


Verteilung und Zusammensetzung von Abfall in ländlichen Gebieten

Ralph L. Stoop ¹, Markus Sax¹ und Thomas Anken¹


Abstract: Achtlos liegengelassene oder weggeworfene Gegenstände („Littering“) wie Verpackungen, Flaschen, Alu-Dosen usw. stellen nicht nur eine Gefahr für Ökosysteme dar, sondern auch für die Landwirtschaft. Um Littering in der ländlichen Schweiz besser zu verstehen, haben wir mit Drohnen und Smartphones RGB-Farbbilder entlang verschiedener Straßenabschnitte gesammelt. Unsere ersten Analysen deuten darauf hin, dass in Schweizer Landwirtschaftsgebieten die Abfalldichte relativ gering ist, im Bereich von ca. 0,02-0,11 Abfallgegenstände/Straßenmeter (Zigaretten ausgenommen). Außerdem finden wir ein starkes Abfallen der Abfalldichte nach den ersten zwei Metern orthogonal zum Straßenrand. Unsere vorläufigen Resultate, insbesondere die Dichte und räumliche Verteilung der Gegenstände, weisen darauf hin, dass in landwirtschaftlichen Gebieten ein automatisches Aufnehmen vor dem Grünschnitt des Seitenstreifens ausreichend ist.

Keywords: Littering, Unrat, Abfalldichte, Abfallverteilung

1 Einleitung

Achtlos liegengelassene oder weggeworfene Gegenstände (Unrat, im Folgenden „Littering“ genannt) wie Verpackungen, Flaschen, Alu-Dosen usw. sind vielerorts entlang von Straßenrändern, Banketten und Böschungen anzutreffen [Ba23]. Dort stellen sie nicht nur eine Gefahr für Ökosysteme dar [Sk23], sondern auch für die Landwirtschaft [Sb23]. Immer wieder verletzen sich Nutztiere wie Kühe und Schafe an den spitzen Rückständen von Abfallobjekten, welche den Weg ins Futtermittel finden. Im schlimmsten Fall führt dies sogar zum qualvollen Tod des Tieres. Zusätzlich beeinträchtigt herumliegender Abfall im ländlichen Raum die Wahrnehmung der Natur stark, was sich gerade in touristischen Gebieten ökonomisch niederschlagen kann [Sw12] (siehe z. B. [Ja14] und [Ke17] für entsprechende Abschätzungen für Küstengebiete). Um die negativen Auswirkungen von Littering zu minimieren, wird unsachgemäß entsorgter Abfall in der Regel mit großem zeitlichen und finanziellen Aufwand manuell eingesammelt, da es zurzeit erstaunlicherweise noch keine kombinierten, automatisierten Erkennungs- und Einsammelsysteme gibt.

¹ Agroscope, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz, ralph.stoop@agroscope.admin.ch,

 <https://orcid.org/0000-0002-5138-8020>, markus.sax@agroscope.admin.ch,
thomas.anken@agroscope.admin.ch

In diesem Beitrag wollen wir das Phänomen Littering besser verstehen, um aus den gewonnenen Erkenntnissen den konzeptionellen Entwurf eines Einsammelsystems voranzutreiben. Insbesondere wollen wir wissen, welche typischen Abfalldichten im ländlichen Raum der Schweiz anzutreffen sind, und wie die Abfallgegenstände verteilt sind (entlang bzw. orthogonal zum Straßenverlauf). Außerdem wollen wir einen ersten Einblick in die Art des Abfalls (z. B. Getränkedosen, Plastikverpackungen, Papier usw.) erhalten, um besser einschätzen zu können, welche Anforderungen ein zukünftiges Sammelsystem erfüllen sollte.

Wir haben mit Drohnen (unmanned aerial vehicles, UAVs) und Smartphones hochauflösende RGB-Farbbilder entlang verschiedener Straßenabschnitte gesammelt. Nach entsprechendem Annotieren (manuelles Lokalisieren und Klassifizieren der Abfallobjekte in den Bildern) schätzen wir aus den Bildern die örtliche Verteilung und die Zusammensetzung von Littering ab. Zudem dienen die Bilder auch als Datensatz für das Trainieren eines künstlichen neuronalen Netzes in einer laufenden Arbeit.

Erste Analysen weisen darauf hin, dass die Abfalldichte in Schweizer Landwirtschaftsgebieten relativ gering ist: Mit Ausnahme von Zigaretten(stummeln) im Bereich von ca. 0,02-0,11 (Durchschnitt 0,09) Abfallgegenstände pro Straßensegment. Zudem finden wir ein starkes Abfallen der Abfalldichte nach den ersten zwei Metern orthogonal zum Straßenrand, wobei insbesondere scharfkantige Gegenstände wie Getränkedosen gerade häufig im mittleren Bereich (1-2 m) vorkommen. Unsere bisherigen Resultate, insbesondere die geringe Dichte und begrenzte räumliche Verteilung der Gegenstände, deuten darauf hin, dass in landwirtschaftlichen Gebieten ein gezieltes Erkennen und Einsammeln des Abfalls vor dem Schnitt des Seitenstreifens sinnvoll ist.

2 Methoden

Aufnahmen von Abfallgegenständen wurden entlang verschiedener Streckenabschnitte der Schweizer Kantone Aargau, St. Gallen, Thurgau und Zürich erstellt. Dabei wurden zum einen Aufnahmen mittels UAVs erstellt, zum anderen direkt beim Entlanglaufen der Straße mittels Smartphone-Kamera.

2.1 UAV-basierte Bildaufnahmen

Wir benutzen die Matrice 300 RTK (DJI, Shenzhen, China) UAV mit einer Zenmuse P1 RGB-Kamera (DJI, Shenzhen, China) und dem dazugehörigen 50-mm Objektiv, um hochaufgelöste Bilder von Littering-Situationen zu erheben, wie in Abbildung 1a schematisch dargestellt. Zur Flugplanung benutzen wir DJI Pilot, jedoch wurden einzelne Abschnitte auch manuell geflogen. Die Flughöhe beträgt zwischen 15-20 m und insgesamt wurde eine Gesamtstrecke von ca. 1,6 km, aufgeteilt auf vier Strecken mittels Drohnen untersucht. Insgesamt wurden 172 überlapp-bereinigte Bilder aufgenommen. Da jeweils lineare Flüge entlang der Straße durchgeführt wurden und die Breite des Drohnen-

Footprints ca. 10 m beträgt, konnten somit Daten einer Fläche von ca. 1,6 ha gesammelt werden.

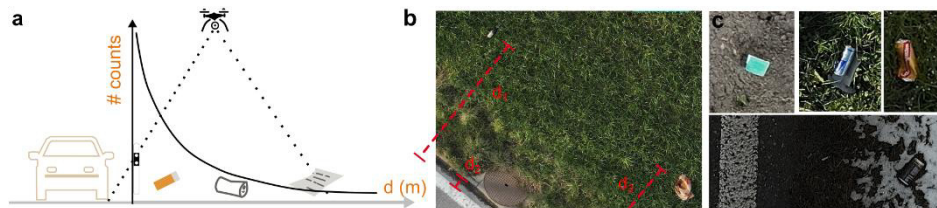


Abb. 1: a. Mittels UAV wird die Abfallverteilung entlang (nicht symbolisiert) und orthogonal zur Straße („orthogonale Distanz“ d) charakterisiert. b. Dabei wird die Strecke für jeden Gegenstand grob durch das Bild abgeschätzt. c. Resultierende Bilder der Abfallstücke

2.2 Aufnahmen per Smartphone

Um weitere Daten zur Abfallverteilung zu erhalten, haben wir zusätzliche Bilder vom Straßenrand per Smartphone gesammelt. Im Vergleich zu Drohnenaufnahmen liegt der Vorteil dieser Methode in der sehr viel einfacheren Ausführung und effizienteren Analyse der Bilder, da sich in jedem Bild mindestens ein Abfallgegenstand befindet und deshalb leicht bestimmt werden kann. Auf einem Streckenabschnitt von 350 m wurden so 33 Bilder aufgenommen. Dies entspricht einer untersuchten Fläche von ca. 0,14 ha.

2.3 Bestimmung der Abfallverteilung und Abfallzusammensetzung

Von den insgesamt 205 Bildern wurden bisher 162 annotiert und ausgewertet, was einer Gesamtfläche von ca. 1,2 ha entspricht. Die Distanz vom Abfall-Objekt zum Straßenrand (orthogonaler Abstand d , Abb. 1a) schätzen wir direkt aus dem Einzelbild. Obwohl die genaue Messung des orthogonalen Abstandes aus den Bildern nur mittels Fotogrammetrie möglich ist, erlauben die bekannten Größen typischer Abfall-Objekte (wie z.B. Getränke-Dose, Zigarettenstummel, etc.) eine grobe Abschätzung des Abstandes aus dem Einzelbild, wie in Abbildung 1b dargestellt. Dabei wird der Skalierungsfaktor durch die bekannte Größe des Objektes abgeschätzt und dann auf die Distanz des Objektes zum Straßenrand angewandt. Zusätzlich wurden einige Kontrollmessungen mit Messband getätigt. Wir sind jedoch prinzipiell nur an einer m-Genauigkeit (Bereich $\pm 0,5\text{m}$) interessiert und begnügen uns deshalb mit relativ groben Schätzungen.

Die resultierende Bildqualität erlaubt in den meisten Fällen eine klare Zuweisung zu den Klassen „Getränkedose, Flasche, Verpackung, Zigarette, Papier/Karton, Übrige“, siehe Abbildung 1c. Eine Ausnahme bilden hier Zigarettenstummel, welche aufgrund ihrer geringen Größe nur auf versiegelten Flächen gut erkennbar und im hohen Gras oft schwierig zu entdecken sind. Unsere gefundenen Werte entsprechen deshalb einer

konservativen Schätzung – die tatsächliche Anzahl von Zigarettenstummel würde wahrscheinlich höher ausfallen.

3 Resultate und Diskussion

3.1 Abfallverteilung

Die Abfallverteilung orthogonal zum Straßenrand ist in Abbildung 2a dargestellt. Um den relevanten Bereich abschätzen zu können, benutzen wir einen exponentiellen Abfall $N(d)$,

$$N(d) = N_0 e^{-d/l}$$

wobei l die charakteristische Distanz des Abfalles darstellt und N_0 die Anzahl der Gegenstände direkt am Straßenrand ($d = 0$). Da unser Datensatz hauptsächlich durch die Anzahl der gefundenen Zigaretten (565 Stück) bestimmt ist, stellen wir die Abfallverteilung mit und ohne Zigaretten getrennt dar. Dies ist auch aus Sicht eines zukünftigen automatischen Einsammelsystems sinnvoll, da dieses die unterschiedlichen Gefahrenpotenziale des Abfalls miteinbeziehen muss. Wir finden, dass die Verteilung des Abfalls mit einem exponentiellen Abfall mit einer charakteristischen Distanz von 0,4 m bzw. 1,3 m (mit Zigaretten, Inset Abb. 2a, bzw. ohne Zigaretten, Abb. 2a) vernünftig beschrieben wird. Unsere Resultate zeigen auf, dass der erste Meter hauptsächlich durch Zigaretten verunreinigt ist, dass aber größere Abfallgegenstände auch weiter von der Straße entfernt (bis ca. 3 m) weiterhin relativ häufig sind, wobei auch deren Dichte exponentiell abfällt.

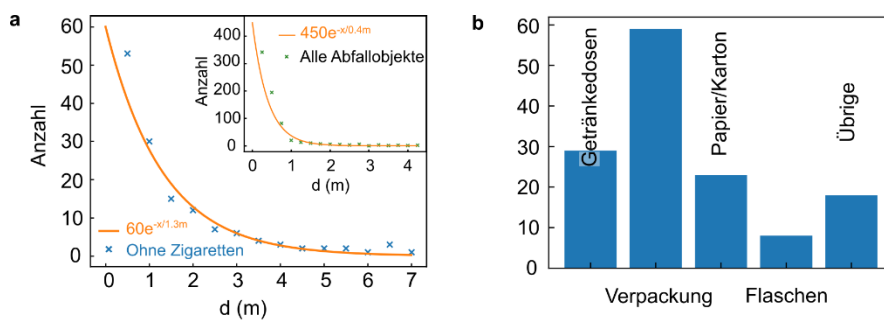


Abb. 2: a) Verteilung der Abfallgegenstände bezüglich dem orthogonalen Abstand d vom Straßenrand, b) Abfallzusammensetzung

Entlang der Straße wurden relativ geringe Abfalldichten in den untersuchten Gebieten gefunden, mit Werten von 0,02 bis 0,11 Abfallgegenstände pro Straßenmeter (ohne Zigarettenstummel), wobei der Durchschnitt bei ca. 0,09 lag (d. h. ca. alle 10 Straßenmeter ein Gegenstand). Allerdings gilt hier zu beachten, dass die Aufnahmen typischerweise bei eher stärker verschmutzten Streckenabschnitten gemacht wurden, um genügend Daten für

die orthogonale Verteilung (Abb. 2) sammeln zu können. Die tatsächliche Dichte im ländlichen Raum der Schweiz könnte also sogar noch etwas geringer sein (im Bereich 0,02 Abfallgegenstände pro Straßenmeter). Glücklicherweise scheint Littering im ländlichen Raum (im Gegensatz zum urbanen Raum) in der Schweiz eine relativ schwache Ausprägung zu haben, welche sich auf wenige „Hotspots“ konzentriert, typischerweise Ortsausgang und nach Fastfood/Take-Away-Möglichkeiten. An diesen Stellen sind punktuell durchaus deutlich höhere Dichten zu erwarten, abhängig von dem Wochentag (Wochenende/Veranstaltungen) und der Reinigungshäufigkeit.

Die Verteilung der verschiedenen Abfallarten ist in Abbildung 2b dargestellt, wobei wiederum Zigaretten ausgenommen sind, um den Vergleich einfacher zu gestalten. Wenig erstaunlich sind Überreste verschiedenster Verpackungsarten die am häufigsten angetroffene Abfallart. Diese Klasse enthält mehrheitlich Verpackungen aus Plastik/Kunststoff, kann aber nicht immer klar von der Klasse Papier/Karton unterschieden werden, da Verpackungen häufig aus Zusammensetzungen dieser Materialien bestehen. Bezüglich landwirtschaftlichem Gefahrenpotenzial können wir Getränkedosen aus Aluminium als die am stärksten verbreitete Abfallart identifizieren, mit großem Vorsprung auf (Glas)Flaschen, welche nur sehr selten anzutreffen waren.

Aufgrund der vorläufig beobachteten geringen Dichte stellen wir ein kontinuierliches, streifenweises Aufsaugen des gesamten Grünbereichs in Frage, mit Ausnahme von Hotspots mit sehr starker Verschmutzung in den ersten 1-2 Streifen (bis ca. 1,5 m vom Straßenrand entfernt). Bei geringer Abfalldichte könnte sich ein punktuell Aufsaugen empfehlen, welches nur verschmutzte Flächen absaugt. Dies wäre über ein vorangebrachtes Erkennungssystem (z. B. eine Kamera mit Edge-Device zur automatischen Erkennung) zu realisieren, welches bei vorhandenem Littering die Saugfunktion des Grünpflegekopfs einschaltet. Dies würde zu einer Schonung von Kleinstlebewesen führen und gleichzeitig das manuelle Aufsammeln von Abfall minimieren. Zudem könnten die Daten des Erkennungsmoduls zur Zustandsanalyse bzw. Qualitätskontrolle verwendet werden.

4 Schlussfolgerung

Unsachgemäß entsorgter Abfall stellt aufgrund seines hohen Gefahrenpotenzials für die Landwirtschaft und seines schädlichen Einflusses auf die Umwelt und Landschaftswahrnehmung eine große Herausforderung dar. In urbanen Räumen bilden bereits heute automatische Erkennungssysteme eine wichtige Stütze [Co23], in der ländlichen Schweiz scheinen solche Systeme jedoch noch nicht etabliert zu sein. Ein Grund dafür könnten die relativ niedrigen Abfalldichten entlang der Straße sein im Einklang mit unserem (nicht repräsentativen) Datensatz (Dichte zwischen 0,02-0,11 Gegenstand pro Straßenmeter, d. h. alle 9-50 m ein Abfallobjekt). Nichtsdestotrotz stellt auch diese Art der Verschmutzung ein Problem dar, da in ländlichen Gebieten auch deutlich weniger häufig der Straßenrand gereinigt werden kann. Für die Zukunft schlagen

wir ein automatisiertes Aufnahmeverfahren vor, welches nur punktuell (bei gegebener Verunreinigung) absaugt und damit nur die relevanten Flächen behandelt. Die automatische Erkennung bildet dabei ein wichtiges Element, welches den Luftstrom des Grünpflegekopfs intelligent steuert, und steht im Zentrum zukünftiger Bemühungen. Wir sind überzeugt, dass ein solches intelligentes Verfahren auch Kleinstwesen schont und somit einen Beitrag zur Biodiversität leisten wird.

Literaturverzeichnis

- [Ba23] BAFU – Schweizerisches Bundesamt für Umwelt - Littering, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/littering.html>, Stand: 23.10.2023.
- [Co23] Cortexia SA, Take control of your City's Cleanliness, www.cortexia.ch, Stand: 23.10.2023.
- [Ja14] Jang, Y. C. et al.: Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea, *Marine Pollution Bulletin*, 81, S. 49-54, 2014.
- [Ke17] Krelling, A. P., Williams, A. T. and Turra A.: Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas, *Marine Policy*, 85, S. 87-99, 2017.
- [Sb23] SBV, schweizerischer Bauernverband, <https://www.sbv-usp.ch/de/littering>, Stand 23.10.2023.
- [Sk23] Sklodowski J.: To litter or not to litter that is the question, or the impact of tourist litter pollution on the macrofauna, *Applied Soil Ecology*, 190, 105022, 2023.
- [Sw12] Swiss Info, Switzerland comes clean on its obsession, https://www.swissinfo.ch/eng/myth-or-reality-_switzerland-comes-clean-on-its-obsession/33472792, Stand: 24.10.2023.