

Herbizideinsatz im städtischen Bereich

TH. PÜTZ, W. MITTELSTAEDT und H. VERECKEN

Abstract

Weeds are able to influence the status of streets, pavements and railway tracks negatively and they are able to reduce their life time. To guarantee the traffic safety actions are necessary to remove the weeds. Adjacent to thermal and mechanical methods herbicides are used. Contaminations of surface water with herbicides applied to hard surfaces were observed in monitoring programs.

In small scale experiments the environmental fate of herbicides applied on different hard surfaces was investigated. An important research tool was the lysimeter. In an up-scaling design including small plot experiments, street and town areas the water balance and/or the fate of herbicides will be discussed.

Zusammenfassung

Wildkräuter können den Zustand von Straßen, Gehwegen und Bahngleisen erheblich verändern und ihre Nutzungsdauer verkürzen. Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind Maßnahmen zur Beseitigung des Pflanzenaufwuchses notwendig. Neben verschiedenen thermischen und mechanischen Verfahren werden Herbizide gezielt eingesetzt. Nach einer Applikation auf versiegelten Oberflächen ist das weitere Umweltverhalten der Herbizide nicht ausreichend geklärt. Allerdings zeigte sich in Monitoringprogrammen, dass Herbizide in Oberflächengewässer eingetragen werden.

In Detailexperimenten zur Herbizidapplikation auf verschiedenen gebräuchlichen Straßenbelägen stehen sowohl der Verbleib verschiedener Herbizide, als auch die relevanten Prozesse im Focus. Ein wichtiges Versuchsinstrument war das Lysimeter. In einem Up-Scaling Ansatz werden Ergebnisse zum Wasserhaushalt und Verbleib von Herbiziden beginnend bei kleinskaligen Oberflächen im städtischen Bereich, gefolgt von Untersuchungen auf der Straßenskala und

für ein Wassereinzugsgebiet einer Kommune diskutiert.

Einleitung

Der Pflanzenbewuchs auf Autobahnen, Straßen, Gehwegen, Eisenbahnstrecken und anderen Verkehrsflächen kann die Verkehrssicherheit und die Nutzungsdauer der Verkehrswege nachteilig beeinflussen, da Bauschäden, wie aufgebroschene Fugenversiegelungen, verschmutzte Oberflächen, etc. auftreten können. Den Kommunen oder Betreibern obliegt die Verkehrssicherungspflicht und sie haben den einwandfreien Zustand zu gewährleisten, so dass hier Pflegemaßnahmen zur Pflanzenkontrolle zwingend notwendig sind, um das Gefährdungspotential zu minimieren.

Verfahren zur Pflanzenkontrolle im urbanen Bereich

Zur Pflanzenkontrolle auf Verkehrsflächen werden thermische, mechanische und chemische Verfahren eingesetzt. Bei den thermischen Verfahren handelt es sich um Heißwasserschäum- (WEED-CLEANER, Temperaturen bis 97°C), Wasserdampf- (WAIPUNA, Temperaturen bis 130°C, 50 Bar Druck), Infrarot- und Abflamverfahren mit Arbeitsbreiten in Abhängigkeit von Hand- oder Maschineneinsatz von 0,2 m (Handlanze) - 1,0 m (Fahrzeug). Zur mechanischen Unkrautbekämpfung werden maschinengetriebene Wildkrautbürsten, zinkenbewehrte Walzen, Stachelrotoren, Wildkrauteggen, Freischneider oder ähnliche Techniken verwendet. Eine Übersicht über die gängigen mechanischen und thermischen Verfahren wurde von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen zusammengestellt¹. Bei den chemischen Verfahren sind vom punktuellen Einsatz (Rückenspritze) bis hin zur flächendeckenden Spritzung verschiedene technische Verfahren verfügbar. Aufgrund möglicher Einträge in

Oberflächengewässer oder Kanalisation sind für diese Einsätze in Deutschland nach §6(3) PflSchG jeweils Ausnahmegenehmigungen notwendig. Bei der Genehmigung einer chemischen Anwendung kann der Einsatz eines Walzenstreichgerätes (ROTOFIX) zur Auflage gemacht werden. In vergleichenden Studien sind die thermischen und mechanischen einem chemischen Verfahren hinsichtlich der Effizienz unterlegen, wobei auch noch etwa 4-5-fach höhere Kosten gegenüber der chemischen Anwendung anfallen². Der Herbizideinsatz in urbanen Bereichen wird in verschiedenen Ländern Europas auf Grund von Herbizideinträgen in Oberflächengewässern sehr kritisch bewertet^{3, 10}.

Im Gegensatz zum Herbizideinsatz auf landwirtschaftlichen Nutzflächen stehen zur Bekämpfung von Pflanzenbewuchs auf Verkehrsflächen nur sehr wenige Herbizide zur Verfügung. Um einen unkontrollierten Eintrag in Oberflächengewässer auszuschließen, sind detaillierte Kenntnisse über die zu behandelnden Flächen notwendig und Pflegekonzepte zu entwickeln, die einen Mix aus verschiedenen Verfahren darstellen und ökonomischen und ökologischen Ansprüchen genügen. Bei den zu behandelnden Flächen handelt es sich in der Regel um versiegelte Oberflächen, die aus den verschiedensten Betonprodukten (Gehwegplatten, Pflastersteine, Rasengittersteine, etc.), Straßendecken (Asphaltdecken, etc.) und Fugenmaterialien (Bitumen, Sand, Split, etc.) bestehen sowie keinen Bewuchs aufweisen sollten⁴.

Um die Notwendigkeit einer Pflegemaßnahme zu bewerten, wurde anhand des Pflanzenbedeckungsgrades der Verkehrsflächen eine Klassifizierung erarbeitet². Ausgehend von der Klasse 1 "Pflanzenfrei" bis Klasse 6 "Massiv Bewachsen" kann der Pflanzenbewuchs eingeschätzt werden (Tabelle 1).

Auf Grund der Oberflächenbeschaffenheit von Verkehrsflächen ist davon aus-

Autoren: Dr. Thomas PÜTZ, W. MITTELSTAEDT und Prof. Dr. Harry VERECKEN, Institut Agrosphäre, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG-4), Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 JÜLICH, t.puetz@fz-juelich.de

Tabelle 1: Bewuchsklassen von Verkehrsflächen ².

Klasse	Bewuchs	Beschreibung
1	Frei	Keine Pflanzen
2	Wenig bewachsen	Gelegentlich einige Unkräuter in den Fugen, maximal 5 % der Fugen bedeckt; nur einzelne Pflanzen vorhanden
3	Leicht bewachsen	5-25 % der Fugen mit Pflanzen bedeckt; keine bestockten Gräser oder Pflanzenhorste
4	Mäßig bewachsen	25-50 % der Fugen mit Pflanzen bedeckt; einige bestockte Gräser oder Pflanzenhorste
5	Stark bewachsen	Mehr als 50 % der Fugen mit Pflanzen bedeckt; häufig bestockte Gräser oder Pflanzenhorste
6	Massiv bewachsen	Verkehrsfläche fast vollständig mit Pflanzen überwachsen, vereinzelte holzige Gewächse

zugehen, dass die höchsten Herbizidausträge durch Run-Off verursacht werden. Je nach Gestaltung der Verkehrsflächen ist ein Run-Off-Ereignis bereits nach 0,5 - 2,0 mm Niederschlag zu erwarten ⁹.

Untersuchungen zum Verbleib von Herbiziden auf Verkehrsflächen

Zur vollständigen Abschätzung möglicher umweltrelevanter Einflüsse einer herbizidunterstützten Pflege von Verkehrsflächen müssen unterschiedliche Skalenausschnitte untersucht werden. Zuerst wird der Herbizidverbleib für die unterschiedlichen Materialien der Zieloberflächen dargestellt. Im Weiteren wird eine Abschätzung für unterschiedlichen Oberflächenaufbau unter Berücksichtigung möglicher Versickerungspfade bzw. Abflüsse durchgeführt und abschließend wird dies für Bebauungsgebiete oder Stadtteile zusammengefasst.

Für ein chemisches Verfahren sollten folgende Informationen herangezogen werden, um eine Abschätzung möglicher Einträge in Oberflächengewässer durchführen zu können:⁶

- Physiko-chemische Eigenschaften der einsetzbaren Herbizide
- Wechselwirkung zwischen Material der Verkehrsfläche und Herbizid
- Charakteristik eines Oberflächenabflusses
- Bedeutung der Regenintensität und -dauer für den Verbleib eines Herbizids auf Verkehrsflächen
- Einfluss einer regenfreien Periode für den Verbleib eines Herbizids auf Verkehrsflächen

Daneben ist natürlich auch eine mögliche Verlagerung in urbanen Böden näher zu betrachten. Zur Abschätzung einer möglichen Verlagerung eines Her-

bizides im Ackerboden werden der K_{oc} , die Wasserlöslichkeit und andere Parameter herangezogen. Die Zielfläche "Verkehrswege" weist jedoch ganz andere Eigenschaften auf, als diese für landwirtschaftliche Flächen typisch sind. Mit Ausnahme der Asphaltflächen ist der organische Kohlenstoffgehalt der verschiedenen Verkehrsflächenmaterialien vernachlässigbar, so dass der K_{oc} als Schätzgröße ungeeignet ist. Folglich sind andere Konzepte zu entwickeln anhand derer der Verbleib von Herbiziden auf Verkehrsflächen abgeschätzt werden kann.

Da nur wenige Herbizide für den Einsatz auf Freilandflächen in Deutschland zugelassen sind, der Einsatz von Diuron durch die Pflanzenschutzmittel-Verordnung erheblich eingeschränkt ist und nur Glyphosat sowie Glufosinat blattaktive Wirkstoffe sind, sind für den Praxiseinsatz in Deutschland nur Glyphosat sowie Glufosinat relevant ⁸.

Untersuchungen zum Verbleib von Herbiziden im urbanen Bereich

Die durchgeführten Untersuchungen zum Verbleib von Herbiziden im urbanen Bereich lassen sich skalieren in kleinräumige Detailstudien - Lysimeterstudien - Freilanduntersuchungen im kommunalen Bereich.

Detailstudien zum Einfluss unterschiedlicher Wegeoberflächen

In Detailstudien mit kleinen Versuchsflächen wurde der Verbleib von Herbiziden auf Asphaltdecken, Betonsteinen, Schotter und Kies untersucht. Es wurde z. B. Glyphosat, Isoxaben, Oryzalin, Oxadiazon, Diuron, Atrazin und Diflufenican sowie weitere Herbizide in Run-off-Experimenten auf neue, bisher nicht

genutzte Materialien appliziert ^{5,6}. Generalisierend lässt sich festhalten, dass der Oberflächenabfluss von Betonmaterial größer war als von Asphalt. Glyphosat bildete hier jedoch die Ausnahme, denn es wurde ein größerer Oberflächenabfluss von Asphalt (45 %) als von Betonoberflächen (20 %) beobachtet ^{5,6,8,9}. Dieses besondere Verhalten von Glyphosat wird auf das mögliche Dissoziationspotential zurückgeführt, wobei die negativ geladenen Spezies am positiv geladenen Kalzium im Beton gebunden werden ⁶, aber auch die Bildung von Al^{3+} - und Fe^{3+} -Komplexen werden als Rückhalte-mechanismen angeführt ⁵. Hingegen ist die gute Wasserlöslichkeit eine Erklärung für die hohen Run-Off-Verluste von Glyphosat von Asphalt. Für Schotter oder Kiesmaterialien weist Glyphosat in Abhängigkeit von der Verweilzeit und der Niederschlagseinflüsse Verluste bis zu 20 % auf ^{5,7}. Grundsätzlich wurde belegt, dass Herbizide an Materialien von Verkehrsflächen sorbiert werden, allerdings im Vergleich zum Referenzsystem Boden deutlich geringer ¹⁶. Dies ist sicherlich in den vergleichsweise geringen Sorptionsplätzen der Verkehrsflächenmaterialien im Gegensatz zum Boden begründet.

Neben den Oberflächenmaterialien spielen auch die eingesetzten Herbizide, die Niederschlagsintensität, die Niederschlagsdauer und die Wartezeit zwischen Applikation und Niederschlagsereignis eine wichtige Rolle. Es gibt sehr unterschiedliche Ergebnisse mit zunehmender Wartezeit für die getesteten Substanzen. Für Glyphosat lässt sich beobachten, dass auf Betonflächen ein Alterungseffekt reduzierend auf die Verlusthöhe wirkt, während dies für die übrigen oben aufgeführten Herbizide nicht gilt. Für Asphaltflächen wurde unmittelbar nach der Applikation ein geringerer Run-off für Glyphosat beobachtet als 6 bis 168 Stun-

den nach der Applikation^{5,6}. Mit zunehmender Niederschlagsdauer steigen die Run-Off-Verluste an, wobei die höchsten Konzentrationen durch Niederschläge $< 1\text{-}2\text{ mm}$ verursacht werden⁵. In Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge werden unabhängig von den untersuchten Oberflächen (hier: Beton, Asphalt, Schotter) nach 5 mm Niederschlag weniger Herbizide abgewaschen, als nach 10 oder 15 mm Niederschlag⁵.

Lysimeterstudien

Da die im vorigen Kapitel beschriebenen Detailversuche mit neuen oder gesäuberten kleinen Versuchsflächen durchgeführt wurden, wird im Weiteren der Verbleib von Herbiziden auf realitätsnahen Testflächen betrachtet. Hierbei sind auch Fugen, Fugenfüllmaterial und gealterte Oberflächen von Bedeutung.

Die Alterung einer Verkehrsfläche führt zur Ansammlung von organischem Kohlenstoff und anderen Stoffen, so dass die Materialeigenschaften und die Oberflächenbeschaffenheit verändert werden. Unter diesen Bedingungen ist den Wasser- und Stoffflüssen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Gerade bei gepflasterten oder plattierten Verkehrsflächen variieren die Wasser- und Stoffflüsse stark (Abbildung 1). Neben dem Run-Off kann in Abhängigkeit vom Material Wasser auch in Betonsteine infiltrieren. Darüber hinaus ist die Pflasterfuge von besonderer Bedeutung, da in Abhängigkeit von der Größe und vom Material der Verbleib von Herbiziden nachhaltig beeinträchtigt werden kann. Zu diesem Thema sind jedoch bislang zu wenig Daten verfügbar. In einem Lysimeterversuch erstellte Flöter¹¹ eine Wasserbilanz für eine Pflasterung mit Pflastersteinen (5 % Fugenanteil) und mit Gehwegplatten (2 % Fugenanteil). Bei leichten bis mittleren Regenintensitäten infiltrierten bei den Pflastersteinen bis zu 80 % des Niederschlages in tiefere Bodenschichten, bei den Gehwegplatten wurden hingegen nur 54 % infiltriert. Im Falle eines Niederschlages mit höherer Intensität lag der Run-Off-Anteil bei den Pflastersteinen bei 12 %, während er bei den Gehwegplatten bei 41 % lag. Auch in einem Farbtacerversuch konnte gezeigt werden, dass der Fugenanteil von Pflasterflächen in wesentlichem Maße den Anteil der Infiltration und Versicke-

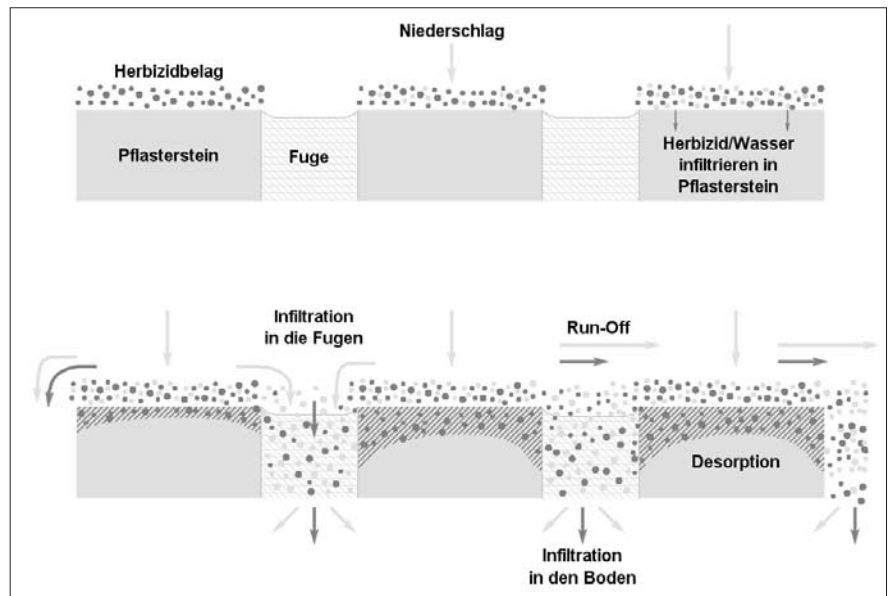


Abbildung 1: Verschiedene Einflussgrößen auf den Verbleib eines Herbizids auf einer gepflasterten Verkehrsfläche (modifiziert nach¹²).

rung des Regenwassers im urbanen Bereich bestimmt. Eine Verdopplung des Fugenanteils bewirkte eine Verdreifachung der Infiltration¹³. In einer Anlage mit drei Modellwegen mit den im kommunalen Bereich typischen Oberflächen Kleinpflaster, Gehwegplatten und wassergebundene Wegedecke, wurde mit dem Walzenstreichgerät "ROTOFIX" eine 10 %-ige Round-Up-Lösung (Glyphosat) auf den Pflanzenbewuchs aufgebracht. Nach Antrocknen des Applikationsschaums auf den Pflanzen wurden in Abhängigkeit von der Sickerwasserbildung 8,4 mm (Kleinpflaster und Gehwegplatten) bzw. 14 mm (wassergebundene Wegedecke) berechnet. Im Sickerwasser unmittelbar nach der Anwendung wurde die höchste Konzentration mit $10,6\text{ mg L}^{-1}$ in der Gehwegplatten-Variante gemessen, während die übrigen Varianten mit drei Tagen Zeitverzögerung ein Maximum von ca. $0,5\text{ mg L}^{-1}$ (Lehmweg) bzw. ca. $0,2\text{ mg L}^{-1}$ (Pflaster) aufwiesen¹⁴. Auch dieses worst-case-Szenario zeigt den deutlichen Einfluss der Fugengröße, denn für die Variante Gehwegplatten wurden ca. 5 % und für die Pflasterung ca. 20 % Fugenanteil bestimmt¹⁵. Allerdings entsprach auch in diesem Versuchsansatz das Fugenmaterial nicht der Praxis, so dass durch wahrscheinlich abweichende Adsorptions-Desorptions-Bedingungen des Fugenmaterials ein anderer Austrag anzunehmen ist.

Freilanduntersuchungen auf kommunaler Skala

Neben allen Detail- oder Lysimeteruntersuchungen zeigt sich erst im praktischen kommunalen Einsatz auf einer Skala in der Größe einer Straße oder Gemeinde, ob das Pflegesystem praktikabel ist und den ökologischen und ökonomischen Anforderungen genügt. Auf dieser Skala ist der Trinkwassergrenzwert von $0,1\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ die relevante Zielgröße. Bislang sind einige Studien auf dieser Skalenebene durchgeführt worden^{12, 17, 18}. In Abhängigkeit von den jeweiligen Fragestellungen wurden Atrazine, Amitrol, Diuron, Glyphosate, Oxadiazon, Oryzalin und Isoxaben in den Studien untersucht. Es wurden Mittelwerte über alle verwendeten Oberflächen der Verkehrsflächen bestimmt, wobei die in den Detail- und Lysimeterversuchen dargestellten Einflussfaktoren auf dieser Skala bestätigt wurden. Von besonderer Bedeutung erwies sich jedoch die Wartezeit nach einer Applikation bis zum ersten Niederschlag¹², denn die Passage des kontaminierten Wassers durch Kanalisation und Kläranlage reduziert die Herbizid-Einträge ins Oberflächenwasser nur partiell.

Schlussfolgerung

Augustin & Seibel⁸ sehen die Herbizidbeläge auf den verschiedenen Oberflächen der Verkehrsflächen als eine lang-

sam fließende Quelle an, aus der noch langfristig Wirtstoffmengen ausgetragen werden. Die Run-Off-Verluste konnten hierbei durch den Einsatz des SWEEP-Konzeptes um den Faktor 8 reduziert werden¹². Beim SWEEP-Konzept handelt es sich um ein Management-System, das einen Einsatz aller möglichen Verfahren zur Pflege von Verkehrsflächen umfasst und besonders Wetterprognosen, intensive Fachberatung und lokale Besonderheiten berücksichtigt. Es gibt also vielversprechende Management-Ansätze, die eine erfolgreiche Koexistenz von Ökologie und Ökonomie im Umfeld der Pflege von Verkehrsflächen ermöglichen.

Literatur

- ¹ LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND, 2007: Nichtchemische Verfahren zur Unkrautbekämpfung auf befestigten Flächen. <http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/pflanzenschutz/genuehmigungen/unkraut-ohnechemie/index.htm>.
- ² VERMEULEN, G.D., B.R. VERWIJS and C. KEMPENAAR, 2006: Effectiveness of weed control methods on pavement. *Plant Research International*; <http://www.dob-verhardingen.nl/uk/Publications/>.
- ³ SKARK, C., N. ZULLEI-SEIBERT, U. WILLME, U. GATZEMANN and C. SCHLETT, 2004: Contribution of non-agricultural pesticides to pesticide load in surface water. *Pest Management Science* 60, 525-530.
- ⁴ PESTICIDES SAFETY DIRECTORATE (PSD), 2007: Guidance on Environmental Exposure Assessments for Applicants Seeking Authorisation for the Use of Pesticides on Plant Free Areas. www.pesticides.gov.uk/appendices.asp?id=1307.
- ⁵ SHEPHERD, A.J. and A.I.J. HEATHER, 1999: Factors affecting the loss of six herbicides from hard surfaces. In: A.A.M. Del Re, C. Brown, E. Capri, G. Errera, S.P. Evans & M. Trevisan (Eds.). Human and environmental exposure to xenobiotics. *Proc. of the XI Symposium Pesticide Chemistry* September 11-15, 1999, Cremona, Italy, 777-784.
- ⁶ SPANOGHE, P., J. CLAEYS, L. PINOY and W. STEURBAUT, 2005: Rainfastness and adsorption of herbicides on hard surfaces. *Pest Management Science* 61, 793-798.
- ⁷ STRANGE-HANSEN, R., P.E. HOLM, O.S. JACOBSEN and C.S. JACOBSEN, 2004: Sorption, mineralization and mobility of N-(phosphonomethyl)glycine (glyphosate) in five different types of gravel. *Pest Management Science* 60, 570-578.
- ⁸ AUGUSTIN, B. und H. SEIBEL, 2002: Behandlung versiegelter Flächen - mögliche Quelle für die Belastung von Oberflächengewässern mit Pflanzenschutzmitteln. *Gesunde Pflanzen* 54, 235-240.
- ⁹ ANGOUJARD, G., N. Le GODEC, L. LEFEVRE and P. BLANCHET, 2001: Herbicide flow from two types of hard surfaces in urban areas: first results for glyphosate and diuron. *BCPC Symposium Proceedings: Pesticide Behaviour in Soils and Water* No. 78, 345-350.
- ¹⁰ AUGUSTIN, B., R. SCHIETINGER, und I. ITTEL, 2002: Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässern mit landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten. *Z. PflKrankh. Pflanzenschutz, Sonderheft* 18, 1045-1052.
- ¹¹ FLÖTER, O., 2006: Wasserhaushalt gepflasterter Straßen und Gehwege - Lysimeterversuche an drei Aufbauten unter praxisnahen Bedingungen unter Hamburger Klima. *Dissertation Universität Hamburg*.
- ¹² BELTMAN, W., C. KEMPENAAR, K. V.d. HORST and A. WITHAGEN, 2006: How pesticides used on hard surfaces end up in drinking water. *Homepage Clean Region*, <http://www.cleanregion.dk/>.
- ¹³ NEHLS, T., 2006: Water- and heavy metal fluxes in paved urban soils. *PhD. Thesis Technical University Berlin*.
- ¹⁴ SCHMIDT, H. und P. BOAS, 2006: Erste Ergebnisse begleitender Untersuchungen bei der Anwendung des Walzenstreichgerätes "ROTOFIX" auf öffentlichem Straßenland. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 58, 46-49.
- ¹⁵ PESTEMER, W. und H. SCHMIDT, 2005: Überprüfung zur Unkrautbekämpfung auf Wegen mit Hilfe des Walzenstreichgerätes "ROTOFIX". "Unkräuter auf kommunalen Flächen - Aktuelle Fragen und Entwicklungen" 22. Nov. 2005, Braunschweig. <http://www.bba.de/veranst/unkraeuter2005/7-pestemer.pdf>.
- ¹⁶ RAMWELL, C.T., 2005: Herbicide sorption to concrete and asphalt. *Pest Management Science* 61, 144-150.
- ¹⁷ RAMWELL, C.T. and J.M. HOLLIS, 2000: Herbicide Loss from a small urban catchment. *Soil Survey and Land research Centre, Cranfield University, UK, SSLRC Report No. JF 4085V*.
- ¹⁸ RAMWELL, C.T., A.I.J. HEATHER and A.J. SHEPHERD, 2002: Herbicide loss following application to a roadside. *Pest Management Science* 58, 695-701.