

GIS2MP: Ein GIS-Tool zur Identifizierung und Priorisierung von Reifenabrieb-Hotspots

Peter Marcus Bach^{1,2}, Simone Lechthaler³, André Biskup⁴, Natalia Duque Villarreal², Adrian Sigrist³, Michael Burkhardt² & Philipp Krass⁴

¹ Ostschweizer Fachhochschule OST, Institut für Umwelt und Verfahrenstechnik (UMTEC), Rapperswil 8640, Schweiz

² EdenCT, Dübendorf 8600, Schweiz

³ Hunziker Betatech AG, Zürich 8001, Schweiz

⁴ Ostschweizer Fachhochschule OST, Institut für Raumentwicklung (IRAP), Rapperswil 8640, Schweiz

Kurzfassung: Der Eintrag von Reifenabrieb als Mikroplastikquelle stellt eine bedeutende Umweltherausforderung dar. Um dieser Herausforderung entgegenzuwirken, hat das Projekt GIS2MP ein geografisches Informationssystem (GIS) zur räumlichen Identifizierung und Priorisierung von Reifenabrieb-Hotspots auf Schweizer Strassen entwickelt. Mittels Multikriterien-Entscheidungsanalyse (GIS-MCDA) wurden 28 Kriterien aus fünf Kategorien (Strassen, Klima, Gewässer, Ökologie, Mensch) integriert. Das Tool wurde für die Kantone Thurgau und St. Gallen getestet. Es demonstriert die Funktionalität für eine nachhaltige Strassenraumplanung: die Ergebnisse zeigen eine deutliche räumliche Variabilität mit Hotspots entlang von Autobahnen und in gewässernahen Gebieten. Einen starken Einfluss auf diese Hotspots weisen Strassen- und Gewässercharakteristiken auf. Eine vertiefte Analyse ermöglicht auch Untersuchungen, die mehr auf die Gemeinde- und Gebietsebene fokussiert sind, indem ortsspezifische Gewichtungen und Präferenzen von Behörden und Planenden festgelegt werden. Mithilfe einer ersten Visualisierung in einem WebGIS-Prototyp kann eine evidenzbasierte Priorisierung von Massnahmen zum Schutz sensibler Ökosysteme erstellt werden.

Key-Words: Mikroplastik, Umweltinformationssystem, GIS-MCDA, Strassenabwasser, Schadstoffe

1 Einleitung

Der Eintrag von Mikroplastikpartikeln (MP) in die Umwelt ist aufgrund potenzieller negativer Auswirkungen auf Flora und Fauna sowie die Funktionalität von Ökosystemen eine wichtige Thematik (Österlund *et al.*, 2023). Eine essenzielle Quelle für die Entstehung von MP sind Reifen- und Strassenabriebpartikel (engl. Tyre & Road Wear Particles - TRWP). Da Reifen auch aus synthetischen Polymeren bestehen, wie

Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) oder Butadien Kautschuk (BR), zählt Reifenabrieb zur Kategorie von MP (Baensch-Baltruschat *et al.*, 2020). Er entsteht durch die Reibung auf der Fahrbahnoberfläche und kann von dort in aquatische, terrestrische und atmosphärische Umweltbereiche eingetragen werden. Durch einen Umwelteintrag können einerseits im Reifen enthaltene Additive, wie Vulkanisierungs- oder Antioxidationsmittel, freigesetzt werden, oder andererseits Schadstoffe an Reifenabriebpartikel anlagern, die somit als Schadstoffcarrier funktionieren (Lechthaler *et al.*, 2023). Anhand von Laborstudien konnten zahlreiche Effekte von Reifenabriebpartikeln aufgezeigt werden: Mortalität, Teratogenität, endokrine Störungen und Genotoxizität (Bergmann *et al.*, 2024). Dem Stoff 6PPD-Quinone, ein Transformationsprodukt eines Antioxidants, konnte bereits in geringsten Konzentrationen nachgewiesen werden, dass er für die Mortalität von Coho-Lachsen in Gewässern verantwortlich ist (Tian *et al.*, 2021).

Reifenabriebpartikel tragen erheblich zu den nicht abgasbedingten Emissionen bei: in Norwegen und Dänemark umfassen sie mehr als 50% und in Deutschland ungefähr 30% der gesamten MP-Emissionen. Jährlich fallen in Europa rund 1.3 Millionen Tonnen Reifenabrieb an (Baensch-Baltruschat *et al.*, 2020). Aufgrund der Menge an Reifenabrieb, des Umwelteintrags und der ökotoxikologischen Relevanz der Additive ist insbesondere das Verständnis zur Entstehung, dem Transport und Verbleib (*Source-Pathway-Receptor-Model, SRP-Model*) essentiell für eine methodische Basis, auf der zukünftige Forschung und Risikobewertungen aufgebaut werden können (Waldschläger *et al.*, 2020).

In der Schweiz wurde Reifenabrieb 2023 als weitaus mengenmässig wichtigste MP-Quelle identifiziert (Der Bundesrat, 2023). An diese Ausgangslage und Fragestellungen knüpft das Forschungsprojekt „GIS2MP“ an und umfasst die nachfolgenden Aspekte:

- Die Berücksichtigung von Systemen, die an Strassen angrenzen und sich in unmittelbarer Umgebung befinden.
- Die Notwendigkeit zur Priorisierung und Gewichtung von Daten aufgrund hoher und umfassender Verfügbarkeit.
- Die holistische Betrachtung zur Identifikation von möglichen Problembereichen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines GIS-Tools (GIS = geographisches Informationssystem) zur Kartierung und Charakterisierung von Reifenabrieb-Hotspots auf Schweizer Strassen. Das Planungstool soll dazu dienen, die Umweltexposition durch Reifenabrieb im Strassenraum besser abschätzen zu können, um Massnahmen gezielter zu planen und umzusetzen sowie insbesondere sensible Ökosysteme vor Reifenabriebeintrag zu schützen. Der konzeptionelle Ansatz soll auf weitere Themengebiete anpassbar sein.

Nachfolgend werden das methodische Vorgehen und die Datencharakterisierung für das Untersuchungsgebiet vorgestellt und die Ergebnisse diskutiert.

2 Konzept

Das methodische Fundament des GIS2MP-Tools bildet eine räumliche Multikriterien-Entscheidungsanalyse (GIS-MCDA), die es ermöglicht, die Komplexität der Reifenabrieb-Problematik in einem integrierten Bewertungsrahmen abzubilden (Malczewski and Rinner, 2015). Solch ein Ansatz wird oft in der räumlichen Hotspot- und Eignungsanalyse verwendet, wo ein ganzheitlicher Überblick notwendig ist und viele Kriterien aus mehreren unterschiedlichen Disziplinen einen Einfluss auf die Entscheidung ausüben (z. B. Kuller *et al.*, 2019 für Blau-grüne Infrastrukturen; Mubeen *et al.*, 2021 für Überflutungsrisiko). Dieser Ansatz ist auch für Reifenabrieb geeignet, da dessen Entstehung, der Transport und die Auswirkungen (SRP-Modell) von Reifenabrieb durch ein Zusammenspiel verschiedener Faktoren bestimmt werden, die nicht isoliert betrachtet werden können. Das Konzept des GIS2MP Projekts ist in Abb. 1 veranschaulicht und beinhaltet folgende Schritte:

- Datenrecherche und öffentliche Verfügbarkeit (für schweizweite Anwendung)
- Verschneidung und Festlegung ausgewählter Daten
- Anwendung auf Modellregion: räumliche Analyse
- Gewichtung und Auswertung inkl. Validierung durch lokale Untersuchungen

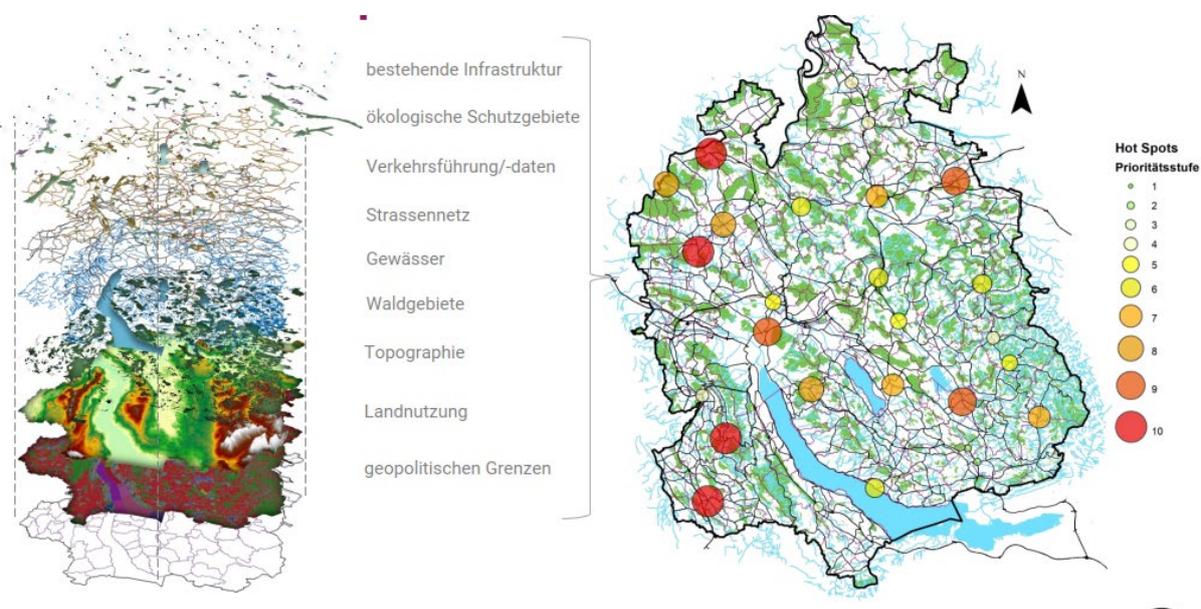


Abbildung 1: Überblick des methodischen Vorgehens des GIS2MP-Tools.

2.1 Methodisches Vorgehen

Die Entwicklung des Kriterienkatalogs erfolgte durch eine systematische Literaturanalyse und Expertenkonsultationen. Räumlichen Kartierungen und Analysen von Reifenabrieb sowie MP sind nur geringfügig in der Literatur verfügbar (z. B. Unice *et al.*, 2019; Steiner, 2020). Dennoch können wichtige Kriterien zu Entstehung, Transport und Auswirkungen aus bestehender Literatur identifiziert werden. Mit der

GIS-MCDA als Basisansatz, können diverse Eigenschaften, die in Zusammenhang mit Reifenabrieb stehen, berücksichtigt werden. Insgesamt wurden 28 Kriterien identifiziert und in fünf thematischen Gruppen strukturiert (siehe Abb. 2):

1. **Strasse (6 Kriterien):** Strassen bestimmen das Fahrverhalten (z.B. Geschwindigkeit, Kurven, Bremsverhalten), Verkehrsvolumen und Eigenschaften, die zur Entstehung von Reifenabrieb beitragen können.
2. **Klima (3 Kriterien):** Es beeinflusst die Entstehung (durch Temperatur) und Deposition (durch Wind und Wasser) von Reifenabrieb.
3. **Gewässer (7 Kriterien):** Gewässer sind einerseits Schutzgüter und andererseits für den Weitertransport von Reifenabrieb relevant.
4. **Ökologie (6 Kriterien):** Sie umfasst den Schutz der Biodiversität und bezieht sich auf die terrestrische und aquatische Flora und Fauna.
5. **Mensch (6 Kriterien):** Der Schutz der menschlichen Gesundheit.



Abbildung 2: Kriterien Übersicht für die Kartierung und Quantifizierung von Reifenabrieb-Hotspots durch den GIS-MCDA Ansatz.

Für diese 28 Kriterien sind schweizweit digitale Daten verfügbar. Die Umsetzung des GIS-MCDA erforderte die Integration zahlreicher Geodatenätze aus nationalen und kantonalen Quellen wie swissTLM3D, swissAlti3D und OpenStreetMap. Primäre Datenquellen waren folgende:

- **Strassennetz und Areale:** Bundesamt für Landestopografie mit OpenStreetMap und swisstopo (punktuelle, lineare und polygonale Daten)
- **Umweltdaten:** Bundesamt für Umwelt (BAFU) für Gewässer- und Naturschutzgebiete (lineare und polygonale Daten)
- **Klimadaten:** MeteoSchweiz für räumlich interpolierte Niederschlags-, Temperatur- und Winddaten (Rasterdaten)
- **Demographische Daten:** Bundesamt für Statistik (BFS) für Bevölkerungsstatistiken (Rasterdaten)

Die räumliche Analyse erfolgte mittels etablierter GIS-Operationen. Bei der Datenvorbereitung wurden verschiedene Datensätze auf ein einheitliches Koordinatensystem harmonisiert (CH1903+ / LV95). Das Strassennetz wurde als Basisgeometrie für die Verschneidung verwendet. Kriterienwerte wurden zu den einzelnen Strassenachsen (MultiLineStrings) durch wesentliche räumliche Verschneidungen zugewiesen (siehe Abb. 3), sodass die Eigenschaften der 28 Kriterien auf die Strassenachsen übertragen werden konnten.

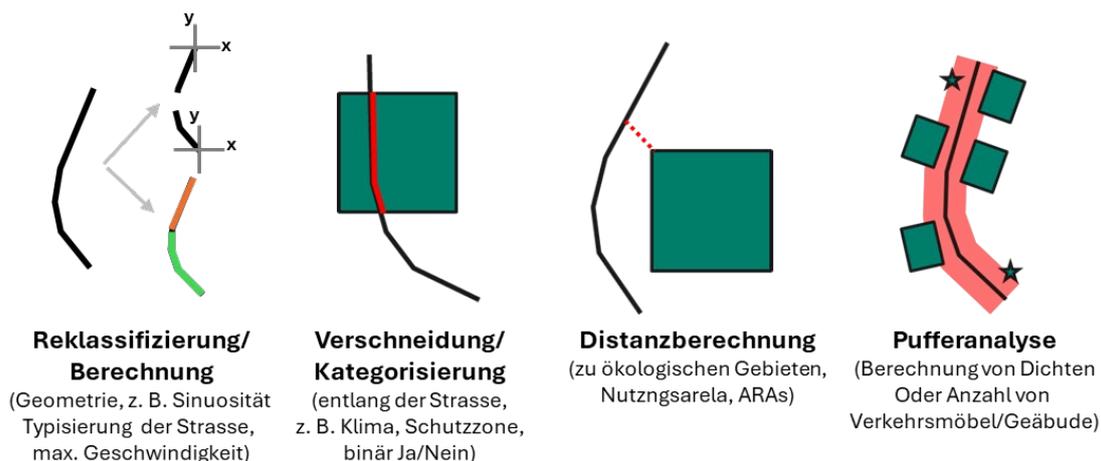


Abbildung 3: Zusammenfassung der unterschiedlichen räumlichen Analysen zwischen dem Strassennetz als Basisgeometrie und alle 28 Kriterien.

Die Transformation der heterogenen Kriterienwerte in eine einheitliche Bewertungsskala erfolgte durch lineare Werteskalierungsfunktionen, die für jedes Kriterium individuell definiert wurden. Die Skalierung basiert auf wissenschaftlicher Literatur und Expertenwissen, wobei Werte zwischen 0 (minimaler Beitrag zum Hotspot) und 100 (maximaler Beitrag) normiert wurden. Für die Aggregation der Einzelkriterien wurde ein gewichtetes additives Modell verwendet und als Hotspot-Score berechnet:

$$\text{Hotspot-Score} = \sum (w_i \times v_i)$$

wobei w_i das Gewicht und v_i der normierte Wert des Kriteriums i darstellt.

Mit der Berechnung des Hotspot-Scores können Strassen entsprechend der räumlichen Einteilung verglichen und für die Massnahmenentwicklung priorisiert werden.

3 Fallstudien und Implementierung

3.1 Untersuchungsgebiete

Das entwickelte GIS-Tool wurde mit Daten des Kantons Thurgau (TG) und des Kantons St. Gallen (SG) getestet (siehe Abb. 4). Der Kanton Thurgau umfasst 80 Gemeinden mit etwa 300'000 Einwohnern und einem Strassennetz von über 3'000 km Länge (15'145 Strassenachsen). Der Kanton repräsentiert einen mittelgrossen, ländlich geprägten Raum mit bedeutenden Verkehrsachsen und vielfältigen Gewässersystemen (auch Zugang zum Bodensee). Der Kanton St. Gallen ist ein grösserer Kanton mit urbaneren Zentren und alpinen Regionen und bietet komplementäre Testbedingungen zur Auswertung der Übertragbarkeit des Ansatzes mit 75 Gemeinden, über 500'000 Einwohner und über 4'500 km Strassenlänge (in 20'249 Strassenachsen).

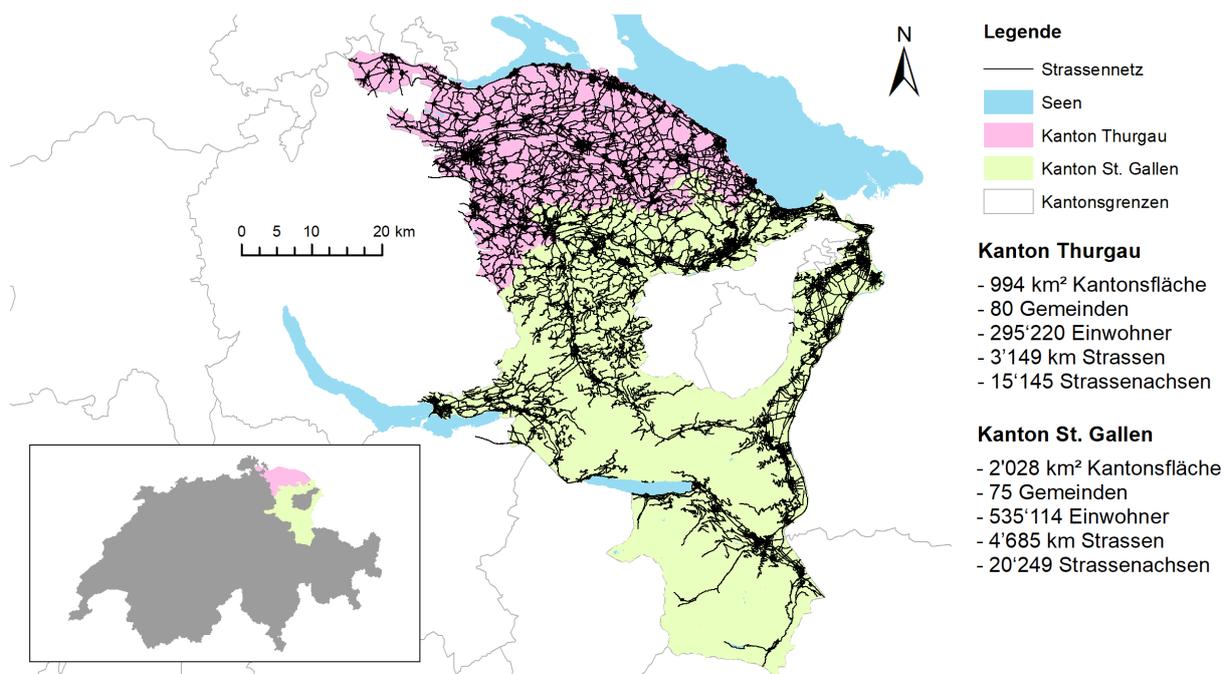


Abbildung 4: Überblick der Untersuchungsgebiete für das GIS2MP-Tool, Kantone Thurgau und St. Gallen mit abgebildete Strassennetze.

3.2 Modellaufbau

GIS-Daten der beiden Kantone wurden separat ins GIS-Tool eingefügt und ausgewertet. In einem ersten Schritt wurde eine einfache Auswertung mit gleichwertiger Gewichtung auf Kantonebene durchgeführt und anschliessend auf Kantons- und Gemeindeebene für die einzelne Kriterienengruppen evaluiert.

Die Wertskalierung wurde aufgrund des Expertenwissens des Forschungsteams beurteilt. Eine Verfeinerung der Kartierung sowie Berücksichtigung einer

Sensitivitätsanalyse sind zusammen mit Stakeholdergruppen des Kantons geplant, um individuelle Priorisierung und Situationsgegebenheiten zu berücksichtigen. Dennoch kann bereits anhand der ersten Ergebnisse ein Massstab der räumlichen Verhältnisse gesetzt werden und als Vergleich mit abweichenden Präferenzen durch Entscheidungsträger unter den Kantonen benutzt werden. Diese erste Anwendung des Tools kann auch die Sensitivität der einzelnen Strassenachsen gegenüber den 28 Kriterien ermitteln und den Einfluss gewisser Faktoren auf das Verteilungsmuster der Reifenabrieb-Hotspots identifizieren.

4 Ergebnisse

4.1 Räumliche Verteilung der Hotspots

Die Anwendung des GIS2MP-Tools auf die Kantone Thurgau und St. Gallen präsentiert ausgeprägte räumliche Muster in der Verteilung von Reifenabrieb-Hotspots. Im Kanton Thurgau konzentrieren sich die höchsten Hotspot-Scores entlang der Hauptverkehrsachsen, insbesondere der Autobahn A7, sowie in den nördlichen Gebieten nahe dem Bodenseeufer. Diese Konzentration erklärt sich durch das Zusammentreffen mehrerer kritischer Faktoren: hohe Verkehrsbelastung, Nähe zu sensiblen Gewässerökosystemen und dichte Besiedlung.

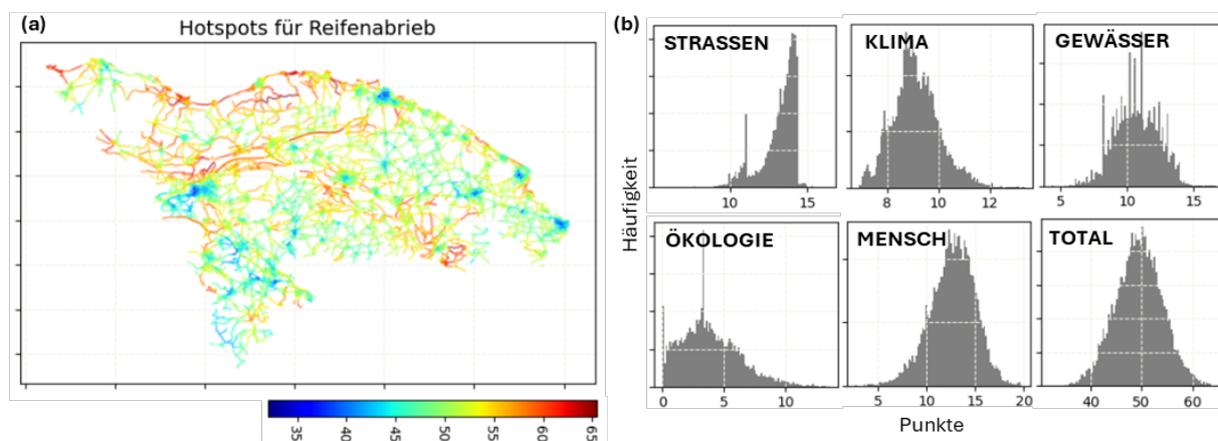


Abbildung 5: Demonstration des GIS-Tools zur Kartierung der Reifenabrieb-Hotspots für den Kanton Thurgau anhand gleichmässiger Gewichtung und Beurteilung nach dem Expertenwissen des Forschungsteams, (a) Output des GIS-Tools mit Einfärbung nach Gesamtpunktzahl (Hotspots), (b) Verteilung der Punktzahl über alle Strassenachsen gemäss der 5 Kriteriengruppen und Gesamtpunktzahl.

Die unterschiedlichen Verteilungsmuster der einzelnen Kriteriengruppen in Abb. 5b zeigt, dass die Kriteriengruppen Strassen und Mensch einen grösseren Einfluss auf die Gesamtpunktzahl haben und Gewässerkriterien sehr lokale Hotspots aufweisen. Ökologie und Klima sind in der Auswertung weniger präsent, was an die geringe

räumliche Variabilität des Klimas im Kantonsgebiet und eine hohe Distanz zwischen Strassen und ökologische Gebiete gekoppelt ist.

Eine detaillierte Analyse der Kriterienpunkteverteilung zeigt, dass Strassencharakteristiken (insbesondere Verkehrsaufkommen und Geschwindigkeit) sowie die Nähe zu Gewässern die dominierenden Faktoren für hohe Hotspot-Scores darstellen. Vor allem in Kanton St. Gallen (Abb. 6) werden viele Strassenachsen als wichtige Hotspots aufgezeichnet, die jedoch an Bedeutung verlieren, sobald weitere Kriterien in der Analyse berücksichtigt werden. Entlang einiger Kantonsstrassen in ländlichen Gebieten sind erhöhte Scores identifiziert worden, wenn sie durch oder nahe an Naturschutzgebieten verlaufen.

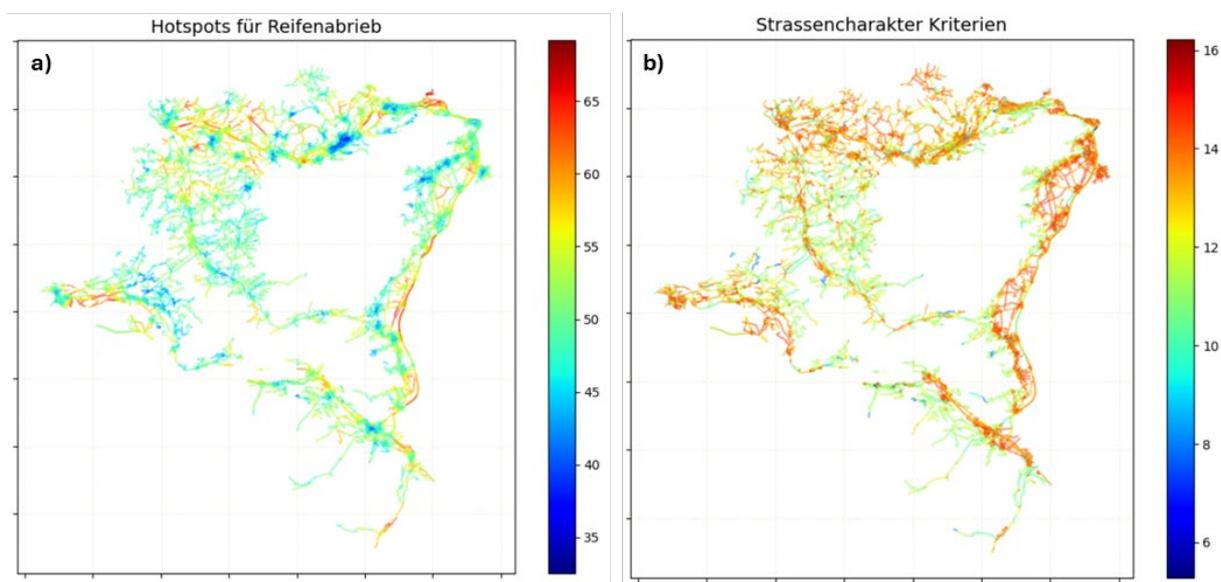


Abbildung 6: Demonstration des GIS-Tools zur Kartierung der Reifenabrieb-Hotspots für den Kanton St. Gallen anhand gleichmässiger Gewichtung und Beurteilung nach dem Expertenwissen des Forschungsteams, (a) Output des GIS-Tools mit Einfärbung nach Gesamtpunktzahl (Hotspots), (b) Output des GIS-Tools mit Einfärbung für Kriterien in der Gruppe „Strassen“.

4.2 Erkenntnisse auf Gemeindeebene

Eine Analyse der Resultate auf Gemeindeebene veranschaulicht, dass sich die wichtigsten Hotspots in Städten und Gemeinden befinden, vor allem in Frauenfeld (TG), Homburg (TG), Buchs (SG), Rapperswil-Jona (SG), Thal (SG) und Will (SG). Dieser Einblick ermöglicht eine räumliche Priorisierung für weitere Analysen (z. B. Identifikation von Standorten für Probenahmen). Eine wichtige Erkenntnis aus den Analysen auf Gemeindeebene ist, dass es keine deutlichen Trends gibt und eine grössere Variabilität besteht. Die Schlussfolgerung ist einerseits, dass flächendeckende Massnahmen über wichtige Strassenachsen eine bessere Auswirkung haben werden. Dies benötigt die Zusammenarbeit von mehreren

Entscheidungsträgern über die Gemeindegrenzen hinaus. Andererseits kann anhand einer individuellen Gewichtung durch Entscheidungsträger eine priorisierte Auswertung erfolgen und Fragestellungen in diesem Zusammenhang beantworten.

4.3 Validierung und Limitierungen

Die Ergebnisse zeigen, dass anhand der individuellen Gewichtung verfügbare Daten ausgewertet und nach Priorisierung dargestellt werden können. Die identifizierten Hotspot-Muster bestätigen intuitive Erwartungen (hohe Belastung entlang Hauptverkehrsachsen) und heben zusätzlich weniger offensichtliche Problemzonen, wie touristische Passstrassen und Durchgangsstrassen in Naturschutzgebieten, hervor, die bisher möglicherweise unterschätzt wurden.

Bereits das entwickelte GIS2MP-Tool kann Unterstützung für die Umweltplanung und den Strassenunterhalt geben:

- **Priorisierung von Sanierungsmassnahmen:** Identifikation von Strassenabschnitten, wo Investitionen in Behandlungsanlagen (z.B. Strassenabwasserbehandlungsanlagen, SABA) den grössten Umweltnutzen versprechen
- **Räumliche Planung:** Integration der Hotspot-Karten und Zonen geringer Belastung in Richt- und Nutzungsplanungen zur Vermeidung zusätzlicher Belastungen sensibler Gebiete
- **Monitoring-Design:** Optimierung von Messprogrammen durch gezielte Probenahme in identifizierten Hotspot-Bereichen
- **Massnahmenentwicklung:** Differenzierte Strategien je nach dominierenden Faktoren (z.B. Geschwindigkeitsreduktionen, verbesserte Strassenentwässerung, Grünstreifen als Puffer)

Bisher noch ausstehend ist die Validierung der methodischen Arbeit, beispielsweise durch eine Sensitivitätsanalyse oder gezielte Probenahmen und Analysen auf Reifenabrieb sowie der Additive. Eine besondere Herausforderung bei der Validierung des Vorkommens von Reifenabriebpartikeln ergibt sich durch die fehlende Standardisierung bei der Probenaufbereitung und Analytik. Möglicherweise bietet sich hierzu ein indirekter Nachweis über die freigesetzten Additive an, die sich vollquantitativ analysieren lassen.

Die Ergebnisse zeigen die Machbarkeit und den Nutzen eines systematischen, räumlichen Ansatzes zur Identifikation von Belastungs-Hotspots und Bereichen mit geringer Belastung. Im Gegensatz zu punktuellen Messungen oder modellbasierten Emissionsschätzungen ermöglicht der GIS-MCDA-Ansatz eine flächendeckende Priorisierung unter Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten. Dies ist besonders relevant für die Schweiz mit einer heterogenen Topographie und dem dichten Netz sensibler Ökosysteme.

Mit ergänzenden Sensitivitätsanalysen soll insbesondere die Interaktion der Kriterien besser verstanden werden. Um diesen Schritt umzusetzen, ist zusätzlich die Visualisierung in einem Web-GIS möglich bzw. wurde beispielhaft bereits umgesetzt (Abb. 7).

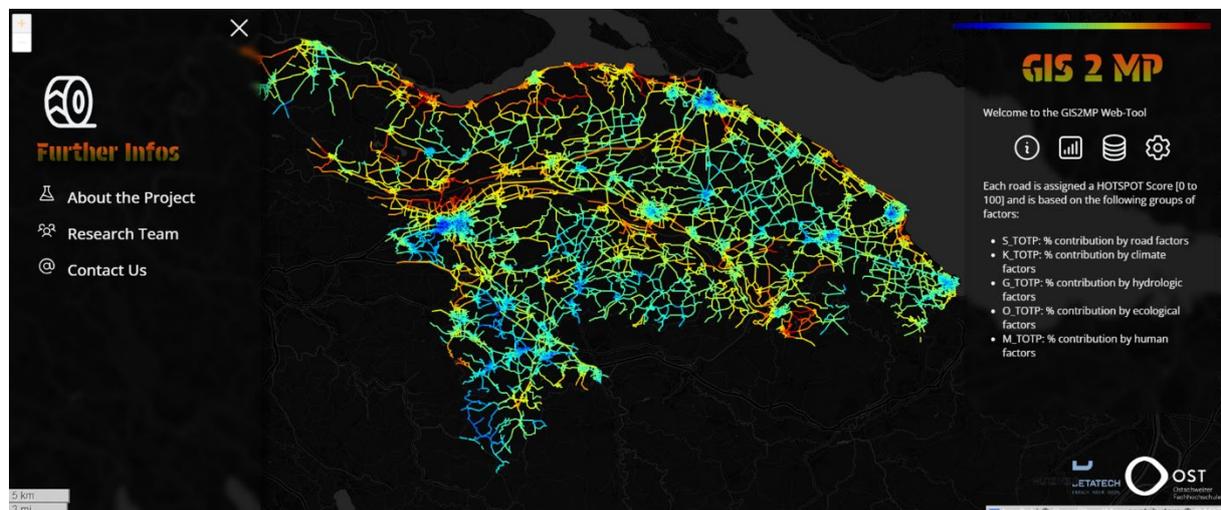


Abbildung 7: Erster Entwurf einer Web-GIS Plattform für das GIS2MP-Tool (in Entwicklung) mit Fallstudie Kanton Thurgau.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der methodische Ansatz bzw. die Umsetzung als GIS2MP-Tool bietet Möglichkeiten sowohl allgemeine als auch individuelle Fragestellungen innerhalb der Planung und Bewirtschaftung von Strassenräumen im übergeordneten Wirkungsgefüge zu betrachten und zu beantworten.

Die ersten Ergebnisse des GIS-Tools sind vielversprechend. Die Integration von zahlreichen Kriterien aus verschiedenen Themenbereichen zielt auf eine ganzheitliche Betrachtung der Problematik ab, die sowohl Entstehungsfaktoren als auch potentielle Auswirkungen berücksichtigt. Die exemplarische Anwendung in zwei Kantonen zeigt die Funktionalität und Übertragbarkeit des Modellansatzes. So konnten potenzielle Belastungen und Handlungsschwerpunkte anhand einer Vielfalt an Eigenschaften über grosse Gebiete priorisiert werden. Besonders wertvoll ist die Möglichkeit, verschiedene Szenarien und Gewichtungen zu testen, um robuste Prioritäten für Schutzmassnahmen zu identifizieren.

Einige wichtige Parameter, wie das durchschnittliche, tägliche Verkehrsaufkommen (DTV) waren nicht flächendeckend verfügbar und mussten durch Proxys repräsentiert werden. Die Integration der DTV, einer zeitlichen Variabilität (Saisonalität, Wetterereignisse) und von Transportprozessen würde die Aussagekraft vermutlich weiter verbessern.

Im Hinblick auf die Massnahmenplanung, auch der Generellen Entwässerungsplanung (GEP), kann eine Verschneidung mit den Kanalisationsdaten oder auch Standorten von SABAs erfolgen.

6 Danksagung

Wir bedanken uns bei der Ostschweizer Fachhochschule (OST) für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung des Projekts.

7 Literatur

- Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F. and Reifferscheid, G. (2020) 'Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment', *Science of The Total Environment*, 733, pp. 137823.
- Bergmann, A. J., Masset, T., Breider, F., Dufey, W., Schirmer, K., Ferrari, B. J. D. and Vermeirssen, E. L. M. (2024) 'Estrogenic, Genotoxic, and Antibacterial Effects of Chemicals from Cryogenically Milled Tire Tread', *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(9), pp. 1962-1972.
- Der Bundesrat (2023) *Reifenabrieb als grösste Quelle von Mikroplastik. Massnahmen zur Verminderung*, Bern, Switzerland: Bundesrat der Schweizer Eidgenossenschaft. Online:
<https://www.parlament.ch/centers/eparl/curia/2019/20193559/Bericht%20BR%20D.pdf>.
- Kuller, M., Bach, P. M., Roberts, S., Browne, D. and Deletic, A. (2019) 'A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure', *Science of The Total Environment*, 686, pp. 856-868.
- Lechthaler, S., Dolny, R., Kong, R., Ip, K.-s., Schmitz, M., Seibold, S., Schiwy, S., Hollert, H., Wintgens, T. J. and Linnemann, V. (2023) 'Bewertung von Reifenabrieb in Niederschlagabflüssen stark befahrener Strassen', *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser*, 256, pp. 1-14.
- Malczewski, J. and Rinner, C. (2015) *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer.
- Mubeen, A., Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Sanchez Torrez, A. and Plavšić, J. (2021) 'Planning and Suitability Assessment of Large-scale Nature-based Solutions for Flood-risk Reduction', *Water Resources Management*, 35(10), pp. 3063-3081.
- Österlund, H., Blecken, G., Lange, K., Marsalek, J., Gopinath, K. and Viklander, M. (2023) 'Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry into stormwater', *Science of The Total Environment*, 858, pp. 159781.
- Steiner, M. (2020) *Schlussbericht: Mikroplastik: Eintrag von Reifenabrieb in Oberflächengewässer. im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)*, Zürich, CH: wst21. 21. Juni 2020.

- Tian, Z., Zhao, H., Peter, K. T., Gonzalez, M., Wetzel, J., Wu, C., Hu, X., Prat, J., Mudrock, E., Hettinger, R., Cortina, A. E., Biswas, R. G., Kock, F. V. C., Soong, R., Jenne, A., Du, B., Hou, F., He, H., Lundeen, R., Gilbreath, A., Sutton, R., Scholz, N. L., Davis, J. W., Dodd, M. C., Simpson, A., McIntyre, J. K. and Kolodziej, E. P. (2021) 'A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon', *Science*, 371(6525), pp. 185-189.
- Unice, K. M., Weeber, M. P., Abramson, M. M., Reid, R. C. D., van Gils, J. A. G., Markus, A. A., Vethaak, A. D. and Panko, J. M. (2019) 'Characterizing export of land-based microplastics to the estuary - Part I: Application of integrated geospatial microplastic transport models to assess tire and road wear particles in the Seine watershed', *Science of The Total Environment*, 646, pp. 1639-1649.
- Waldschläger, K., Lechthaler, S., Stauch, G. and Schüttrumpf, H. (2020) 'The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review)', *Science of The Total Environment*, 713, pp. 136584.

Korrespondenz an:

Prof. Philipp Krass
Ostschweizer Fachhochschule OST, Institut für Raumentwicklung (IRAP),
Oberseestrasse 10, Rapperswil 8640, Schweiz
Telefon: +41 58 2574983
E-Mail: philipp.krass@ost.ch