Abbildung 1: Zur Untersuchung des Intensivmähguts wurde neben der Straße gemulcht– hier entlang einer Bundesstraße in Unterfranken im Mai 2022 (Foto: Lennart Dittmer).

Lennart Dittmer

Mähgut aus Straßenbegleitgrün – Ein Schadstoffträger?

Grünpfleger suchen zur Abmagerung und Artenanreicherung von Straßenrändern nach sinnvollen Verwertungen für anfallendes Mähgut. Dafür müssen grenzwertüberschreitende Schadstoffgehalte ausschließbar sein. An der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) wurden 69 Mähgutproben an Straßen mit einem Verkehrsaufkommen zwischen 1.443 und 22.519 Kfz/24 h genommen und auf gesetzlich relevante Schadstoffe analysiert. Unter den Schwermetallen (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Al, Tl) überschritt nur Kupfer in 1,4 % der Analysen Grenzwerte der Bioabfallverordnung. Für organische Schadstoffe (PAK, PCDD/F, PCB) konnten keine Überschreitungen festgestellt werden. Daneben konnte ein Einfluss von Schnittzeitpunkten, Verkehrsaufkommen, der Entfernung zur Straße und der Pflegetechnik auf die Metallgehalte aufgezeigt werden. Mähgut des Straßenrands ist demnach kein Sondermüll und bestimmte praktische Vorgehensweisen bei der Mahd können das Risiko einer Verunreinigung weiter reduzieren.

Im Zuge des Volksbegehrens „Rettet die Bienen" wurde die bayerische Straßenbauverwaltung per gesetzlichem Auftrag zu einer biodiversitätsfördernden Pflege verpflichtet. Begleitflächen entlang von Staats- und Bundesstraßen sollen verstärkt dem Biotopverbund dienlich sein und im Rahmen der Wirtschaftlichkeit als Magergrünland bewirtschaftet werden (Zehm et al. 2020). Um dies zu gewährleisten, empfiehlt es sich, die Pflegepraxis von der klassischen Schlegelmulchmahd auf eine Mahd mit Mähgutabfuhr umzustellen. So magert der Boden mit der Zeit ab und Blütenpflanzen können sich gegen nährstoffliebende Gräser durchsetzen. Im Konzept zur ökologischen Aufwertung von Straßenbegleitgrün (StMB 2020) sieht das bayerische Verkehrsministerium eine Abfuhr von Mähgut zumindest für sogenannte „Auswahlflächen" explizit vor.

Im Gegensatz zu anderen Verwertungshürden, wie Störstoffe oder Problempflanzen im Mähgut (Dittmer 2023a), bilden grenzwertüberschreitende Schadstoffgehalte ein unüberwindbares rechtliches Hindernis für bestimmte, vor allem bodenbezogene, Verwertungswege. Deshalb wurden die Gehalte von gesetzlich relevanten Schadstoffen im Mähgut entlang von bayerischen Staats- und Bundesstraßen (Schwermetalle, organische Schadstoffe) von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) ermittelt. Für Schwermetalle wurden zusätzlich praxisrelevante Einflussfaktoren auf die Gehalte betrachtet: (1) die Verkehrsstärke, (2) der

Mähzeitpunkt, (3) die Entfernung zur Straße sowie (4) die Mäh- und Aufnahmetechnik. Zur Einordnung der Gehalte wurde zusätzlich die Literatur gesichtet. Der Fokus lag auf den Schwermetallen.

Schadstoffe, Quellen und der Weg in die Pflanze

An Straßen gelangt eine Vielzahl potenzieller Schadstoffe in die Umwelt. Zu ihnen zählen die Schwermetalle, welche aufgrund von Straßen-, Reifen-, und Bremsabrieb, aber auch aufgrund von Verbrennungsprozessen freigesetzt werden (Zechmeister et al. 2005). Auch organische Schadstoffe (zum Beispiel Mineralölkohlenwasserstoffe, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, Dioxine) gelangen durch Treibstoffleckagen und Verbrennungsprozesse an den Straßenrand. Je nach Eintragspfad („Straßenabfluss", „Spritzwasser" sowie „Luftablagerung") werden die Schadstoffe mehr oder weniger weit in die Begleitfläche einer Straße verfrachtet (Abbildung 2; Werkenthin et al. 2014). Der Großteil der Schadstoffe gelangt dabei über den Straßenabfluss an den Straßenrand. Dort reichern sie sich vor allem im Oberboden an (Kocher 2008) und können je nach Bodenbeschaffenheit (Yan et al. 2012; Ugwu & Igbokwe et al. 2019) und Pflanzenart (Antoniadis et al. 2021) mehr oder weniger stark über die Wurzeln der Begleitvegetation aufgenommen (Kim et al. 2015) sowie in grüne Pflanzenteile verlagert werden. Darüber hinaus sind auch die Blätter von krautigen Pflanzen in der Lage, Schadstoffe aufzunehmen (Shahid et al. 2017) oder es lagern sich Verschmutzungen über die Luft schlicht auf der Blattoberfläche ab (Sternbeck et al. 2002). Im Fokus der vorliegenden Untersuchung standen die Schwermetalle, deren Wirkmechanismen im Folgenden genauer betrachtet werden sollen.

Einfluss der Pflanzenart, Bodenverhältnisse und Entfernung zur Straße

Grundsätzlich ist jede Pflanze auf essenzielle Schwermetalle angewiesen, zum Beispiel für Enzymbildungen oder Zellstrukturen (Kabata-Pendias 2010). Bestimmte Pflanzen können außergewöhnlich hohe Gehalte tolerieren, über die Wurzel aufnehmen und in oberirdische Pflanzenteile verlagern. Unter diesen Pflanzen sind auch typische Wiesenpflanzen wie Labkraut *(Galium mollugo)* oder der Löwenzahn *(Taraxacum officinale)* vertreten (Antoniadis et al. 2021; Katarzyna & Rutkowska 2018). Zur effizienten Aufnahme über die Wurzel müssen Schwermetalle mobil und bioverfügbar in der Bodenlösung vorhanden sein (Kim et al. 2015). Sind der pH-Wert, die organische Substanz oder der Anteil Tonminerale des Bodens gering, kann von einer erhöhten Mobilität ausgegangen werden (Bergmann 1989). Typische pH-Wert-Absenkungen des Begleitbodens in einer Entfernung von 5–10 m zur Straße (Werkenthin et al. 2014) sind durch Staub- und Streusalzablagerungen bedingt und könnten höhere Aufnahmeraten bewirken, obwohl die Schadstoffgehalte im Boden mit der Entfernung zur Straße abnehmen (Kocher 2008).

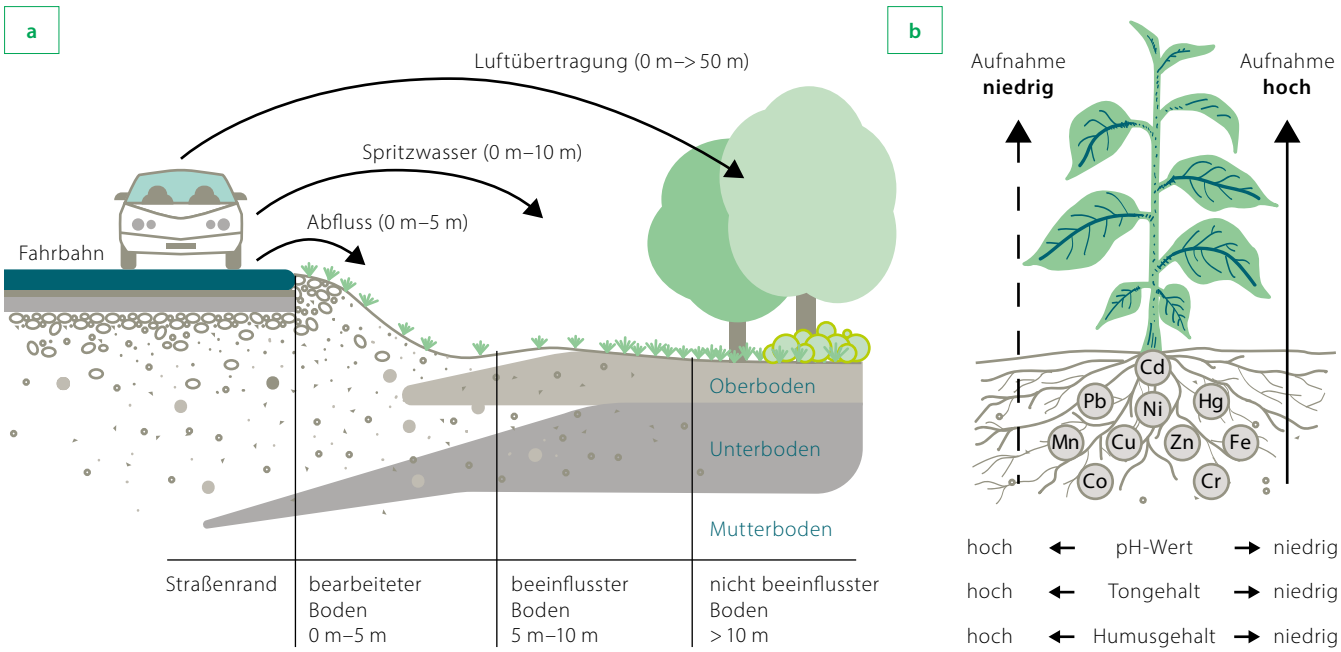

Abbildung 2:
a) Schwermetalleintrag an den Straßenrand (verändert nach Werkenthin et al. 2014).
b) Bodenfaktoren und deren Einflüsse auf die Schwermetallaufnahme (verändert nach Bergmann 1989).

Abbildung 3:
a) Probenahme im Intensivbereich nach Mulchmahd mit Y-Schlegeln (Foto: Lennart Dittmer).
b) Probenahme im Extensivbereich nach Mulchmahd mit Y-Schlegeln (6–10 m zum Straßenrand) (Foto: Lennart Dittmer).

Verkehrsbezogene und technische Einflüsse

Je höher die Reibung am Fahrzeug sowie auf dem Straßenbelag, desto mehr Schwermetalle werden freigesetzt. Die Verkehrsstärke (DTV: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke; Kfz/24 h) hat also einen wichtigen Einfluss (Kocher 2008). Daneben bilden staureiche Straßenabschnitte ein Risiko, da hier häufige Wechsel aus Brems- und Anfahrtsvorgängen sowie unvollständige Verbrennungsprozesse durch untertouriges Fahren auftreten (Werkenthin et al. 2014), was auch für organische Schadstoffe relevant ist. Ähnliche Mechanismen wirken auf Abschnitten mit hohem Schwerlastverkehr (DTV). Je mehr Fahrzeuge eine Straße führt, desto wahrscheinlicher sind funktionssichernde Maßnahmen, wie Winterdienste und Streumaßnahmen, was die Reibung ebenfalls erhöht (Hallberg et al. 2007). Gleiches gilt für alte, verwitterte Straßenbeläge.

Einflüsse der Mähpraxis

Schnittzeitpunkte haben einen Einfluss, da je nach Wachstumsstadium der Pflanze unterschiedliche Mengen an Spurenelementen aufgenommen werden. Darüber hinaus kommt es im Laufe des Alterungsprozesses bei Pflanzen zu einer Remobilisierung von Nährstoffen, wobei Nährstoffe aus den Blättern in andere Pflanzenorgane verlagert werden, darunter auch die Wurzel (Karavin & Batin 2020). Dies tritt allerdings für Makronährstoffe stärker auf als für Spurenelemente, zu denen Schwermetalle gehören (Maillard et al. 2015). Im Herbst können Schadstoffgehalte deshalb erhöht sein.

Das Vorhandensein von Bodenschadstoffen am Straßenrand lässt vermuten, dass eine technikbedingt erhöhte Aufnahme von Bodenpartikeln bei der Mahd und Mähgutaufnahme auch die Schadstoffgehalte im Mähgut erhöht. Besonders für lückige und unebene Bestände, wie sie auch am Straßenrand häufig sind, sollten Erdanhaftungen eine Rolle spielen. In Bezug auf die zum Pflegen verwendete Mäh- und Aufnahmetechnik (zum Beispiel Sense, Balkenmäher, Schlegelmulcher, Kreiselmäher, Scheibenmäher, Absaugung, Schwader, Greifzangen, Rechen, Heugabel), besteht also vermutlich ein praktikabler Hebel, um gezielt Schadstoffe im Mähgut zu reduzieren.

Methoden

Untersuchungsgebiete und Teststrecken

Da klimatische Faktoren (Temperatur, Niederschlag) die Aufnahmerate von Schwermetallen beeinflussen können, wurden zwei Untersuchungsgebiete mit im langjährigen Mittel

Tabelle 1:
Verteilung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) pro km Staats- und Bundesstraße in Bayern sowie die Anzahl an Schwermetallanalysen pro DTV-Klasse. In Klammern ist die Anzahl der Proben des straßenfernen Extensivbereichs erkennbar. Insgesamt wurden 69 Mähgutproben genommen. Die zusätzlichen sechs Proben der Nebenuntersuchung zum Testen des Einflusses der Mäh- und Aufnahmetechniken (siehe unten) sind hier nicht enthalten.

Verkehrsstärken (DTV; Kfz/24 h)	Anteil am Streckennetz für Staats- und Bundesstraßen	Anzahl Proben nach DTV			
		Würzburg		Rosenheim	
		12.05.2022	04.08.2022	24.05.2022	02.08.2022
< 2.000	20 %	2	2	1	1(1)
2.000–5.000	34 %	3	3	5	5(1)
5.000–10.000	29 %	6	6(3)	4	3(1)
10.000–20.000	14 %	3	3(1)	4	4(1)
> 20.000	3 %	1	1(1)	1	1(1)

Abbildung 4: Test der Mäh- und Aufnahmetechnik: a) MULAG AMK 1200 (Foto: © MULAG), b) Agria Balkenmäher (Foto: Lennart Dittmer), c) MULAG ECO 1200 plus (Foto: © MULAG). d) Die Mahd fand auf einer Wiese unmittelbar an der B27 statt (Foto: Lennart Dittmer), e) Mähgutproben wurden aus dem Ladewagen genommen (Foto: Lennart Dittmer).

größtmöglichen Niederschlagsunterschieden ausgewählt: die Gebiete der Straßenmeistereien Rosenheim/Hausham und Würzburg.

Um einen Durchschnitt des bayerischen Verkehrsaufkommens zu beproben, lieferte das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB) die Verteilung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV; Kfz/24 h) für Bayern pro Kilometer Staats- und Bundesstraßen. Schließlich wurden pro Untersuchungsgebiet 15 Streckenabschnitte zwischen 1.443 und 22.519 Kfz/24 h ausgewählt (Tabelle 1). Pro Untersuchungsgebiet wurden an jeweils 5 der ausgewählten Teststraßen Bereiche mit einem breiten Seitenraum (mindestens 5 m) ausgewählt, um auch den Extensivbereich zu beproben.

Probenahme

Im Frühjahr 2022 wurde, entsprechend der gängigen Praxis an Straßenmeistereien, ausschließlich der Intensivbereich gemäht beziehungsweise beprobt. An einer Straßenseite wurden auf einer Länge von 50 m 1–2 m des Seitenraums mit einem handgeführten Y-Schlegelmulcher gemäht (Abbildung 3). Im Anschluss wurde Mulchgut aus allen Bereichen per Hand in drei 5 l-Tüten überführt, so dass sich schließlich ungefähr 2 kg Grasschnitt in einer Mischprobe befand. Beim zweiten Schnitt wurden neben dem Intensiv- auch der Extensivbereich parallel zur Straße gemäht, die Entfernung gemessen und Proben genommen (Abbildung 3). Der zweite Schnitt musste aufgrund der Projektlaufzeit bereits Anfang August stattfinden.

Um Gehalte an Schadstoffen dieser Untersuchung einschätzen zu können, dienen die straßenbezogenen Rahmenbedingungen der Tabelle 2.

Eine Nebenuntersuchung sollte den Einfluss der Mäh- und Aufnahmetechnik auf Schadstoffgehalte im Mähgut aufdecken. Sie wurde auf einer straßenbegleitenden Wiese der LWG durchgeführt (DTV = 17.192 Kfz/24 h; Entfernung zur Straße = 10 m; Abbildung 4). Dies gewährleistete möglichst indifferente Bodenverhältnisse und Pflanzenbestände, was die

Tabelle 2: Darstellung der in dieser Untersuchung inbegriffenen Straßenabschnitte anhand der Parameter „Gesamtverkehr" (DTV), „Schwerverkehr" (DTVs), „Zulässige Höchstgeschwindigkeit" (Vmax), „Deckschichtalter".

Parameter	Einheit	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
DTV	Kfz/24 h	1.443	3.428	6.835	8.364	11.850	22.519
DTVs		23	130	296	367	646	944
Vmax	km/h	50	70	85	84	100	100
Deckschichtalter	Jahre	1	10	23	25	40	66

Tabelle 3:
Gesetzliche und gütesichernde Grenzwerte für bodenbezogene Verwertungsformen von Mähgut in mg/kg oder wie angegeben. BioAbfV = Bioabfallverordnung; DüMV = Düngemittelverordnung; RAL-Gütesicherung = RAL-Gütesicherung Kompost; Eu-ÖkoV = Verordnung (EU) 2018/848 für den Ökolandbau (Grenzwerte in Durchführungsverordnung [EU] 2021/1165).

Schadstoff	BioAbfV1)	BioAbfV2)	DüMV	RAL-Gütesicherung	EU ÖkoV
Pb	150,0	100,0	150,0	150,0	45,0
Cd	1,5	1,0	1,5	1,5	0,7
Cr	100,0	70,0	–	100,0	70,0
Cu	100,0	70,0	–	100,0	70,0
Ni	50,0	35,0	80,0	50,0	25,0
Hg	1,0	0,7	1,0	1,0	0,4
Zn	400,0	300,0	–	400,0	200,0
As	–	–	40,0	40,0	–
Tl	–	–	1,0	1,0	–
dl-PCB PCDD/F3)	–	–	30 ng/kg TS	30 ng/kg TS	–

Tabelle 4:
Methodisches Vorgehen der neun Untersuchungen von Straßenpflanzen auf Schwermetalle. Bleibt ein Feld frei, wurde die entsprechende Information nicht publiziert. Ist eine Information in Anführungszeichen ausgedrückt, entspricht sie dem Wortlaut der Untersuchung, da keine detaillierteren Informationen publiziert wurden. N = Stichprobengröße; Monat = Monate der Probenahme; Entfernung = Entfernung zum Straßenrand; Ort = Untersuchungsgebiet.

DTV-Bereich (Kfz/24h)	Biomasse	N	Mähtechnik	Monat	Jahr	Entfernung	Ort	Referenz
2.000–35.000	Mähgut	10	Schere	Juni September	2014	3–31 m	Kassel, DE	Piepenschneider et al. 2015
2.000–35.000	Mähgut	10	Schere	Mai Juli August September	2014	3–31 m	Kassel, DE	Piepenschneider et al. 2015
15.000–25.000	*Archillea millefolium*	10	Schere	Juli	2010	1 m	Prag, CZ	Modlingerova et al. 2012
15.000–25.000	Vicia cracca	10	Schere	Juli	2010	1 m	Prag, CZ	Modlingerova et al. 2012
3.583–21.219	Mähgut	9	–	First Cut Second Cut	2016	1–2 Mähstreifen	Lincolnshire, GB	Mason et al. 2020
„Highway“; „Main Road“; „Minor Road“	Mähgut	9	–	Mai Oktober	2012	1 m	Süd-Dänemark	Meyer et al. 2014
22.917	Mähgut	1	Mulcher, Absaugung und Ladewagen	Mai	2010	1 m	Bad Segeberg, DE	Werner 2014
„Highway“	Gras	9	Schere	April	2018	–	Zagreb, HR	Bedoic et al. 2018
„Trunk-Road“ „A-Road“ „B-Road“ „C-Road“	Mähgut	18	Mulcher, Absaugung und Ladewagen	Mai Juni Juli August	2005	1–2 Mähstreifen	Powys, GB	Delafield 2006
2.160–30.700	Gras *(Lolium sp.)*	16	–	Juli	1992; 1994	1–3 m	Gipuzkoa, ES	Garcia & Millán 1998
602–136.560	Mähgut	30	Mulcher und Absaugung; Balkenmäher und Rechen	Frühsommer	2001	1 m	München, DE	Seling & Fischer 2003
602–136.560	Mähgut	30	Mulcher und Absaugung; Balkenmäher und Rechen	Herbst	2001	1 m	München, DE	Seling & Fischer 2003

Tabelle 5: Mittelwerte der (Schwer-)Metallkonzentrationen von Mähgut (beziehungsweise Pflanzenarten) aus Straßenbegleitgrün anderer Publikationen. Die Reihenanordnung der Schwermetallgehalte entspricht der Reihenanordnung der Publikationen von Tabelle 4. Angaben in mg/kg TS.

As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Pt	Zn
–	< 0,40	0,58	7,11	–		92,10	–	–	< 4,00	–	34,40
–	< 0,40	0,59	7,63	–		78,50	–	–	< 4,00	–	9,80
0,27	0,25	0,30	8,13	–		–	0,43	0,71	0,29	–	14,70
0,44	0,08	0,10	5,50	–		–	2,57	0,71	0,26	–	20,00
1,55	0,09	2,30	6,86	–	0,10	126,80	–	3,19	1,06	–	27,40
–	–	–	19,20	–	–	–	–	–	4,10	–	110,00
–	< 0,25	2,90	14,80	–	0,10	–	–	1,70	7,10	–	60,50
–	0,01	0,77	4,55	93,60	0,02	8,60	–	0,87	0,36	–	11,20
–	0,26	2,03	11,32	–	0,02	–	–	2,48	9,85	–	54,80
–	0,19	–	11,33	269,10	–	32,20	–	–	5,49	–	46,10
–	0,13	6,30	18,00	–	0,05	–	–	2,10	17,00	6,40	80,00
–	0,25	11,00	27,00	–	0,04	–	–	4,10	21,00	4,40	94,00

Ergebnisse noch genauer auf technische Einflüsse beziehen lässt. Es wurden straßentypische Geräteträger mit Auslegearm-Mäher und automatischer Absaugung in einen Ladewagen getestet: ein typischer Mulch-Mähkopf der Firma MULAG (AMK 1200) sowie das entsprechende Ökomodell (MULAG, Eco 1200 plus) mit innovativer, insektenschonender Luftstromführung. Daneben wurde ein Balkenmäher mit händischer Aufnahme (Rechen und Heugabel) in den Versuch aufgenommen (Abbildung 4). Für jede der drei getesteten Mäh- und Aufnahmetechniken wurden sechs Mähgutproben genommen. Als zusätzliche Kontrolle wurden jeweils zwei Mähgutproben mit Wasser abgewaschen und erst dann auf Schwermetalle analysiert sowie Mischproben des Bodens der einzelnen Untersuchungsplots ebenfalls auf Schwermetalle analysiert.

Chemische Analysen

75 Mähgutproben (Haupt- und Nebenuntersuchung) wurden durch das Fachzentrum Analytik der LWG auf Schwermetalle analysiert. Dazu wurden die getrockneten Proben mit einer schwermetallfreien Schneidmühle (Firma Retsch) vermahlen und nach der Zugabe von Salpetersäure (65 %) und Salzsäure (30 %) in der Mikrowelle aufgeschlossen sowie mittels ICP-OES iCAP 6300 Duo (Firma Thermo Fisher) analysiert.

Die organischen Schadstoffgehalte (dl-PCB, PCDD/F und PAK) von 28 Einzelproben wurden von der Ökometric GmbH (Eurofins, Bayreuth) nach dem Stand der Technik zur Untersuchung dieser Kontaminanten in Düngemitteln ermittelt.

Tabelle 6: Deskriptive Statistik der anorganischen Analyseparameter (unaufkonzentriert). Die angegebenen Einheiten beziehen sich auf die Trockensubstanz (TS); Stichprobengröße Schwermetalle: n = 69; Stichprobengröße Organik: n = 28.

Parameter	Einheit	Minimum	1. Quartil	Median	Mittelwert	3. Quartil	Maximum
Cu	mg/kg	5,00	7,00	9,00	11,50	13,00	78,00
Zn		6,00	32,00	45,00	46,00	56,00	89,00
Fe		183,00	410,00	590,00	1.047,00	1.257,00	6.869,00
Cd		< 0,10	–	0,10	–	–	0,20
Pb		< 1,00	–	3,00	–	–	6,00
Ni		1,00	1,00	2,00	2,20	3,00	10,00
Cr		1,00	2,00	2,00	3,40	4,00	16,00
Al		117,00	358,00	445,00	861,00	989,00	6.712,00
Tl		< 1,00	–	< 1,00	–	–	< 1,00
dl-PCB	ng/kg	0,21	0,27	0,38	0,48	0,57	1,15
PCDD/F		0,07	0,08	0,16	0,25	0,34	0,95
PAK	µg/kg	70,60	153,00	207,00	303,00	328,00	1.093,00

Bewertung von Schadstoffgehalten

Gemessene Gehalte wurden durch einen Vergleich mit (1) gesetzlichen Grenzwerten (Tabelle 3), (2) Literaturwerten sowie (3) typischen Schadstoffgehalten bayerischer Komposte (LfU 2015) einschätzbar.

Mess- oder Literaturwerte, die mit Grenzwerten oder Kompostqualitäten verglichen wurden, waren stets um den Faktor 1,82 aufkonzentriert, um eine Kompostierung/Vergärung zu simulieren (Annahme: Glühverlust = 90 % TM; Organikabbau = 50 %; LfU 2022).

Bezüglich Literaturwerten gingen die Mittelwerte von 9 Studien, welche nach dem Verbot von bleihaltigem Benzin in Europa durchgeführt wurden, in den Vergleich ein (Tabellen 4 und 5).

Statistische Methode

Lineare Regressionsmodelle wurden verwendet, um den Einfluss der Verkehrsstärke auf Schwermetallgehalte zu testen. Daneben klärten Mittelwertvergleiche das Vorhandensein signifikanter Unterschiede zwischen (1) verschiedenen Entfernungen des Mähguts zur Straße sowie (2) den verschiedenen Schnittzeitpunkten. Bereits eine Vorabbetrachtung des gesamten Datensatzes mittels Korrelationsmatrix lies ein signifikantes Cluster der Elemente Na, Zn, Cu, Al, Fe, Ni, Cr und Ca erkennen. War also eines der Elemente erhöht, so waren dies auch die übrigen. Deshalb wurden Elemente des Clusters, deren Messgenauigkeit deutlich über der Messgrenze lagen (Cu, Zn, Fe, Cr und Al), nach dem Standort und dem Schnittzeitpunkt normalisiert und gemeinsam auf die Einflussfaktoren „Schnittzeitpunkt" und „Entfernung zur Straße" analysiert. Innerhalb der Nebenuntersuchung zur Mäh- und Aufnahmetechnik wurde budgetbedingt auf höhere Stichprobengrößen und Signifikanztestungen verzichtet.

Ergebnisse

Schwermetallgehalte anderer Untersuchungen

In der Literatur ließen sich kaum Hinweise auf erhöhte Schwermetallgehalte im Mähgut aus Straßenbegleitgrün finden (Tabelle 5). Die Mittelwerte der Literatur lagen im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung stets leicht höher (Abbildung 5).

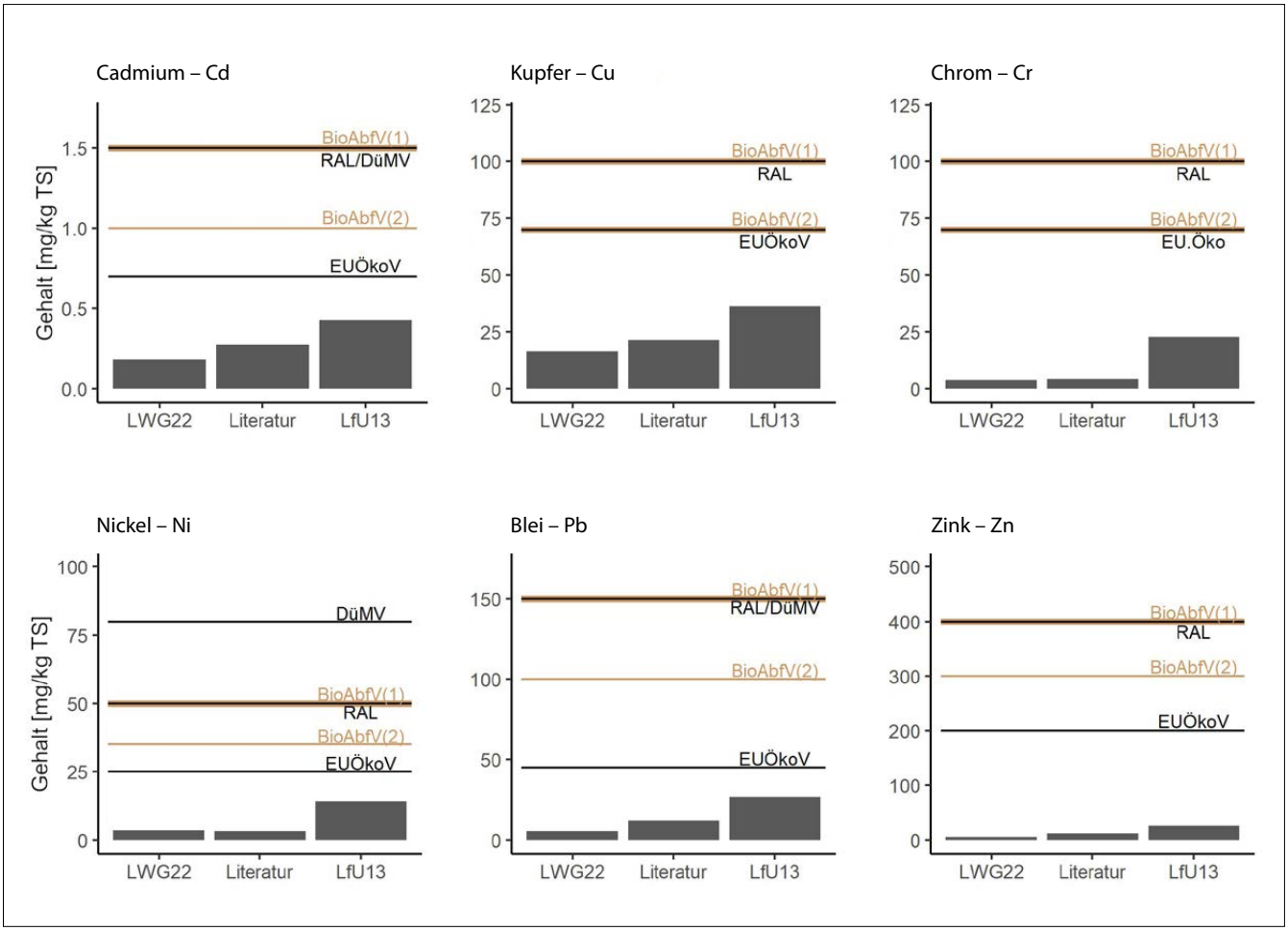

Abbildung 5:
Vergleich der medialen (rechnerisch aufkonzentrierten) Schwermetallgehalte dieser Untersuchung („LWG22") mit gesetzlichen und gütesichernden Grenzwerten für Bodenverbesserungsmittel („DüMV", „BioAbfV", „Eu-ÖkoV", „RAL"), mittleren (rechnerisch aufkonzentrierten) Literaturangaben zu Schwermetallgehalten im Mähgut des Straßenrands („Literatur") sowie mit Schadstoffgehalten von bayerischen Komposten („LfU13").

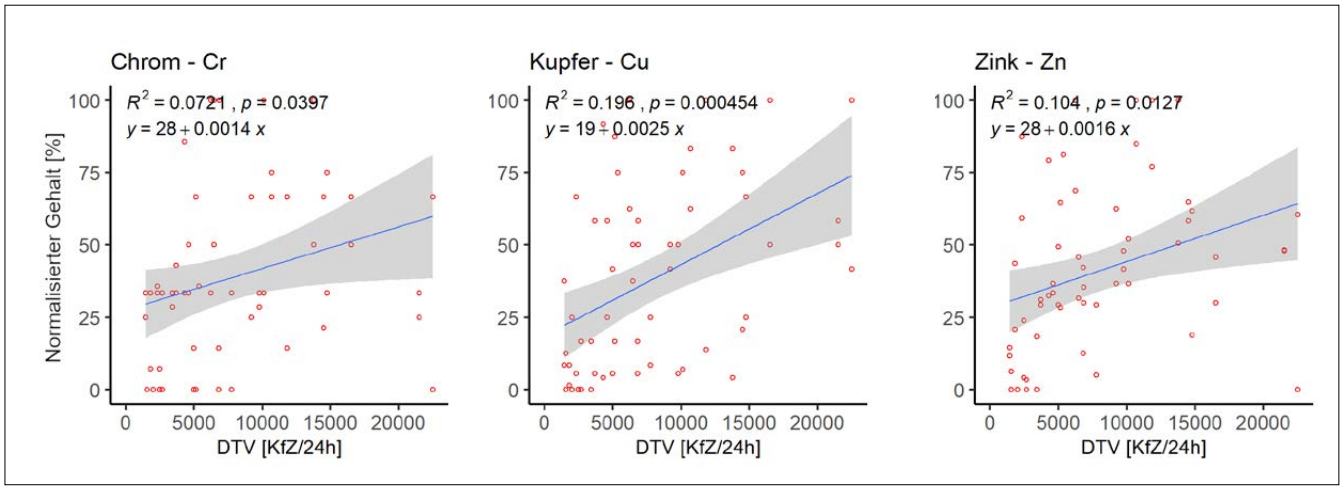

Abbildung 6: Einfluss der Verkehrsstärke auf über Mähzeitpunkte und Untersuchungsgebiete normalisierte Schwermetallgehalte. Es werden nur Schwermetalle mit signifikanten Abhängigkeiten dargestellt.

Vergleich gemessener Schadstoffgehalte mit Grenz- und Referenzwerten

Im Einklang zur Literatur konnten auch in der vorliegenden Arbeit selbst im straßennahen Begleitgrün kaum Grenzwertüberschreitungen festgestellt werden (siehe Abbildung 5; „LWG22“). Im Vergleich zur mittleren bayerischen Kompostqualität zeigten sich ebenfalls deutlich geringere mediale Schwermetallgehalte im Mähgut (Abbildung 5). Lediglich die Kupfergehalte waren in 1,4 % der Analysen höher als es die Bioabfallverordnung (BioAbfV) vorgibt. Selbst die Grenzwerte für den Ökolandbau wurden nur vereinzelt von Nickel- (2 von 69 Analysen) und Kupfergehalten (1 von 69 Analysen) überschritten. Bezogen auf organische Schadstoffe blieben sämtliche Messungen unterhalb von gesetzlichen Grenzwerten. Tabelle 6 fasst die gemessenen Gehalte deskriptiv zusammen.

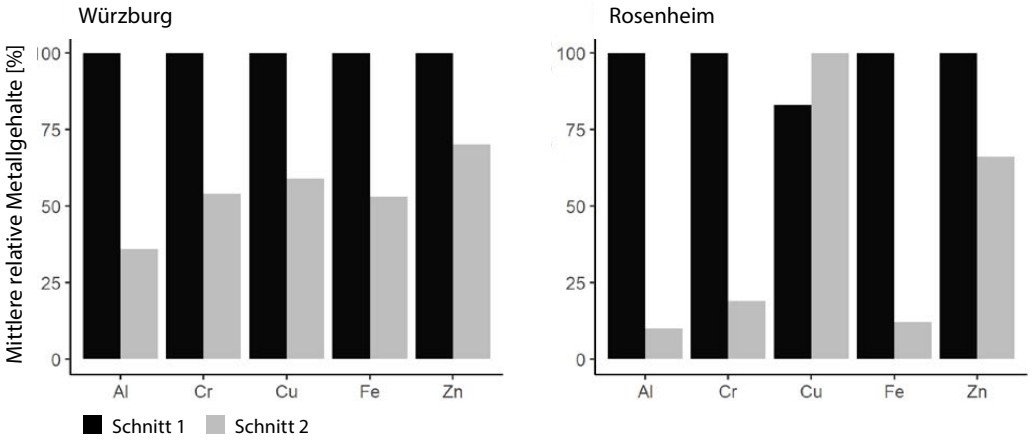

Abbildung 7: Einfluss der Mähzeitpunkts auf die Metallkonzentration im Mähgut. Um die relative Änderung der Konzentrationen einzelner Metalle mit dem Schnittzeitpunkt grafisch zu verdeutlichen, wurden die errechneten Mittelwerte standardisiert und die Konzentrationen des jeweils höheren Werts auf 100 % festgelegt.

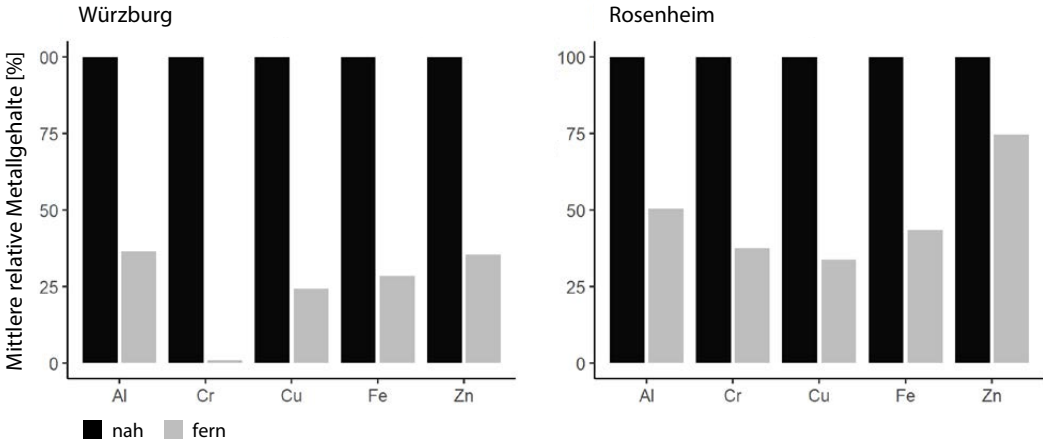

Abbildung 8: Standort- und metallbezogene Veränderung der Gehalte mit der Entfernung zur Straße. Um die prozentuale Reduktion der Konzentrationen einzelner Metalle mit der Entfernung grafisch zu verdeutlichen, wurden die errechneten Mittelwerte standardisiert und die mittleren straßennahen Konzentrationen auf 100 % festgelegt.

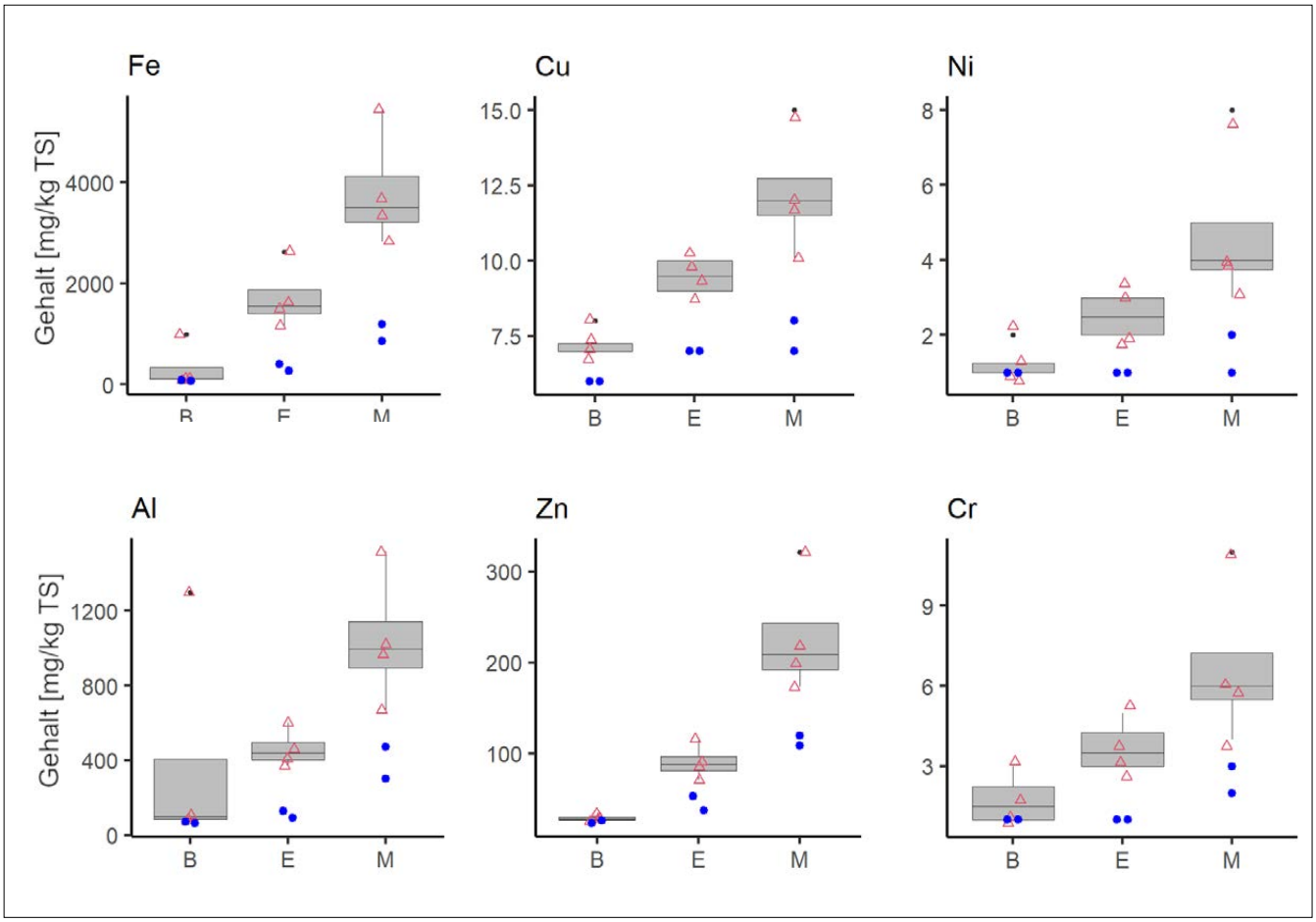

Abbildung 9: Metallkonzentrationen im Mähgut nach verwendeter Mäh- und Aufnahmetechnik. Im Mähgut des Balkenmähers + Einfassen mit Rechen (B); Mulch-Mähkopf + Absaugung (M); Eco-Mähkopf + Absaugung (E). Blaue Punkte bilden die Kontrolle der stets reduzierten Metallkonzentrationen von gewaschenen Mähgutproben ab. Stichprobengröße „ungewaschen": n = 4; Stichprobengröße „gewaschen": n = 2).

Einfluss der Verkehrsstärke

Ein signifikanter Einfluss der Verkehrsstärke auf Schwermetalle war lediglich für Cr, Cu und Zn zu finden. Die Bestimmtheitsmaße (R2) und die p-Werte sind der Abbildung 6 zu entnehmen.

Einfluss des Mähzeitpunkts

Im Untersuchungsgebiet Rosenheim wurden zum Schnittzeitpunkt 1 (Mai) normalisierte mittlere Metallgehalte von 34 % (± 29 %) vorgefunden, wohingegen der zweite Schnitt mittlere normalisierte Gehalte von nur 14 % (± 2 %) zeigte (entspricht einer signifikanten Abnahme von 59 %; t-test für verbundene Stichproben: df = 69; t = 8,02; p < 0,001).

Auch im Raum Würzburg waren die Metallgehalte zum Schnittzeitpunkt 2 (August) signifikant reduziert (im Mittel um 45 %; t-Test für verbundene Stichproben; Wurzeltransformation; df = 74; t = 7,70; p < 0,001). Die normalisierten mittleren Metallgehalte lagen hier bei 42 % (± 27 %; Schnitt 1) beziehungsweise 23 % (± 20 %; Schnitt 2). Einzelne Metallspezies sind Abbildung 7 zu entnehmen.

Einfluss der Entfernung zur Straße

Standortübergreifend waren die Metallgehalte straßenferner Proben (6–10 m) im Mittel um 38 % reduziert (Rosenheim = -51 %; Würzburg = -26 %; Abbildung 8). Der gefundene Unterschied war statistisch signifikant (Mann-Whitney-U-Test; p < 0,001; r = 0,46).

Einfluss der Mäh- und Aufnahmetechnik

Der Mulchmähkopf mit Absaugung beförderte grundsätzlich die höchste Schadstoffmenge in das Mähgut. Im Mittel lagen die Werte um das 5,7-Fache (± 3,6) höher als beim Balkenmäher und um das 2,1-Fache (± 0,44) höher als für den Eco-Mähkopf. Beim Eco-Mähkopf dagegen lagen die Gehalte nur um das 2,6-Fache (± 1,4) höher als beim Balkenmäher.

Diskussion: Einordnung der Ergebnisse aus praktischer Sicht

Grenzwerte für konventionelle Bodenverbesserungsmittel (BioAbfV, DüMV, RAL-Gütesicherung) wurden für Schwermetalle nur in Ausnahmefällen überschritten (meist jedoch weit unterschritten) und für organische Schadstoffe nie überschritten. Seling & Fischer (2003) fanden eine ähnliche Unbedenklichkeit. Auch

die Literatursichtung lässt keine pauschale Einordnung von Straßenmähgut als übermäßigen Schadstoffträger zu. Die stets höheren Gehalte in bayerischen Kompostwerken, in denen aktuell selten Straßenbegleitgrün zum Einsatz kommt, stützen diese Interpretation. Selbst unter den strengeren Grenzwerten der Ökolandwirtschaft wäre Straßenbegleitgrün dieser Untersuchung ein unbedenkliches Dünge- und Bodenverbesserungsmittel. Dass Bioanbauverbände, wie Bioland, in ihren Richtlinien Komposte mit Material von Verkehrswegebegleitflächen ausschließen, liegt wohl an befürchteten Verunreinigungen durch Fremdstoffe oder Mikroplastik. Letzteres stammt zu einem Großteil aus dem Straßenverkehr (Abrieb von Asphalt, Bitumen, Fahrbahnmarkierungen und Reifen; Bertling et al. 2018).

Ein Einfluss der Verkehrsstärke war wie erwartet vorhanden, fiel jedoch geringer aus als vermutet. Bei Seling & Fischer (2003) ließen sich signifikante Einflüsse beispielsweise auch für die Elemente Cd, Hg, Ni, Pb und Pt finden. Dort wurde das Mähgut allerdings absaugend aufgenommen, was die stärkere Korrelation erklärt (Bodenpartikelaufnahme): Es ist klar belegt, dass vielbefahrene Begleitböden höhere Schwermetallgehalte aufweisen (Kocher 2008). Auch wenn mit Blick auf die Literatur vermutet werden kann, dass es weitere Einflussfaktoren gibt, kann der hohe Anteil an wenig befahrenden bayerischen Straßen dennoch ein maßgeblicher Vorteil für eine schadstoffarme Verwertung sein. Auch befindet sich ein ausgeprägtes Netz an Feld- und Wirtschaftswegen in Bayern, das meist nur von landwirtschaftlichen Fahrzeugen befahren wird und in Summe das größte Mähgutpotenzial aufweist (Dittmer 2023b). Eine ökologische Aufwertung von wenig befahrenen (oft kommunalen) Straßen und Wegen hat dabei den Vorteil, dass Tiere weniger wahrscheinlich in eine ökologische Falle durch vorbeifahrende Autos gelockt werden (Hoiß 2020), auf Gemeindeebene vielfältigere Verwertungswege sowie regionale Wertschöpfungsketten entstehen können (Dittmer 2023a) und, falls einmal taugliche Verwertungsanlagen vorhanden sind, auch Unterhaltspflichtige übergeordneter Straßenklassen Mähgut von ausgewählten Straßen abliefern könnten: Staats- und Bundesstraßen führen schließlich immer auch durch ein Gemeindegebiet.

Bezogen auf organische Schadstoffe muss festgehalten werden, dass gerade nach Unfällen und Treibstoffleckagen eine Verunreinigung von Böden, unabhängig von Verkehrsstärken, nie vollständig ausgeschlossen werden kann.

Schnittzeitpunkte sind ein wichtiger Indikator zum Abschätzen von Metallkonzentrationen im Mähgut aus Straßenbegleitgrün. Diese Erkenntnis gewannen bereits Seling & Fischer (2003), allerdings mit umgekehrten Verhältnissen: Der späte Schnitt (dort lediglich als „Herbstschnitt" bezeichnet) zeigte höhere Konzentrationen. In der vorliegenden Arbeit fand der zweite Schnitt aus Gründen des Projektzeitraums vermutlich deutlich früher statt, also vor einer maßgeblichen Remobilisierung von Nährstoffen. Da Schnittzeitpunkte die fachliche Eignung bestimmter Verwertungsformen maßgeblich prägen (Dittmer 2023a), können Konflikte mit ökologischen Pflegezeitpunkten (zum Beispiel begründet durch Insektenschutzaspekte oder Problempflanzenbekämpfung) auftreten. Dann gilt es umweltverträgliche Kompromisse zu finden.

Mähgut des Extensivbereichs (erster Schnitt) zeigte im Vergleich zum Intensivmähgut (zweiter Schnitt) deutlich reduzierte Metallgehalte. Da sich die vorliegende Arbeit an der praktischen Vorgehensweise Unterhaltspflichtiger orientierte und so auch das Aufwuchsalter der verglichenen Schnitte variierte, können die Effekte nicht allein auf die Entfernung zurückgeführt werden. Weil allerdings straßenfern weniger Schadstoffe im Boden zu finden sind und die Bodenaufnahme durch die Mäh- und Aufnahmetechnik eine erhebliche Rolle spielt, sollten Extensivbereiche von Straßen besonders für eine Verwertung geeignet sein: Hier sollten weniger Schadstoffe durch offenen Boden aufgenommen werden, die Aufwüchse sind meist höher, es befinden sich weniger Fremd- und Störstoffe im Aufwuchs und eine Erhöhung der Artenvielfalt führt zu geringeren Insektenverlusten durch vorbeifahrende Autos, da eine Pufferzone zur Straße besteht.

Der Mähkopf MULAG Eco 1200 plus ist dafür bekannt, durch eine spezielle Luftstromführung und sein Scheibenmähwerk weniger Insekten in das Mähwerk zu saugen (Steidle et al. 2022). Ähnliche Effekte konnten nun für die Aufnahme von Bodenpartikeln/Schadstoffen gezeigt werden. Die deskriptiven Unterschiede zwischen den Mäh- und Aufnahmetechniken zeichneten stets dasselbe Bild, während die gewaschenen Mähgut-Kontrollen den vermuteten Effekt stützen. Gleiches gilt für die indifferenten Metallgehalte im Boden der Untersuchungsplots. Bereits

Seling & Fischer (2003) konnten Einflusseffekte der Aufnahmetechnik feststellen. Gleiches gilt für die Einwerbung von landwirtschaftlichen Grünlandaufwüchsen (Thurner et al. 2017). Höhere Mähtiefen, welche ökologische Mähkonzepte zum Schutz von Tieren empfehlen (StMUV 2020), wären demnach auch ein Vorteil für Verwertungsstrategien, da Bodenunebenheiten weniger ins Gewicht fallen. Auch, dass gewaschenes Mähgut weniger Schadstoffe trägt, kann für künftige Verwertungsstrategien genutzt werden. Für den Maisch-Vorgang des IFBB-Verfahrens ist zum Beispiel bekannt, dass dieser Schadstoffe im Endprodukt reduziert (Piepenschneider et al. 2015). Die zusätzliche Aufnahme von Bodenstaub hängt dabei vermutlich stark von der Trockenheit ab. Im Untersuchungsjahr fielen im Würzburger Raum ausgesprochen wenig Niederschläge, weshalb vermutlich eine besonders hohe Menge an Schadstoffen zusätzlich aufgenommen wurde.

Danksagung

Das Projekt wurde durch Mittel des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BayStmELF) finanziert. Die Untersuchung von organischen Schadstoffen finanzierte die Landesbaudirektion Bayern (LBD). Dem Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (BayStMB) sowie dem Fachzentrum Analytik der LWG gebührt ein Dank für die Unterstützung bei der Planung und Umsetzung der Untersuchung.

Literatur

Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Stärk, H. J. et al. (2021): Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. – Environment International (146): 106233.

Bedoic, R., Cucek, L., Cosic, B. et al. (2018): Green biomass to biogas – A study on anaerobic digestion of residue grass. – Journal of Cleaner Production (213): 700–709.

Bertling, J., Bertling, R. & Hamann, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik – Kurzfassung der Konsortialstudie. – Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Hrsg.), Oberhausen.

Bergmann, W. (1989): Boden- und Umweltfaktoren, die die Mineralstoffaufnahme der Pflanzen beeinflussen – unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. – In: Behrens, D. U. & Wiesner, J. (Hrsg.) – Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden; Vorträge und Resümee zu einem Expertengespräch der Dechema-Arbeitsgruppe „Bewertung von Gefährdungspotentialen im Bodenschutz" in Oberursel/Ts., Frankfurt: 317–340.

Delafield, M. (2006): A practical trial to investigate the feasibility of wide-scale collection of cuttings from roadside verges in Powys, for use in biogas and compost production. – Living Highways Project, Abschlussbericht: 76 S.

Dittmer, L. (2023a): Mähgut verwerten, Arten schützen. Biodiversität im Straßenbegleitgrün fördern. – Flächenmanager (2): 78–81.

Dittmer, L. (2023b): Straßenmähgut in Biogasanlagen – Offene Potentiale nutzen? – Biogas Journal 5: 108–114.

Garcia, R., Millán, E. (1998): Assessment Of Cd, Pb and Zn Contamination In Roadside Soils And Grasses From Gipuzkoa (Spain). – Chemosphere 37(8): 1615–1625.

Hallberg, M., Renman, G., Lundbom, T. (2007): Seasonal Variations of Ten Metals in Highway Runoff and their Partition between Dissolved and Particulate Matter. – Water Air and Soil Pollution 181: 183–191.

Hoiß, B. (2020): Roadkill von Insekten. – Anliegen Natur 42(1): 99–102.

Kabata-Pendias, A. (2010): Trace Elements in Soils and Plants (4. Auflage). – CRC: Press. 505 S.

Karavin, N. & Batin, I. (2020): Resorption, mobilization and accumulation of metals in different parts of Vitis vinifera L. – Vitis 59: 105–109.

Katarzyna, K. & Rutkowska, B. (2018): Accumulation of selected heavy metals in soils and common dandelion (Taraxacum officinale) near a road with high traffic intensity. Soil Science Annual. 69: 11–16.

Kim, R.-Y., Yoon, J. K., Kim, T. S. et al. (2015): Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation – a critical review. – Environmental geochemistry and health 37(6): 1041–1061.

Kocher, B. (2008): Schadstoffgehalte von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung. – Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V: 167.

LfU (= Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015): Verwertung biogener Abfälle: Rückstände, Schadstoffgehalte und Hygieneparameter. – Augsburg: 71 S.

LfU (= Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022): Biogashandbuch Bayern – Kapitel 2.2.3. – Stand Februar 2022, Augsburg: 46 S.

Maillard, A., Diquélou, S., Billard, V. et al. (2015): Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. – Frontiers in Plant Science 6: 317.

Mason, P. E., Higgins, L., Barba, F. C. et al. (2020): An Assessment of Contaminants in UK Road-Verge Biomass and the Implications for Use as Anaerobic Digestion Feedstock. – Waste and Biomass Valorization 11: 1971–1981.

Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A. & Holm-Nielsen, J. B. (2014): Bioenergy production from roadside grass: A case study of the feasibility of using roadside grass for biogas production in Denmark. – Resources, Conservation and Recycling 93: 124–133.

Modlingerová, V., Száková, J., Sysalová, J. et al. (2012): The effect of intensive traffic on soil and vegetation risk element contents as affected by the distance from a highway. – Plant Soil and Environment 58: 379–384.

Piepenschneider, M., De Moor, S., Hensgen, F. et al. (2015): Element concentrations in urban grass cuttings from roadside verges in the face of energy recovery. – Environmental Science and Pollution Research 22: 7808–7820.

Seling, S. & Fischer, P. (2003): Schadstoffbelastung von Straßenbegleitgrün – I. Gehalte des Mähguts an Schwermetallen (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pt, Zn). – Müll und Abfall 6: 289–293.

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S. et al. (2017): Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. – Journal of Hazardous Material 325: 36–58.

Sternbeck, J., Sjödin, Å. & Andréasson, K. (2002): Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension – results from two tunnel studies. – Atmospheric Environment, 36(30): 4735–4744.

Steidle, J. L. M., Kimmich, T., Csader, M. et al. (2022): Negative impact of roadside mowing on arthropod fauna and its reduction with 'arthropod-friendly' mowing technique. – Journal of Applied Entomology 146(5): 465–472.

StMUV (= Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2020): Praxis-Handbuch für Bauhöfe: Kommunale Grünflächen – vielfältig – artenreich – insektenfreundlich. – München: 150 S.

StMB (= Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr; 2020): Ökologische Aufwertung von Straßenbegleitflächen entlang von Bundes- und Staatsstraßen in Bayern: 49 S.

Thurner, S., Scheiber, P., Hoffmann, D. et al. (2017): Betriebs-Monitoring: Vergleichende Untersuchung für die Einwerbung und Vergärung von Grünlandaufwüchsen – Teilprojekt „Verfahrenstechnik Grünlandernte". – Abschlussbericht: 75 S.

Ugwu, I. M., & Igbokwe, O. A. (2019): Sorption of Heavy Metals on Clay Minerals and Oxides: A Review. – Advanced Sorption Process Applications, IntechOpen.

Werner, M. (2014): Straßenmähgutprobe. – Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, mündliche Mitteilung.

Werkenthin, M., Kluge, B. & Wessolek, G. (2014): Metals in European roadside soils and soil solution – a review. – Environmental Pollution, 189: 98–110.

Yan, X., Zhang, F., Zeng, C. et al. (2012): Relationship between heavy metal concentrations in soils and grasses of roadside farmland in Nepal. – Int. J. Environ. Res. Public Health, 9(9): 3209–3226.

Zehm, A., Muhr, S., Wenzel, M. et al. (2020): Ökologische Aufwertung von Straßenbegleitgrün – eine Chance, nicht nur für den Biotopverbund. – Anliegen Natur 42(2): 41–46; www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an42220zehm_et_al_2020_strassenbegleitgruen.pdf.

Zechmeister, H. G., Hohenwallner, D., Riss, A. et al. (2005): Estimation of element deposition derived from road traffic sources by using mosses. – Environmental Pollution 138 (2): 238–249.

Autor

Lennart Dittmer
Jahrgang 1992

Studium der Geoökologie in Bayreuth. Seit 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der LWG. Zunächst zur Mitentwicklung von spätblühenden Blühmischungen zur Biogasproduktion, seit 2022 zur Verwertung von Mähgut aus Straßenbegleitgrün.

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Institut für Stadtgrün und Landschaftsbau
lennart.dittmer@lwg.bayern.de

Zitiervorschlag

Dittmer, L. (2024): Mähgut aus Straßenbegleitgrün – Ein Schadstoffträger? – Anliegen Natur 46(2): 141–152, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.