

Forschungskooperation

Human-biometeorologisch angepasste Routenführungen durch mathematische Optimierung

Beschreibung des Teilprojektes

Das Teilprojekt befasst sich mit den Themenfeldern Klima und Lufthygiene. Im Zentrum der Betrachtung steht die grüne Infrastruktur, also Grünflächen sowie Freiflächen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wird sich mit der Frage beschäftigt, ob die verfügbaren Rückzugsräume besonders in Abhängigkeit der meteorologischen Rahmenbedingungen von allen Personenkreisen nutzbar sind. So werden öffentliche Räume identifiziert, die unter Umständen ungünstige klimatische und lufthygienische Verhältnisse aufweisen, sowie Verhaltens- und Planungshinweise formuliert. Ein Bestandteil ist hierbei die mathematisch optimierte Wegeführung. Dieses Teilvorhaben wird im Folgenden weiter vorgestellt.

Ziele

- Ausweisung von klimatisch, lufthygienisch und gesundheitlich optimierten Routen in Hinblick auf das Ozonbildungspotenzial
- Optimierung vorhandener Wege
- Schaffung eines übersichtlichen Isoprenoid-Katasters, das für verschiedene Standorte anwendbar ist
- Entwicklung einer App als „Klima-Isoprenoid-Navigationssystem“ für Nutzer*innen
- Übertragbarkeit auf andere Luftschadstoffe

Maßnahmen und Vorgehen

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes liegt der Fokus zunächst auf der Betrachtung von Waldflächen und biogenen Kohlenwasserstoffen (BVOC) - Gruppe der Isoprenoide = Isopren. Isoprenoide sind unter anderem Vorläuferstoffe des bodennahen Ozons. Sie besitzen ein höheres Ozonbildungspotenzial als anthropogene Vorläuferstoffe (z.B. Stickoxide im Straßenverkehr).

Isoprenoide werden von verschiedenen Pflanzen- und Baumarten in unterschiedlichen Konzentrationen emittiert. Meteorologische Bedingungen wie beispielsweise die Strahlungstemperatur und -intensität, aber auch andere Faktoren wie das Alter der Bäume oder Bodeneigenschaften, beeinflussen die Emissionsrate. Während autochthoner Wetterlagen erreicht die Isoprenemission ihr Maximum. Diese Wetterlagen sind jedoch häufig der Zeitpunkt, an dem Menschen Grünflächen zum Aufenthalt und zur Erholung aufsuchen.

Besonders auf Waldflächen ist eine Vielzahl von Baumarten aufzufinden. Dementsprechend besteht dort ein hohes Potenzial der Isoprenoid-Bildung. Aus diesem Grund liegt der Fokus der Betrachtung zunächst auf Waldflächen.

Die vorhandenen Baumarten werden entsprechend ihrer Gattungen in Cluster zusammengefasst. Diesen Clustern werden Isopren-Mittelwerte zugeordnet. Diese Werte wiederum werden in Emissionsklassen (low-emitter, medium-emitter, high-emitter) in Anlehnung an Calfapietra, C et al. 2009 eingeteilt, sodass die graphische Darstellung durch ein Ampel-System erfolgen kann.

Dieses entstandene Isoprenoid-Baum-Kataster wird anschließend mit den vorhandenen Wanderwegen überlagert. Hierdurch wird die Darstellung von Orten, an denen sich bei autochthonen Wetterlagen potenziell hohe Isoprenoid-Konzentrationen befinden können, respektive das Ozonbildungspotenzial entsprechend erhöht ist, ermöglicht (Abb. 1). Dies bildet die Basis für die mathematische Optimierung der Wanderrouten sowie eine entsprechende Wegeführung für Nutzer.

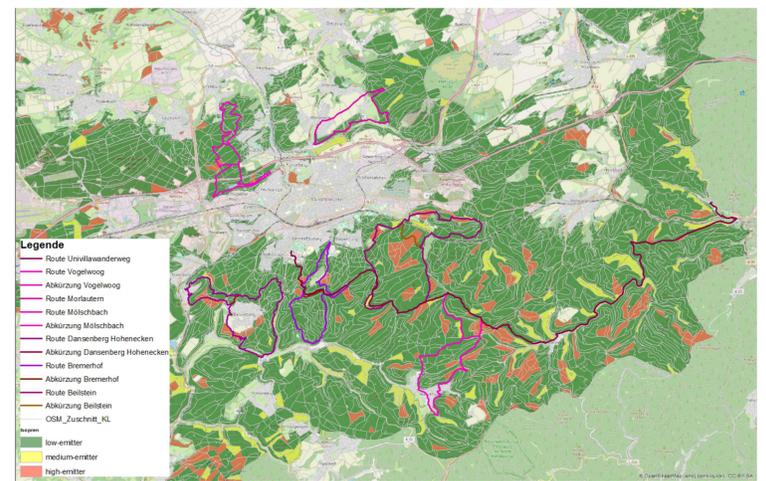


Abb. 1: Überlagerung Emissionskataster und Wanderwege am Beispiel der Wälder der Forstämter Kaiserslautern und Otterberg

Mathematische Optimierung

Zum realen Wegenetz werden die zugehörigen OpenStreetMap-Daten für die spätere Optimierung in ein mathematisches Netzwerk transformiert. Der resultierende Graph bestehend aus Knoten (Punkte in der Landschaft) und Kanten (Verbindungsstrecken zwischen Knoten), die alle nicht-negative Länge besitzen. Basierend auf dem Isoprenoid-Baumkataster erhält jede Kante zusätzlich einen Isoprenwert, der sich aus dem Produkt ihrer Länge und ihres Isoprenkoeffizienten berechnet. Der Isoprenkoeffizient einer Kante ergibt sich aus dem mittleren Ausstoßwert der Emissionsklasse, in der sich die Kante befindet. Der Isoprenwert eines Weges im Netzwerk ist dann die Summe der Isoprenwerte aller Kanten entlang des Weges.

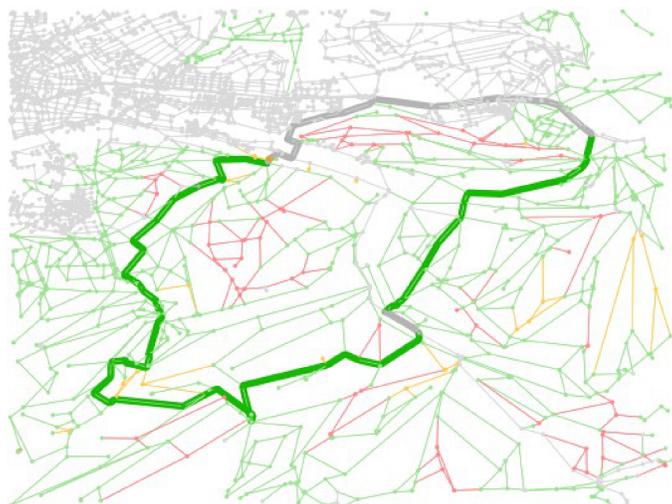


Abb. 3: Isoprenärmere Alternative der „Route Beilstein“

Zu einem gegebenen Wanderweg ergibt sich nun folgendes Optimierungsproblem. Bestimme einen neuen Weg mit gleichem Start- und Endknoten, der einen geringeren Isoprenwert als der gegebene Weg aufweist und sich zudem nur möglichst geringfügig von diesem unterscheidet. Zur Lösung des Problems werden Heuristiken verwendet, die eine hohe Variabilität bei der Auswahl alternativer Kanten erlauben. Die grünen und grauen (neutralen) Bereiche des Originalweges werden ebenfalls von dem neuen Weg besucht und durch möglichst isoprenarme Teilstücke verbunden, die mit dem Algorithmus von Dijkstra berechnet werden.

Dieses Verfahren ist erweiterbar auf weitere Größen, die für die Lufthygiene bzw. das Wohlbefinden von Menschen relevant sind. Es ist zudem auf jedes beliebige Wandergebiet und jeden Wanderweg übertragbar, indem die Datengrundlage getauscht wird. Abb. 2 zeigt exemplarisch den Wanderweg „Route Beilstein“ in Kaiserslautern. Die berechnete Alternative hat einen deutlich geringeren Isoprenwert (Abb. 3).

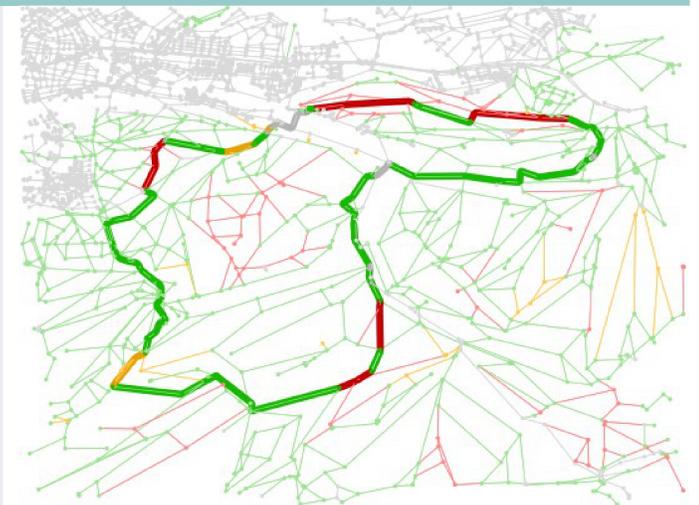


Abb. 2: Wanderweg „Route Beilstein“ und Umgebung im mathematischen Netzwerk

Literatur

- Calfapietra, C., Fares, S., Loreto, f. (2009): Volatile organic compounds from Italian vegetation and their interaction with ozone. Environmental Pollution 157. pp. 1478 - 1486.
- Dijkstra, E. W., (1959): A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1. pp. 269–271.
- Wiedinmyer, C., Guenther, A., Harley, P., Hewitt, C.N., Geron, C., Artaxo, P., Steinbrecher, R., Rasmussen, (2004): Global organic emissions from vegetation. Chapter in Emissions of Atmospheric Trace Compounds, Edited by Claire Granier, Paulo Artaxo, and Claire E. Reeves. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 115 -170.

Beteiligte

AG Optimierung
Prof. Dr. Stefan Ruzika - Dr. Nicolas Fröhlich (froehlich@mathematik.uni-kl.de) - M. Sc. Nils Hausbrandt (nils.hausbrandt@mathematik.uni-kl.de)
Physische Geographie
Prof. Dr. Sascha Henninger - M. Sc. Lena Albert (lena.albert@ru.uni-kl.de)

Förderung

Das Vorhaben ist in das Verbundprojekt „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“ eingebunden. Das Projekt wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.