

Pflanzenschutzmittel im Gleisabwasser

Traces de phytosanitaires dans les eaux d'infiltration du réseau ferroviaire

Les Chemins de fer fédéraux (CFF) utilisent le principe actif glyphosate pour le contrôle chimique de la végétation sur l'ensemble des installations ferroviaires suisses. Ce produit phytosanitaire est partiellement lessivé par les précipitations et parvient ainsi dans les eaux souterraines, où il peut développer des effets néfastes pour l'environnement. La charge environnementale du contrôle chimique de la végétation a été estimée en analysant la teneur en glyphosate et en acide aminométhylphosphonique (AMPA), son principal produit de dégradation dans des échantillons d'eaux d'infiltration prélevés le long du réseau CFF. Les données ainsi collectées ont été comparées à diverses études européennes. La dynamique de diffusion dans le sol a fait l'objet d'une étude approfondie sur un site donné.

Herbicides in Drainage Water of Railroads

The Swiss Federal Railways (SFR) use glyphosate as the only herbicide for the chemical weed control on railway tracks. After the application on the railroad embankment the herbicide can be partly transported with the rainfall to the aquatic environment.

In order to assess the potential environmental pollution glyphosate and its main degradation product aminomethylphosphonic acid (AMPA) were analysed in selected drainage water of the railroad embankment from all over the railway system. The results were compared with studies in other European countries. Furthermore, the time-dependent concentration dynamics during one rain event was investigated at one selected sampling site.

Irene Hanke



Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) verwenden für die chemische Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen wie alle Schweizer Bahnen den Wirkstoff Glyphosat. Mit dem Niederschlag wird dieses Pflanzenschutzmittel teilweise aus dem Gleiskörper ausgewaschen und in Gewässer transportiert, wo es nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Um die Belastung der Umwelt durch die chemische Vegetationskontrolle abschätzen zu können, wurden Glyphosat und dessen Hauptabbauprodukt Aminomethylphosphonsäure (AMPA) in Gleisabwasserproben vom Schienennetz der SBB analysiert und mit Resultaten aus Studien in anderen europäischen Ländern verglichen. Zudem wurde die Austragsdynamik während eines Niederschlagsereignisses an einem ausgewählten Standort genauer untersucht.

1. Einleitung

Die SBB müssen für einen sicheren Betrieb des Schienenverkehrs ihre Gleisanlagen möglichst frei von Pflanzen halten. Durch den Bewuchs wird einerseits die Elastizität des Schotterbettes verringert, weswegen die auftretenden Kräfte vor allem bei schweren Zügen und hohen Verkehrsgeschwindigkeiten schlecht aufgefangen werden können. Andererseits entsteht durch den Pflanzenbewuchs ein Humusanteil im Gleisschotter, welcher Wasser speichert. Bei Frost im Winter kann dies Verformungen und Schäden an den Gleisen zur Folge haben. Diese führen schlimmstenfalls zu Zugentgleisungen. Pflanzen, die die

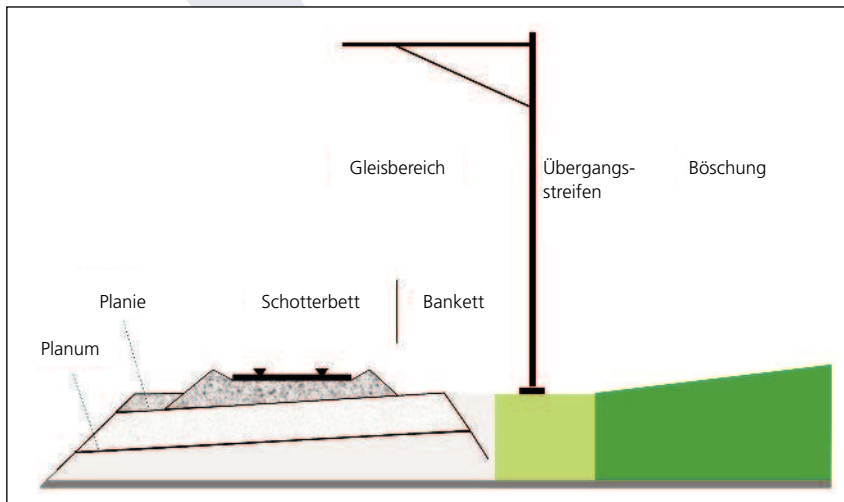


Abb. 1 Schematischer Querschnitt der Gleisanlagen der SBB (abgeändert aus [5] und [6]).

Schienen bedecken, erschweren die Beschleunigung und verlängern den Bremsweg [1]. Ausserdem wird die Sicht auf bodennahe Signale verdeckt und die Pflanzen stellen Stolperfallen für die Arbeiter im Gleisbereich dar.

Die Pflanzen lassen sich auf unterschiedliche Arten aus dem Gleisbereich entfernen. Bereits beim Bau wird darauf geachtet, den Aufwuchs von Pflanzen zu hemmen. Der Pflege der Böschungen kommt zur Vorbeugung von Pflanzenaufwuchs im Gleisbereich grosse Bedeutung zu. Regelmässiges Mulchen verhindert die Ausbreitung von Samen und Pflanzen mit oberirdischen Ausläufern. Wo vorbeugende Massnahmen nicht mehr ausreichen, muss im Schotter auf Symptombekämpfungen wie die *chemische Vegetationskontrolle* zurückgegriffen werden [2].

2. Glyphosat

2.1 Applikation

Seit Anfang der 90er-Jahre wird auf dem Streckennetz der SBB zur chemischen Vegetationskontrolle ausschliesslich der Wirkstoff Glyphosat (N-phosphono-methyl-glycin) ver-

wendet [3]. Das Pflanzenschutzmittel wird mit *Rückenspritzen* ausgebracht und gezielt auf die unerwünschten Pflanzen appliziert. Es wird im Regelfall also nur nach Bedarf und nicht grossflächig gespritzt, denn das Herbizid wirkt nur, wenn es auf grüne Pflanzenteile gelangt und dort aufgenommen wird. Glyphosat darf ausserdem nur bei trockener Witterung und nicht unmittelbar vor einem Regenereignis ausgetragen werden [4].

Die Anwendung ist nur im *Gleisbereich* (Bankett und Schotterbett) erlaubt; Böschungen dürfen nicht mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden (Schema des Gleisbereichs in Abb. 1). Das Bankett ist in der Regel stärker bewachsen als das Schotterbett.

Rund vier Tonnen Glyphosat verwenden die SBB pro Jahr. Diese Menge unterliegt gewissen Schwankungen, die durch witterungsbedingten Unkrautdruck ausgelöst werden. Sie blieb über die letzten Jahre jedoch relativ konstant und fällt verglichen mit dem gesamtschweizerischen Verbrauch relativ gering aus. Laut Pflanzenschutzmittelstatistik der SGCI (Schweizerische Gesell-

schaft für Chemische Industrie) lag der jährliche Umsatz in der Schweiz im Jahr 2005 bei rund 190 t mit leicht steigender Tendenz. Der Grossteil wird dabei in der Landwirtschaft und in Siedlungsgebieten (öffentliche Hand/Privathaushalte) verwendet. Aus einer Hochrechnung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) geht hervor, dass 2005/2006 im gewerblichen Gartenbau in der Schweiz rund 14 t Glyphosat eingesetzt wurde. Der Anteil der SBB am Gesamtverbrauch betrug 2005 rund 2%.

2.2 Verbleib und Verhalten in der Umwelt

Glyphosat unterliegt im Gleiskörper verschiedenen Prozessen. Teilweise sorbiert es an Oberflächen wie beispielsweise den Schottersteinen. Als schwerflüchtige Substanz weist es einen *geringen Dampfdruck* auf und verteilt sich deshalb nicht in die Luft. Beim Ausbringen kann ein Teil des Pflanzenschutzmittels jedoch verweht werden und somit gar nicht erst auf den Gleiskörper gelangen. Da starker Wind diese Abdrift unterstützt, wird bei solchen Witterungsverhältnissen empfohlen, auf eine Applikation zu verzichten [4].

Das auf den Gleisbereich applizierte Glyphosat, welches nicht von den Pflanzen aufgenommen wird oder an Oberflächen sorbiert, wird durch Niederschläge mobilisiert und je nach Gleisaufbau mit dem abfliessenden Wasser entweder in tiefere Schichten verlagert oder über verdichtete Drainageschichten (Planie und Planum, Abb. 1) aus dem Gleisbereich transportiert. Gleichzeitig findet ein mikrobieller Abbau zu *Aminomethylphosphonsäure* (AMPA) statt, welches ebenfalls wegtransportiert und weiter abgebaut wird. Die Substanzen können somit im Gleisunterbau versickern und gelangen damit unter Umständen bis ins *Grundwasser* oder werden mit dem Gleisabwasser über Drainagen in Vorfluter und in *Oberflächengewässer* geleitet. In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) ist festgelegt, dass die Konzentration an Pflanzenschutzmitteln hierbei den Wert von 0,1 µg/l nicht überschreiten darf. Zudem ist im Gesetz Folgendes festgehalten: Gleisabwasser gilt «als nicht verschmutztes Abwasser, wenn es von Gleisanlagen stammt, bei denen (...) auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verzichtet wird, oder wenn Pflanzenschutzmittel bei der Versickerung durch eine mikrobiell aktive Bodenschicht ausreichend zurückgehalten und abgebaut werden» [7].

Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Böden haben Gleiskörper einen geringen Anteil an

organischem Material. Dadurch kann die biologische Aktivität geringer sein, was den Abbau von Substanzen verzögert. Die Substanzen stehen somit länger für eine Mobilisierung aus dem Gleiskörper zur Verfügung. Dies lässt die Befürchtung aufkommen, dass die Substanzen ins Oberflächen- oder gar ins Grundwasser gelangen können [8].

2.3 Entwässerung der Gleisanlagen

Das Schienennetz der SBB erstreckte sich im Jahr 2005 über eine Länge von rund 3000 km, mit einer unterhaltenen Gleislänge von rund 7300 km [9]. Mehr als die Hälfte davon wird mit Sickerleitungen in Oberflächengewässer entwässert. Um zu gewährleisten, dass die Entwässerung gut funktioniert, werden die Leitungen regelmässig gereinigt [10]. Ist der Untergrund grobkörnig und somit gut wasserdurchlässig, wird in der Regel das aus dem Gleiskörper abfliessende Wasser ohne Drainageleitungen direkt über die Böschung versickert.

Bei Neubaustrecken wird das gesamte Gleisabwasser gefasst und behandelt. Die Gefahr für eine zukünftige Beeinträchtigung des Grundwassers kann somit minimiert werden. An gewissen Standorten, wie beispielsweise dem Hauptbahnhof Zürich, wird das Sickerwasser in Sickerbecken gesammelt.

2.4 Bisherige Untersuchungen

Auf dem Streckennetz der SBB wurden bereits früher Untersuchungen zu Glyphosat durchgeführt; so z. B. Mitte der 90er-Jahre auf der Versuchsstrecke Schüpfen in einem *Feldversuch* unter kontrollierten Bedingungen zwischen Münchenbuchsee und Lyss. Im Drainagewasser der Planie wurden für Glyphosat Werte bis zu 100 µg/l gemessen, in demjenigen des Planums waren die Werte mit bis zu 10 µg/l etwas niedriger. Die Glyphosat-Konzentration wurde ausserdem im Drainagewasser an einzelnen Standorten im SBB-Netz bestimmt. An 11 von 13 Standorten wurde Glyphosat mit Werten bis zu 10 µg/l nachgewiesen. Weitergehende Untersuchungen zur Belastung von Gleisabwässern mit dem Herbizid Glyphosat und seinem Hauptmetaboliten AMPA, die das gesamte Schienennetz der SBB berücksichtigen, liegen bisher jedoch nicht vor.

2.5 Ziel der Untersuchung

Um Grundlagen für eine Abschätzung des *Gewässerverschmutzungsrisikos* zu schaffen, sollte in dieser Studie untersucht werden, wie hoch die Belastung durch Glyphosat im Gleisab-

wasser bei heutigen, praxisüblichen Bedingungen ausfällt. Dabei sollte bestimmt werden, welche *Maximalkonzentrationen* an Glyphosat und AMPA gefunden werden. Diese Höchstwerte werden bei einem sogenannten *Worst-Case-Szenario* erzielt, welches erfahrungsgemäss beim ersten Abflussereignis nach der Anwendung von Glyphosat auftritt. In verschiedenen Feldstudien in landwirtschaftlich geprägten Gebieten wurde gezeigt, dass für die meisten Pflanzenschutzmittel das erste Abflussereignis nach dem Ausbringen der Substanzen das wichtigste für den Transport in die Gewässer darstellt [11, 12]. Auf Bahnanlagen konnte dieses Verhalten in einer Studie in England ebenfalls bereits beobachtet werden [13]. Zusätzlich zu dieser Übersicht über die Konzentrationen sollte abgeschätzt werden, welche *Mengen* an Glyphosat in einem realistischen Worst-Case-Szenario in die Vorfluter transportiert werden und welche *Konzentration* im Vorfluter resultieren könnte.

3. Untersuchungsmethoden

3.1 Probenahmen 2007

Die Gleisabwasserproben stammten vom Schienennetz der SBB und repräsentieren die unterschiedlichen Streckentypen. Der Unterhalt der Strecken liegt in der Verantwortung der Abteilung «Infrastruktur Anlagenmanagement Natur» der SBB. Diese ist in *sechs Teams* aufgeteilt, die verschiedene Regionen der Schweiz betreuen. Um eine gleichmässige geografische Verteilung der Messstellen zu erreichen, wurden die Proben einheitlich auf die sechs Teams aufgeteilt. Die konkrete Auswahl der Messstellen und die Probenahme wurden von den Teamleitern und ihren Mitarbeitern vor-

genommen. Da die Anwendungsperioden von Glyphosat im *Frühling* und im *Herbst* liegen, wurden die Probenahmen auf diese beiden Jahreszeiten gelegt. Die Messstellen wurden entweder nur im Frühling oder im Frühling und Herbst beprobt (jeweils Stichproben).

Zur Kontrolle wurde von allen Teams je eine Probe von einem Streckenabschnitt entnommen, der keinerlei Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln erfahren hatte.

Die Proben wurden gekühlt in Kunststoffflaschen (LDPE) transportiert, bei -20 °C gelagert und innerhalb weniger Wochen analysiert.

Von Seiten der SBB wurden Informationen zur Verfügung gestellt, die die beprobten Gleisabschnitte eingehender charakterisierten. Zur Beschreibung der Niederschlagsituation an den Standorten wurden die Tagesniederschlagswerte der jeweils nächstgelegenen Station des Niederschlagsmessnetzes verwendet [14].

Bahnhof Luzern

Der im Frühling und Frühherbst 2007 beprobte Standort im Bahnhof Luzern wurde zusätzlich für weitergehende Untersuchungen im *Spätherbst* ausgewählt. Er eignete sich sowohl aufgrund der im Frühling bestimmten Konzentration als auch der lokalen Situation (Zugänglichkeit, Sicherheit) dafür.

Um die Abflussereignisse zu beproben, wurde für die Zeit vom 23. Oktober bis zum 7. Dezember 2007 ein *automatischer Probenehmer* installiert. Beprobte wurde dabei ein Drainagerohr in jenem Schacht, aus dem bereits im Mai und September Proben entnommen worden waren. Die untersuchten Herbstmonate Oktober und November 2007 waren eher niederschlagsarme Monate; so fiel in weiten Teilen der Schweiz weniger als ein Drittel der normalen Oktoberniederschläge [15]. Es konn-

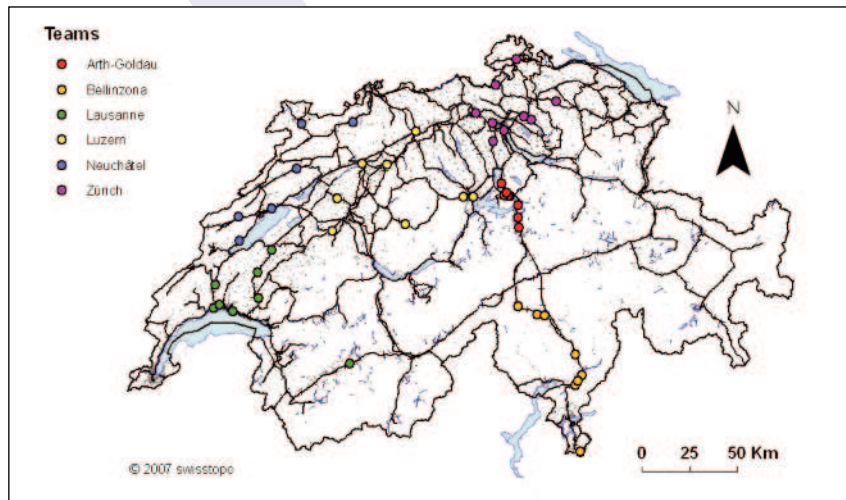


Abb. 2 Übersicht über das Schienennetz der SBB und weiterer Bahnunternehmen mit der Lage der Probenahmeorte. (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo, JA082266.)

ten daher nur wenige Abflussereignisse verzeichnet werden. Vom Niederschlagsereignis am 3. Dezember 2007, bei dem innerhalb eines Tages 12,3 mm Niederschlag gemessen wurde, wurden zwischen 5:00 Uhr morgens und 9:30 Uhr halb-

stündlich insgesamt zehn Proben genommen und analysiert.

3.2 Analysenmethode

Die Analyse der Proben wurde innerhalb der *Abteilung Umweltchemie* an der Eawag in Dübendorf durch-

geführt. Die Proben wurden mit einer Methode analysiert, die sich aus einer Derivatisierung, anschliessender Festphasenextraktion, Flüssigchromatographie und Tandemmassenspektrometrie zusammensetzte [16]. Für beide Substanzen konnte im Gleisabwasser eine Bestimmungsgrenze von 0,015 µg/l erreicht werden.

4. Resultate und Diskussion

4.1 Untersuchte Proben

Es wurden insgesamt 60 Proben von 47 verschiedenen Standorten genommen (Abb. 2). Die Frühlingsproben wurden zwischen dem 24. April und dem 17. Juni genommen; die Herbstproben stammen aus der Zeit zwischen dem 14. und dem 25. September. Im Frühling wurden 46 Proben geliefert, im Herbst 14 weitere. Die Probenahmeorte bilden das Streckennetz der SBB geografisch gut ab und berücksichtigen die unterschiedlichen Streckentypen: Rund 40% der Standorte lagen an einer *Hauptlinie*, je ein Viertel an *Nebenlinien* und bei *Bahnhöfen*. 10% der Standorte lagen in einem Gebiet, in dem von Seiten der Bahn keine Glyphosat-Applikation zu erwarten war. Sei es, weil der Abschnitt innerhalb der Grundwasserschutzzone lag oder weil es sich um eine Neubaus Strecke handelte, bei der bis anhin noch kein Glyphosat verwendet werden musste.

4.2 Einflussfaktoren

Streckentyp

In nahezu 90% aller Proben wurde Glyphosat mit einer Konzentration über der Bestimmungsgrenze (0,015 µg/l) gefunden, AMPA trat in etwas weniger als 70% der Proben über der Bestimmungsgrenze auf. Die Konzentrationen reichten dabei von 0,015 µg/l bis zu mehreren µg/l, wobei die Werte in Abhängigkeit der Streckentypen variierten (Abb. 3).

Es ist wenig erstaunlich, dass in den *Bahnhöfen* sowohl für Glyphosat wie auch für AMPA im Durchschnitt die höchsten Konzentrationen auftraten. Die Bahnhöfe werden bezüglich der Vegetationskontrolle üblicherweise prioritär behandelt. Dies hat mehrere Gründe: Einerseits entsteht in den Bahnhöfen mehr Staub, welcher sich im Gleisbereich ansammelt und das Pflanzenwachstum begünstigt, andererseits bewegen sich in Bahnhofarealen, z. B. für Rangierarbeiten viele Personen zwischen den Gleisen, wodurch auf die Sicherheit speziell geachtet werden muss. Zudem befinden sich bei Bahnhöfen viele Zwergsignale, die für das

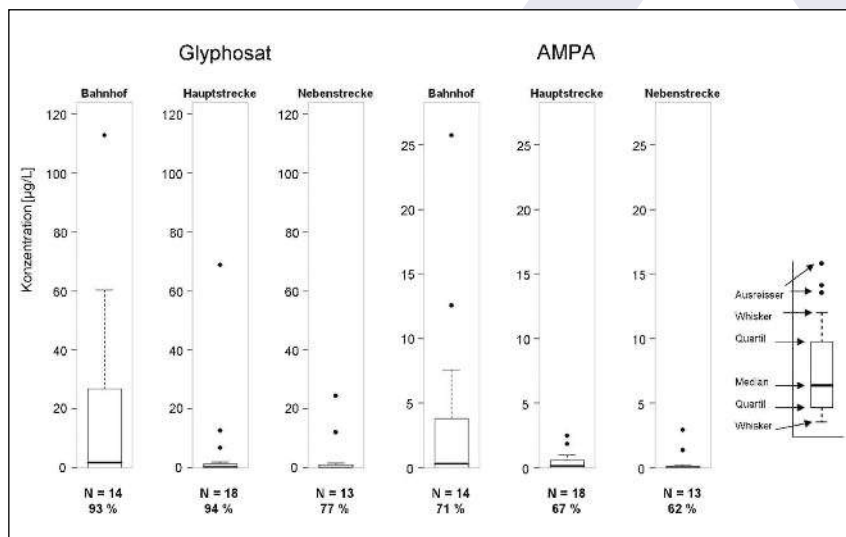


Abb. 3 Konzentrationsbereiche von Glyphosat und AMPA in den Frühlingsproben in Abhängigkeit des Streckentyps.

N = Anzahl der untersuchten Messstellen

..% = prozentualer Anteil der untersuchten Messstellen mit Nachweis

Boxplot: Die Länge der Whisker beträgt maximal das 1,5fache des Interquartilabstands (Länge der Box), der Endpunkt wird durch einen Wert aus den Daten bestimmt. Werte, die ausserhalb dieser Grenzen liegen, wurden separat ins Diagramm eingetragen und als Ausreisser bezeichnet. Ausreisser bezeichnen hier nicht Messungen mit zweifelhafter Verlässlichkeit, sondern Messstellen mit ausserhalb des typischen Konzentrationsbereichs liegenden Werten.

Bahnpersonal jederzeit gut sichtbar sein müssen. Ausserdem fällt die Vegetation den Mitarbeitern sowie den Bahnkunden dort am ehesten auf. Dies führt in der Praxis häufig dazu, dass grosse Teile des Gleisbereichs in Bahnhöfen beinahe flächendeckend mit Glyphosat behandelt werden.

Die Konzentrationen auf Hauptstrecken und Nebenstrecken lagen im Mittel unter denjenigen bei Bahnhöfen. Vereinzelt wurden aber auch dort erhöhte Konzentrationen gemessen.

Jahreszeit

Es zeigte sich, dass die Konzentrationen im Frühjahr deutlich höher lagen als diejenigen im Herbst. Lagen die Konzentrationen von Glyphosat im *Frühling* im Mittel bei rund 9 µg/l, so war der Mittelwert im *Herbst* bereits unter 0,5 µg/l gesunken. Dies entspricht den Erwartungen, da für eine wirksame Unkrautkontrolle vor allem die im Frühjahr aufkeimenden Unkräuter mit Glyphosat behandelt werden. Im Herbst wird lediglich bedarfsweise eine Nachbehandlung durchgeführt, was zu punktuelleren Anwendungen und somit in der Regel zu weniger Wirkstoff pro Abschnitt führt. Etliche Strecken werden im Herbst gar nicht mehr behandelt.

Zwischen Applikation und Probenahme

Es gibt verschiedene Faktoren, die einen Einfluss auf den gemessenen Konzentrationswert haben. Erstens spielt die *ausgebrachte Menge*

an Glyphosat auf den beprobten Gleisbereich eine grosse Rolle. Zweitens beeinflussen die *Niederschlagsmenge*, die nach der Applikation fällt, sowie die *Intensität* der Niederschlags- und der anschliessenden Abflussereignisse den Wegtransport ins Gleisabwasser. Aufgrund der in Abschnitt «Verbleib und Verhalten von Glyphosat in der Umwelt» beschriebenen Prozesse ist die *Zeitspanne* zwischen der Applikation von Glyphosat und der Probenahme ein weiterer wichtiger Faktor. Je länger die Behandlung der Pflanzen zurückliegt, desto geringer der Anteil an für den Transport verfügbarem Glyphosat.

Die Aufträge für die Applikation von Glyphosat werden an externe Unternehmer vergeben und nicht von Mitarbeitern der SBB selbst durchgeführt. Bei der Vergabe der Aufträge werden nur qualifizierte Unternehmer berücksichtigt, deren Mitarbeiter eine Fachbewilligung aufweisen und die damit befähigt sind, die chemische Vegetationskontrolle nach Vorschrift durchzuführen. Das gesamte Streckennetz ist in Gleisabschnitte, sogenannte Lose, aufgeteilt, die je einem Arbeitsaufwand von rund 20 Tagen entsprechen. Für die Applikation war statt eines genauen Datums daher nur ein Zeitfenster bekannt. Zudem standen durchschnittliche Applikationsmengen pro Bahnkilometer zur Verfügung.

Liegt bei der Probenahme die Applikation weniger als rund zwei Wochen zurück, so werden sowohl für Glyphosat wie auch AMPA im Schnitt deutlich höhere Konzentrationen gefunden als in den Proben, bei denen die Probenahme erst später erfolgt war (Abb. 4).

Insgesamt sechs der untersuchten Proben wurden an Stellen genommen, wo keine Applikation stattgefunden hatte. Die Konzentrationen in diesen Kontrollproben lagen

unter der Bestimmungsgrenze oder knapp darüber. Damit konnte gezeigt werden, dass auf den beprobten Abschnitten keine Anwendung im Gleisbereich stattfand und keine dieser Kontrollproben mit Glyphosat aus einer anderen Quelle wie beispielsweise der Landwirtschaft verunreinigt wurde.

4.3 Bisherige Studien

Die gemessenen Konzentrationen liegen im Bereich der Werte, die in der Studie auf der *Versuchsanlage Schüpfen* gemessen wurden [17]. Im Gegensatz zu Schüpfen wurde hier jedoch keine kontrollierte Applikation durchgeführt. Die bei Schüpfen applizierte Menge war mit 0,49 g/m² doppelt so hoch wie vorgeschrieben (0,22 – 0,29 g/m² [4]). In derselben Studie wurden damals auch 13 Drainagen entlang des SBB-Netzes untersucht, wo die Applikation nach Vorschrift [4] erfolgt war. Die gemessenen Konzentrationen erreichten dort Werte von bis zu 10 µg/l.

Europa

Vor allem in *Schweden* wurde der Verbleib der auf Bahnanlagen verwendeten Pflanzenschutzmittel untersucht. Da befürchtet wird, dass Glyphosat versickert, wurde die vertikale Mobilität im Gleiskörper bestimmt und das Vorkommen im Grundwasser untersucht. Dabei wurde gezeigt, dass die beiden Substanzen im Vergleich zu anderen Pflanzenschutzmitteln weniger mobil sind und in Grundwasserproben nicht nachgewiesen werden konnten. In einer Untersuchung in *Deutschland* wurde im gleisnahen Grundwasser ebenfalls kein Glyphosat nachgewiesen. In Deutschland ist auf Bahnanlagen seit 1996 auch ausschliesslich Glyphosat zur chemischen Bekämpfung der Vegetation zugelassen.

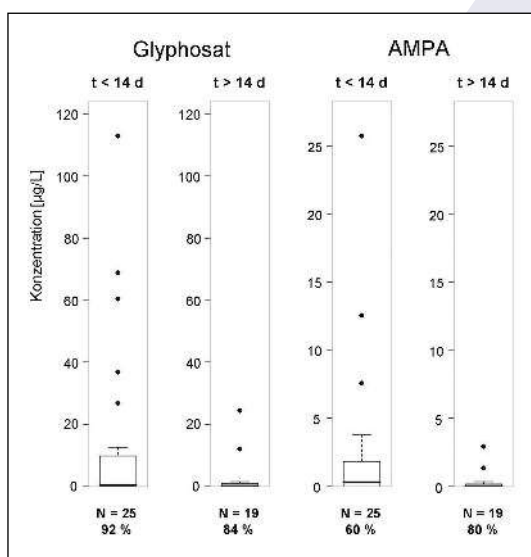


Abb. 4 Konzentrationsbereiche der Frühlingsproben in Abhängigkeit der Zeitspanne zwischen Applikation und Probenahme (t < 14 d und t > 14 d).

(Beschreibung Box-Plot, Abb. 3)

N = Anzahl der untersuchten Messstellen.

.. % = prozentualer Anteil der untersuchten Messstellen mit Nachweis

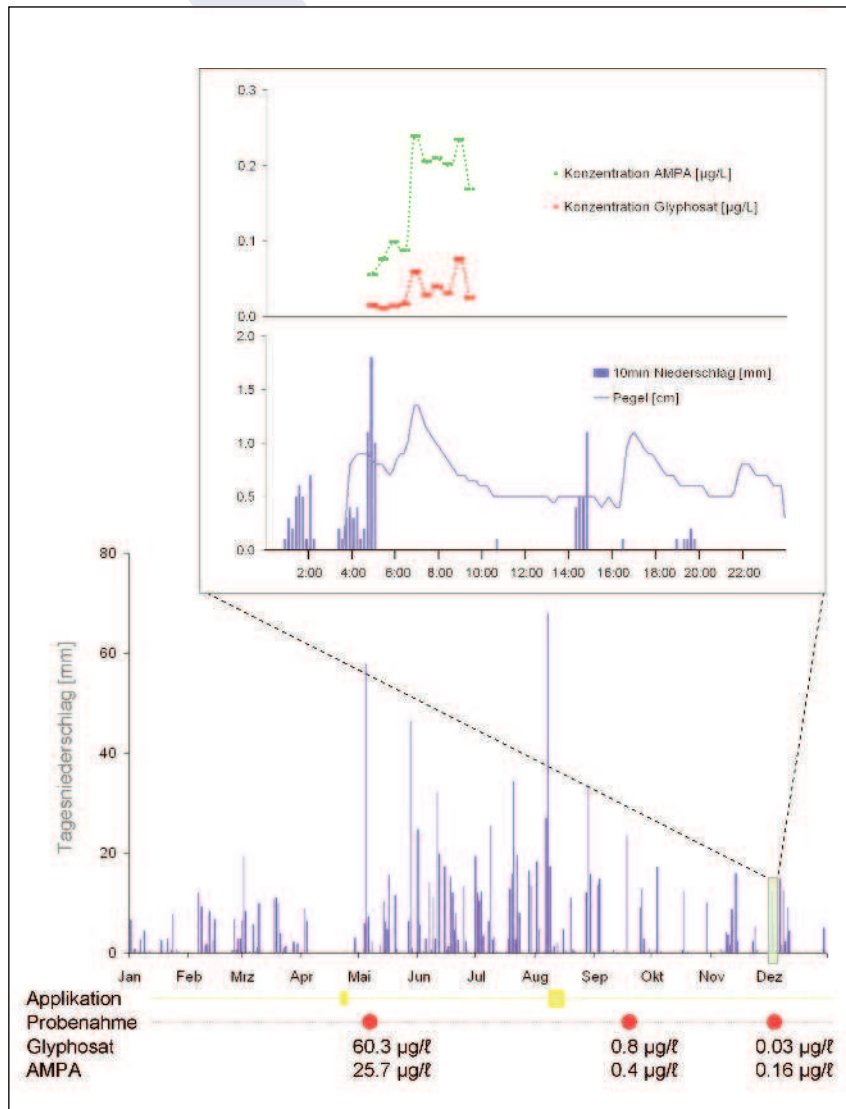


Abb. 5 Applikations- und Probenahmedaten 2007 im Bahnhof Luzern, Tagesniederschlag bei der Meteorstation Luzern LUZ (unten). Verlauf des Niederschlags, des Pegels und der Konzentration von Glyphosat und AMPA am 3. Dezember 2007 (oben).

4.4 Beispiel «Bahnhof Luzern»

Konzentrationsdynamik

Am Probenahmeort im Bahnhof Luzern wurde das *Austragsverhalten* von Glyphosat genauer analysiert. Die Daten zur zeitlichen Dynamik dieses Austrags aus dem Gleiskörper zeigen, dass der Abfluss von Gleisabwasser bereits kurz nach Beginn eines Niederschlagsereignisses

einsetzt (Abb. 5). Aufgrund der geringen Rückhaltekapazität des Gleiskörpers führen im Gegensatz zur Situation bei landwirtschaftlichen Böden bereits kleinere Niederschläge zu einem messbaren Abfluss. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen müssen mit geringer zeitlicher Verzögerung mit dem Abflussmaximum erwartet werden. Da der Gleiskörper durch die Drainagen schnell ent-

wässert wird, ist mit keinem signifikanten Stoffaustrag nach dem Ende eines Niederschlagsereignisses zu rechnen.

Die gemittelten Konzentrationen lagen mit 0,03 µg/l (Glyphosat) und 0,16 µg/l (AMPA) für beide Substanzen deutlich unter denjenigen, die im Frühling bestimmt wurden und leicht unter denjenigen vom Frühherbst. Ausserdem hat sich das Verhältnis von Ausgangssubstanz zu Abbauprodukt verändert. Lag die Konzentration von Glyphosat im Mai noch rund doppelt so hoch wie diejenige von AMPA, so betrug sie im Dezember lediglich rund ein Viertel der Konzentration von AMPA. Das veränderte Verhältnis lässt sich durch den Zeitpunkt der Applikation erklären. Je länger die Applikation zurückliegt, umso mehr Glyphosat wurde ausgeschwemmt oder zu AMPA abgebaut. AMPA ist jedoch auch kein persistentes Abbauprodukt und wird seinerseits weiter abgebaut.

Frachtberechnungen

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen werden üblicherweise weniger als ein Prozent des ausgebrachten Pflanzenschutzmittels ausgewaschen [12]. Für Gleisanlagen liegen nur wenige Studien vor; es wird jedoch davon ausgegangen, dass der Mengenanteil an *ausgewaschenen Substanzen* höher liegt, abhängig von der im Gleisbereich vorhandenen Entwässerung.

In dieser Studie kann ausgehend von der gemessenen Konzentration und Abschätzungen zur Abflusssituation einerseits die erwartete Konzentration im Vorfluter, andererseits der prozentuale Verlust grob abgeschätzt werden. Dies soll für das Abflussereignis bei der Frühlingsprobenahme im Mai getan werden.

Das Einzugsgebiet der untersuchten Drainage beträgt rund 30 m² und liegt innerhalb eines grösseren Drainagegebiets, das einen Grossteil der nicht überdachten Fläche des Bahnhofs Luzern umfasst und eine Gesamtfläche von rund 0,1 km² aufweist (Abb. 6).

Die Fracht lässt sich wie folgt berechnen:

$$Fracht = C_{\text{Glyphosat}} \times N \times q$$

C = Konzentration von Glyphosat im Gleisabwasser
 N = Niederschlagsmenge im drainierten Gebiet
 q = Abflusskoeffizient

Der *Abflusskoeffizient* q beschreibt das Verhältnis des beobachteten Abflusses des auf das Einzugsgebiet gelangten Niederschlags zum theoretisch berechneten Abfluss. Er war für die Versuchsanlage Schüpfen empirisch be-

stimmt worden. Die Werte streuten stark und lagen für Gleisanlagen, die älter als zwei Jahre waren, zwischen 0,3 und 1,0, das heisst zwischen 30 und 100% des auf das Einzugsgebiet gefallenen Niederschlags floss tatsächlich ab. Wie im Bericht über den Gewässerschutz an Bahnanlagen [18] ausführlich diskutiert, sind diese Werte erstaunlich hoch und überschätzen wahrscheinlich den tatsächlichen Abfluss auf dem SBB-Streckennetz. Für die vorliegende Abschätzung wird deshalb mit 0,3 der untere Wert des für die Versuchsanlage eruierten Wertebereichs verwendet.

Beim Regenereignis Anfang Mai wurde über fünf Tage insgesamt ein Niederschlag von 73,3 mm verzeichnet, woraus sich für das drainierte Gebiet (30 m²) eine Niederschlagsmenge von 2200 Liter berechnen lässt. Ausgehend von einer mittleren Konzentration von 60,3 µg/l (vgl. Abb. 5) ergibt sich mit dem gewählten Abflusskoeffizienten von 0,3 für das Drainagegebiet eine Fracht von 40 mg.

Bei einer Standardapplikation mit 0,22–0,29 g/m² angewendet auf 50% der Fläche resultiert eine Applikationsmenge von rund 4 g Glyphosat. Die berechnete Fracht bei diesem Abflussereignis entspricht demnach 1% der applizierten Menge und bewegt sich damit in einer Größenordnung vergleichbar mit dem Austrag von Herbiziden in der Landwirtschaft [11].

Mithilfe der ausgetragenen Menge lässt sich die verdünnte Konzentration im Vorfluter berechnen. Für das gesamte drainierte Gebiet von rund 0,1 km² ergibt sich eine Gesamtfracht von 133 g. Gelangt diese Menge in einen Weiher mit einer Fläche von einer Hektare und der mittleren Tiefe von zwei Metern, wie er in Szenarien zur Beurteilung der Zulassung von Chemikalien betrachtet wird [19], so resultiert eine Konzentration von 6,7 µg/l.

Fliesst das Gleisabwasser jedoch in ein *grösseres Gewässer*, so liegen die erzielten Konzentrationen deutlich tiefer. Im Seebecken der Stadt Luzern (ca. 15 Mio. m³, Abb. 7) wird für das Abflussereignis Anfang Mai lediglich ein bedeutend kleinerer Wert von 0,009 µg/l erwartet, der deutlich unter den Anforderungen der Gewässerschutzverordnung von 0,1 µg/l liegt. Zu einer ähnlichen Einschätzung der Gewässerbelastung durch Glyphosat aus Gleisabwässern gelangt der Bericht von Gälli et al. [20], bei welchem grobe Belastungsabschätzungen für verschiedene, bahnbürtige Schadstoffe getroffen wurden.

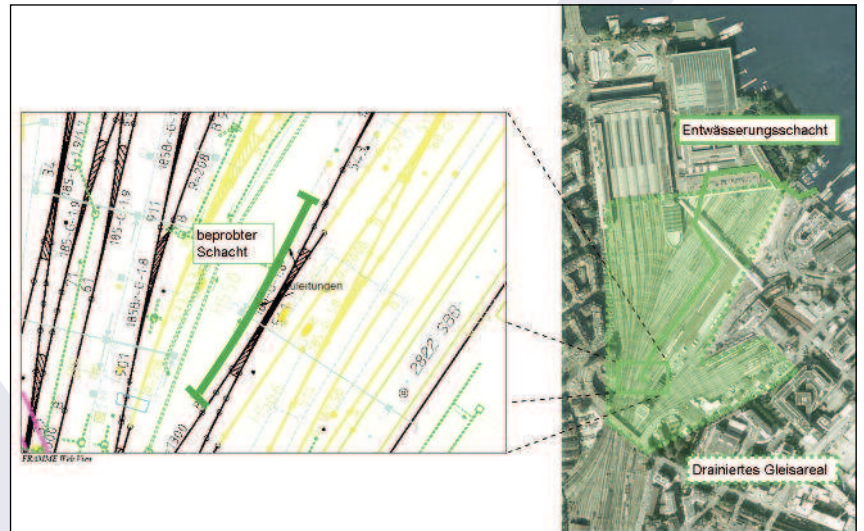


Abb. 6 Probenahme im Bahnhof Luzern. Links: beprobter Schacht. Rechts: Übersicht über das gesamte drainierte Gebiet (ca. 0,1 km² Fläche) mit Entwässerungskanal, der im See mündet. (swissimage©2006 swisstopo, JA082266.)

5. Umweltrelevanz

Die Messungen zeigen, dass die Konzentrationen von Glyphosat und AMPA unter praxisüblichen Bedingungen bei einem Worst-Case-Szenario durchaus beträchtliche Werte

erreichen können. Die gemessenen Werte im Gleisabwasser streuen dabei stark und reichen von Befunden unter der Bestimmungsgrenze bis zu Maximalwerten von 110 µg/l (Glyphosat) beziehungsweise 28 µg/l (AMPA). Die genauere Betrachtung



Abb. 7 Vierwaldstättersee: Seebecken der Stadt Luzern. (swissimage©2006 swisstopo, JA082266.)

des Standorts Luzern zeigt jedoch, dass die Konzentration im Gleisabwasser alleine noch wenig über die Umweltrelevanz aussagt. Vielmehr müsste für jeden Standort das Gewässer betrachtet werden, in das das Abwasser geleitet wird. Wird das Abwasser wie in Luzern in ein grosses Gewässer geleitet, so werden dort selbst bei stark erhöhten Glyphosat-Werten im Gleisabwasser die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung nicht überschritten. Bei kleineren Gewässern kann die Konzentration die Anforderungen kurzzeitig jedoch durchaus überschreiten. Um den Beitrag der SBB zum Vorkommen von Glyphosat in der Umwelt zu bestimmen, müsste die Austragsdynamik und die Fracht von Glyphosat unter realen Bedingungen genauer untersucht werden. Insbesondere die stark ausgeprägte Konzentrationsdynamik müsste bei der Ausarbeitung einer künftigen Probenahmestrategie berücksichtigt werden. Dabei ist eine genaue Kenntnis des Gleisaufbaus und der Entwässerungssituation erforderlich. Beim Abfluss wird ausserdem eine vollständige Massenbilanz benötigt. Eventuell würde sich ein Bahnhof mit einer Sickergrube anbieten, wo das gesamte abfliessende Wasser gefasst und gesammelt wird.

Für eine umfassende Beurteilung der chemischen Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen als Quelle für Glyphosat in Gewässern müsste diese mit den anderen Quellen (Landwirtschaft, Privathaushalte) verglichen und die einzelnen Beiträge gegeneinander gewichtet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Schweinsberg, F., et al. (1999): Herbicide use on railway tracks for safety reasons in Germany? *Toxicology Letters*. 107(1-3): p. 201–205.
- [2] Müller, C. (1999): Ausgewählte Verfahren zur Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen (Umwelt-Materialien Nr. 108). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [3] SBB (2004): Umweltbericht 2002/2003.
- [4] BAV (2005): Weisung betreffend chemische Vegetationskontrolle auf und an Gleisanlagen für die Jahre 2006–2010. Bundesamt für Verkehr (BAV)/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [5] SBB (2001): Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen. Bern: SBB AG. 33.
- [6] Keusen, H. (2002): Entwässerungsverhalten und Schadstoffaustrag von Gleiskörpern (Umweltmaterialien Nr. 149). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [7] GSchV, *Gewässerschutzverordnung* 1998, Schweizerische Eidgenossenschaft.
- [8] Torstensson, L. (2001): Use of herbicides on railway tracks in Sweden. *Pesticide Outlook*. 12(1): p. 16–21.
- [9] SBB (2005): Statistisches Vademecum – Die SBB in Zahlen 2005. Bern: Schweizerische Bundesbahnen AG. 38.
- [10] VöV Verband öffentlicher Verkehr (2005): R RTE 21110 Unterbau und Schotter – Vorschriften für den Neubau und Erneuerung. Bern.
- [11] Freitas, L. G., et al. (2008): Source area effects on herbicide losses to surface waters – A case study in the Swiss Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 128(3): p. 177–184.
- [12] Leu, C., et al. (2004): Variability of Herbicide Losses from 13 Fields to Surface Water within a Small Catchment after a Controlled Herbicide Application. *Environmental Science & Technology*. 38(14): p. 3835–3841.
- [13] Ramwell, C. T.; Heather, A. I. J. and A. J. Shepherd (2004): Herbicide loss following application to a railway. *Pest Management Science*. 60(6): p. 556–564.
- [14] Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2008).
- [15] MeteoSchweiz (2007): Monatsflashes.
- [16] Hanke, I., Singer, H. and Hollender, J. (2008): Ultratrace-level determination of glyphosate, aminomethylphosphonic acid and glufosinate in natural waters by solid-phase extraction followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry: performance tuning of derivatization, enrichment and detection. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 391(6): p. 2265–2276.
- [17] Brauchli-Theotokis, J. (2004): Bestimmung von Glyphosat und AMPA auf Bahnanlagen (Umwelt-Materialien Nr. 170). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [18] Burkhardt, M. (2007): Gewässerschutz an Bahnanlagen – Emittierte Stoffe im Normalbetrieb der SBB sowie Grundlagen zu deren Umweltverhalten. Dübendorf. p. 112.
- [19] FOCUS (2001): FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC, Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, in EC Document Reference SANCO/4802/2001 – rev.2. p. 245.
- [20] Gälli, R. (2006): Relevanzanalyse: Gewässerschutz an Bahnanlagen.

Keywords

Glyphosat – Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen – Gleisabwasser

Adresse der Autoren

Irene Hanke, Dipl. Natw. ETH
irene.hanke@eawag.ch

Simon Bohnenblust, Dipl. Natw. ETH

Heinz Singer, Dipl. Ing. Chemie FH
heinz.singer@eawag.ch

Christian Stamm, Dr.
christian.stamm@eawag.ch

Eawag, Umweltchemie
Überlandstrasse 133,
CH-8600 Dübendorf
Tel. +41 (0)44 823 55 11
Fax +41 (0)44 823 50 28

Albert Müller, Dipl. Forsting. ETH
albert.am.mueller@sbb.ch

SBB-Infrastruktur, Anlagenmanagement,
Leiter Natur
Güterstrasse 3
CH-6005 Luzern

Verdankung

Die Autoren danken den Leitern der Teams «Natur» der SBB-Infrastruktur für die Durchführung der Probenahme. Des Weiteren danken wir Michiel Fehr für das Zusammentragen wichtiger Informationen über die Probenahmestandorte innerhalb seines Praktikums bei den SBB. Bei Alfred Lück (Eawag) bedanken wir uns für die Hilfe beim Installieren des Probenehmers im Bahnhof Luzern. Judith Schöbi (SBB), Michael Schärer (BAFU), Juliane Hollender (Eawag) und Martin Frey (Eawag) sind wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts dankbar.