 06.06.2014 stiegen die Konzentrationen der eingesetzten Wirkstoffe nach kurzer Zeit im Sickerwasser an. Die Niederschläge erfolgten nach einem längeren Zeitabstand zum Applikationsdatum im Vergleich zu 2013 (24.06.2014 16 l/m<sup>2</sup>; 28.06.-02.07.2014 46 l/m<sup>2</sup>; 07.07.-13.07.2014 56 l/m<sup>2</sup>). Durch die gleichmäßigere

Niederschlagsverteilung fielen die Konzentrationsspitzen im Vergleich zum Vorjahr jedoch geringer aus. Nur bei dem Boden der Münchner Schotterebene in Lysimeter 1 war die Metolachlorkonzentration mit 9,7 µg/l höher als 2013 mit 7,4 µg/l.

Bei der Berechnung des PSM-Austrages aus den einzelnen Lysimetern während des Zeitraums vom 24.05.2013 bis 28.05.2014 ergab sich bei allen Lysimetern ein ähnliches Bild (siehe *Tabelle 3*). Über die gesamte Zeit betrachtet, zeigt Nicosulfuron das höchste Austragungspotenzial bezogen auf die Aufwandmenge. Danach folgt die Summe aus Metolachlor und dessen Metaboliten. Der stärkste Austrag fand im Braunerde-Pseudogley von Lysimeter 2 statt. Hier wurden bereits 39 Prozent des eingesetzten Nicosulfurons sowie 29 Prozent des Metolachlors im Sickerwasser in 2 Meter Tiefe wiedergefunden. Die Braunerde aus Lößlehm in Lysimeter 7 zeigt einen vergleichbaren Austrag der einzelnen PSM, allerdings in einem geringeren Umfang. Unterscheidbar sind beide Böden durch den höheren Schluff-Anteil in Lysimeter 7. Der kiesige Boden der Münchner Schotterebene in Lysimeter 1 zeigt für alle drei PSM ein ähnliches Austragungsverhalten von ca. 6 bis 11 Prozent.

## Schlussfolgerungen

Die starken Niederschläge im Juni 2013 im direkten Anschluss an die PSM-Applikation begünstigten die Versickerung der ausgebrachten Wirkstoffe stark, so dass Konzentrationen der Einzelwirkstoffe von bis zu 70 µg/l in zwei Metern Tiefe erreicht wurden. Durch die Wiederholung des Versuchs im Jahr 2014 mit einer normalen Niederschlagsverteilung im Juni wurde deutlich, dass die gemessenen Konzentrationen im Sickerwasser durch Starkregenereignisse erheblich beeinflusst werden können. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2013 können somit als Worst-Case-Szenario angesehen werden.

## Danksagung

Wir bedanken uns beim Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz für die Finanzierung des Projektes.

## Literatur

- [1] Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK): Gesamtflächenentwicklung Maisanbau, <http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Gesamtflächenentwicklung>.
- [2] Zeitbild Wissen: Bioenergie, 55. Jahrgang, April 2013, herausgegeben von der Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH, Kaiserdamm 20, 14057 Berlin, in Zusammenarbeit mit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.