

## "Klima-Isopren-Navigationssystem" - Ein Tool für human-biometeorologisch angepasste Routenführungen

Albert, Lena; Henninger, Sascha

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Albert, L., & Henninger, S. (2022). "Klima-Isopren-Navigationssystem" - Ein Tool für human-biometeorologisch angepasste Routenführungen. In G. Meinel, T. Krüger, M. Behnisch, & D. Ehrhardt (Hrsg.), *Flächennutzungsmonitoring XIV: Beiträge zu Flächenmanagement, Daten, Methoden und Analysen* (S. 259-266). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/14dfns-p026>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

### Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



## Flächennutzungsmonitoring XIV

Beiträge zu Flächenmanagement,  
Daten, Methoden und Analysen

IÖR Schriften Band 80 · 2022

ISBN: 978-3-944101-80-4

## „Klima-Isopren-Navigationssystem“ – Ein Tool für human-biometeorologisch angepasste Routenführungen

*Lena Albert, Sascha Henninger*

Albert, L.; Henninger, S. (2022): „Klima-Isopren-Navigationssystem“ – Ein Tool für human-biometeorologisch angepasste Routenführungen. In: Meinel, G.; Krüger, T.; Behnisch, M.; Ehrhardt, D. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XIV. Beiträge zu Flächenmanagement, Daten, Methoden und Analysen. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 80, S. 259-266.  
DOI: <https://doi.org/10.26084/14dfns-p026>

# „Klima-Isopren-Navigationssystem“ – Ein Tool für human-biometeorologisch angepasste Routenführungen

Lena Albert, Sascha Henninger

## Zusammenfassung

Zur Erholung, der Bewegung und dem Aufenthalt im Freien werden besonders innerstädtische Grünflächen, aber auch Waldflächen von verschiedenen Bevölkerungsgruppen aufgesucht. Bei der Nutzung des Freiraums spielen bioklimatische und lufthygienische Faktoren eine wichtige Rolle. Während von der grünen Infrastruktur viele Vorteile ausgehen, können allerdings auch gesundheitliche Beeinträchtigungen durch sogenannte biologische Noxe entstehen.

Ziel dieses Projektes ist es, möglichst lokalklimatisch, lufthygienisch und gesundheitlich optimierte Routen am Beispiel des Ozonbildungspotenzials auszuweisen. Um dies zu erreichen, soll eine Applikation programmiert werden, die initial als „Klima-Isopren-Navigationssystem“ nutzbar ist und eine optimierte human-biometeorologische Routenführung für Nutzer aufzeigt, unabhängig vom Standort.

**Schlagwörter:** Human-Biometeorologie, grüne Infrastruktur, Lokalklima, Luftqualität, Warn-App

## 1 Einführung

Innerstädtische Grünflächen, aber auch stadtnahe Wälder und urbane Waldflächen spielen für Menschen eine wichtige Rolle. Sie dienen als Orte der Erholung, der Bewegung, der Begegnung oder auch lediglich dem Aufenthalt im Freien. Somit leisten Grünflächen einen Beitrag zur physischen und psychischen Gesundheit der Bevölkerung. Sie verbessern u. a. das Siedlungsklima sowie die Luftqualität und können dazu beitragen, dass Lärm vermindert wahrgenommen wird. Zudem regen sie zur Bewegung und Kreativität an und fördern die Entspannung sowie die Stressreduktion (Dosch et al. 2015: 45 ff.).

Es ist unbestritten, dass von der grünen Infrastruktur viele Vorteile ausgehen. Allerdings können auch gesundheitliche Risiken durch Pflanzen auftreten, die dem positiven Aspekt der Grünflächen entgegenwirken. Hierzu zählen zum einen Allergien, die durch Pollen ausgelöst und verstärkt werden, aber auch biogene flüchtige organische Kohlenwasserstoffe, die als Vorläuferstoffe von Ozon dienen und somit die Bildung des bodennahen Ozons verstärken können. Mit diesem Untersuchungsfeld der Human-Biometeorologie und der Stadtklimatologie befasst sich dieses Forschungsprojekt.

Um den Aufenthalt im Grünen mit einem möglichst geringen Risiko für die Bevölkerung und besonders vulnerablen Gruppen zu verbinden, soll ein Navigationssystem entwickelt werden, das es ermöglicht, potenziell gesundheitsgefährdende Gebiete bei bestimmten Wetterlagen vermeiden und umgehen zu können.

Dieses Vorhaben ist in das Verbundprojekt „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“ eingebunden. Das Projekt wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert. Der Förderzeitraum erstreckt sich von April 2021 bis März 2026 mit einer Fördersumme von insgesamt rund 4,3 Mio. Euro. Neben sieben Fachgebieten aus dem Fachbereich Raum- und Umweltplanung der TU Kaiserslautern sind sowohl eine Arbeitsgruppe des Fachbereichs Mathematik sowie zwei Lehrstühle aus dem Fachbereich Informatik in das Projekt eingebunden. Außerdem tragen das Deutsche Zentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) sowie das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) zur Forschung bei. Das Gesamtprojekt adressiert die geburtenstarken Jahrgänge 1955 bis 1969. Durch deren Eintritt in das Rentenalter sind viele Kommunen damit konfrontiert, altersgerechte Wohnstandorte, Versorgungs- sowie Freizeitstrukturen zu schaffen. Ziel des Gesamtprojektes ist es, ein datengestütztes Entscheidungsunterstützungssystem zu entwickeln, das öffentliche Akteure in ihren Planungsprozessen unterstützt. Das Teilprojekt hat sich zum Ziel gesetzt, primär diese Altersgruppe im Zusammenhang mit verfügbaren lokalen öffentlichen Grünflächen zu untersuchen. Hierbei steht die Frage im Fokus, ob diese Rückzugsräume von allen Personengruppen gleichermaßen nutzbar sind, mit besonderem Blick auf die meteorologischen Rahmenbedingungen.

## 2 Untersuchungsgegenstände

Zur Entwicklung und Erprobung für ein human-biometeorologisches Navigationssystem werden ein Luftschadstoff- sowie ein Untersuchungsgebiet benötigt. In einem ersten Schritt erfolgt die Untersuchung am Beispiel des Ozonvorläuferstoffes Isopren sowie den Waldgebieten in und um Kaiserslautern.

### 2.1 Ozon und Isopren

Ozon ist ein sekundärer Schadstoff. Es wird durch photochemische Reaktionen aus Vorläuferstoffen in der Gegenwart von Sonnenstrahlung produziert und ist dementsprechend stark temperaturabhängig. Die höchsten Ozonkonzentrationen treten im Sommer auf, wenn hohe Sonnenstrahlung und damit verbunden hohe Temperaturen vorhanden sind (Butler et al. 2020: 14 f.).

Eine Art der Ozonvorläuferstoffe sind die biogenen Kohlenwasserstoffe (biogenic volatile organic compounds – BVOC). Verschiedene Pflanzen- und Baumarten emittieren unterschiedliche Raten an BVOC. Biogene Kohlenwasserstoffe spielen eine wichtige

Rolle in der Atmosphärenchemie und beeinflussen die Bildung von troposphärischem Ozon sowie weiteren sekundären Aerosolen (Kesselmeier, Staudt 1999: 25). Bereits in der Vergangenheit wurde festgestellt, dass die Emissionsraten von biogenem Kohlenwasserstoff diejenigen von anthropogenen Kohlenwasserstoffen übersteigen (Sharkey et al. 2008: 5). Während die Emissionen, die vom Menschen verursacht werden, weitestgehend kontrolliert und gemindert werden können, sind die biogenen Emissionen nur schwer beeinflussbar.

Die Emissionsrate von BVOCs ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Hierzu zählen zum einen die Pflanzen- und Blattphänologie, das Baumalter, die Nährstoffe, der Wasser- und Hitzestress, zum anderen aber auch besondere meteorologische Bedingungen wie die Lufttemperatur und die Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) (Wiedinmyer et al. 2004: 128 ff.).

Eine Stoffgruppe der biogenen Kohlenwasserstoffe sind die sogenannten Isoprenoide. Das dazugehörige Isopren schützt beispielsweise Pflanzen vor Hitzestress sowie vor Stress durch Luftschadstoffe (Sharkey et al. 2008: 6 ff.).

Durch die hohe Reaktivität und die hohe Emission durch die Vegetation ist Isopren ein wichtiger Ozonvorläuferstoff (Wagner, Kuttler 2014: 104). Besonders an Tagen mit autochthonen Wetterlagen, die sich durch eine hohe Strahlungsintensität und hohe Lufttemperaturen auszeichnen, sind hohe Isoprenemissionen durch Grünpflanzen zu verzeichnen. Vor allem Laubbäume weisen eine hohe Emission von Isopren auf. Nadelbäume hingegen emittieren eher selten Isopren, stattdessen Monoterpene, einen weiteren biogenen Kohlenwasserstoff, der ebenfalls als Vorläuferstoff für bodennahes Ozon dienen kann (Henninger, Weber 2020: 220).

## 2.2 Waldflächen

Wie bereits beschrieben wird zur Entwicklung und Erprobung des Navigationssystems primär ein Untersuchungsgebiet benötigt, das durch das Vorhandensein vieler Bäume und verschiedener Baumarten gekennzeichnet ist. Waldflächen bieten sich daher besonders gut für solche Analysen an – hier am Beispiel der Ausläufer des Pfälzerwaldes in und um Kaiserslautern. Um eine vereinfachte Betrachtung zu ermöglichen, liegt der Fokus auf den vorhandenen Hauptbaumarten in den jeweils ausgewählten Gebieten.

Neben den vorhandenen Bäumen spielt auch das Vorhandensein von offiziell ausgewiesenen Wanderwegen eine Rolle für das Forschungsvorhaben. Im Rahmen eines bereits abgeschlossenen Projektes wurden in Kooperation mit der Stadt Kaiserslautern zahlreiche offizielle und inoffizielle, regionale sowie überregionale Wanderwege untersucht und in übersichtlichen Routen zusammengefasst. Diese bilden die Grundlage für die Entwicklung des Navigationssystems bzw. zur Optimierung der Wegeführung.

### 3 Vorgehensweise

In Kooperation mit den zuständigen Forstämtern werden die Informationen über vorhandene Baumarten im Untersuchungsgebiet aufgearbeitet und mithilfe von Geodaten in ein Geographisches Informationssystem (GIS) übernommen. Durch die Anzeige von Polygonen wird so eine Übersicht über die Verteilung der Baumarten visualisiert (Abb. 1). Um eine Übertragbarkeit auf andere Waldflächen zu ermöglichen, werden die Baumarten gemäß ihren Gattungen in Cluster zusammengefasst (Tab. 1).



Abb. 1: Baumgattungskataster am Beispiel der Wälder der Forstämter Kaiserslautern und Otterberg (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage ökologische Hauptbaumarten Landesforsten Rheinland-Pfalz)

Den so entstandenen Clustern werden Isopren-Mittelwerte nach Wiedinmyer et al. 2004, sowie aus der weiteren Literatur aus den Jahren nach 2004 (Aydin et al. 2014; Pérez-Rial et al. 2009; Pokorska et al. 2012; Räisänen et al. 2009; Ruuskanen et al. 2007; Smiatek, Steinbrecher 2006), zugeordnet. Die Emissionen wurden gemäß der normalen Vorgehensweise durch den Guenther-Algorithmus (Guenther et al. 1993) auf 30 °C sowie auf PAR 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  standardisiert. Hierbei werden durch Experimente ermittelte Messdaten in den Algorithmus eingepflegt, um die licht- und temperaturabhängigen biogenen Emissionspotenziale zu modellieren.

Die Auswahl der Isoprenemissionswerte erfolgt nach der Maßgabe, dass eine Sammlung von im Untersuchungsgebiet bzw. in Deutschland vorkommenden Baumarten erstellt

wird. Hinzugenommen werden zudem Messwerte aus der Literatur als generalisierte Referenzen für die jeweilige Baumgattung sowie für unidentifizierte Arten der Gattung. Diese Vorgehensweise wird im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung gewählt, da bei den generalisierten sowie unidentifizierten Arten nicht ausgeschlossen werden kann, dass im Untersuchungsgebiet vorhandene Arten in den Messungen enthalten waren. Im „schlimmsten“ Fall kann es dazu führen, dass Messwerte von Baumarten in die Betrachtung einbezogen wurden, die nicht in Deutschland vorkommen und somit ein verfälschtes Emissionspotenzial darstellen. Ebenso im Sinne des Worst-Case-Szenarios werden bei Werten, für die Messspannen angegeben sind, die jeweils höchsten Werte zur weiteren Bearbeitung ausgewählt. Aus den jeweiligen gesammelten Messwerten wird das arithmetische Mittel gebildet, um einen Durchschnittswert für die entsprechende Baumgattung zu erhalten.

Zur besseren Betrachtung werden die Isopren-Mittelwerte zusätzlich in Emissionsklassen eingeteilt, angelehnt an Calfapietra et al. 2009 (Tab. 1). Die gewählten Klassen sind low-emitter-Baumarten mit einer Spanne von 0,1-3  $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  Isopren, medium-emitter-Arten mit Werten von 3-20  $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  sowie high-emitter-Arten mit Emissionsraten von mehr als 20  $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Calfapietra et al. 2009: 1479).

Tab. 1: Isopren-Mittelwerte nach Wiedinmyer et al. 2004 für vorhandene Baumgattungen (Quelle: eigene Bearbeitung nach Wiedinmyer et al. 2004; Calfapietra et al. 2009: 1479)

Wiss. Name Gattung	Deutscher Name	Isopren-Mittelwert ( $\mu\text{g g(dw)}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	Emitter-Klasse nach Calfapietra et al. 2009
<i>Abies</i>	Tanne	27	high
<i>Acer</i>	Ahorn	< 0,1	low
<i>Alnus</i>	Erle	< 0,1	low
<i>Betula</i>	Birke	< 0,1	low
<i>Carpinus</i>	Hainbuche	0,21	low
<i>Fagus</i>	Buche	< 0,1	low
<i>Fraxinus</i>	Esche	< 0,1	low
<i>Larix</i>	Lärche	< 0,1	low
<i>Picea</i>	Fichte	4,24	medium
<i>Pinus</i>	Kiefer	0,28	low
<i>Populus</i>	Pappel	58,32	high
<i>Pseudotsuga</i>	Douglasie	0,7	low
<i>Quercus</i>	Eiche	61,83	high
<i>Robinia</i>	Robinie	32	high
<i>Tilia</i>	Linde	0	low

Durch die Wahl von drei Emissionsklassen ist es möglich, die Klassen und damit verbunden die Waldflächen im Sinne eines Ampel-Systems mit den Farben grün, gelb und rot kartographisch darzustellen. Hierdurch entsteht ein „Isopren-Waldflächen-Kataster“, das aufzeigt, welche Waldflächen eine Hauptbaumart mit potenziell hohen Isopren-Emissionen und somit ein erhöhtes Ozonbildungspotenzial besitzen.

In einem weiteren Schritt wird das Isopren-Waldflächen-Kataster mit den vorhandenen Wanderwegen überlagert (Abb. 2). Bei diesen Wegen handelt es sich um die offiziellen regionalen und überregionalen Wanderwege, eigens erfasste GPS-Routen, aber auch um OpenData durch die Nutzung von OpenStreetMap. Diese Fülle an unterschiedlichen, digitalisierten Daten ermöglicht es, eine möglichst engmaschige Optimierung einer lufthygienisch sinnvollen Routenführung zu generieren.

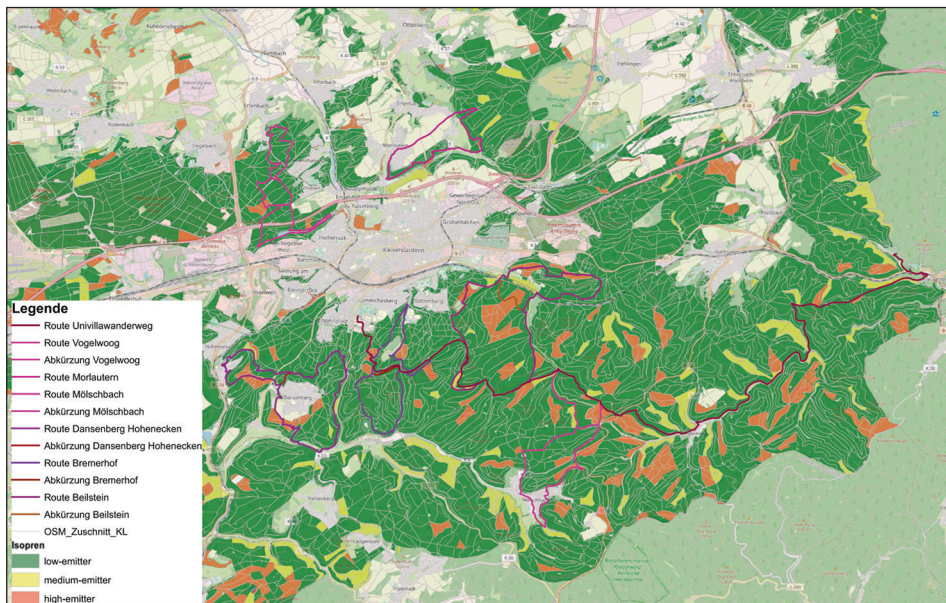


Abb. 2: Überlagerung des Emissionskatasters und der Wanderwege am Beispiel der Wälder der Forstämter Kaiserslautern und Otterberg (Quelle: Eigene Darstellung, Datengrundlage ökologische Hauptbaumarten Landesforsten Rheinland-Pfalz)

Die Überlagerung des Isopren-Waldflächen-Katasters mit den vorhandenen Wanderwegen ermöglicht die Visualisierung von Standorten im Wald, an denen während autochthoner Wetterlagen potenziell hohe Isopren-Konzentrationen vorhanden sein können und das bodennahe Ozonbildungspotenzial erhöht ist. Auf dieser Basis erfolgt nun die mathematische Optimierung der vorhandenen Wanderwege. Durch das bereits angesprochene Vorhandensein vieler Wege im Untersuchungsgebiet besteht hierbei eine Vielzahl an möglichen alternativen Routen.



Die Ergebnisse der mathematischen Optimierung und der entwickelte Algorithmus sollen im Anschluss genutzt werden, um das lufthygienische Navigationssystem in Form einer App zu entwickeln. Diese App soll es Nutzenden ermöglichen, potenziell gesundheitsschädigende Routenabschnitte von Wanderwegen bei diversen Wetterlagen vermeiden und umgehen zu können. Der Fokus liegt hierbei auf alternativen Streckenabschnitten, die sich an der Länge der ursprünglichen Route orientieren und möglichst kurze Umwege beinhalten.

## 4 Ausblick und Herausforderungen

Ist die Entwicklung der Applikation erfolgt und als Klima-Isopren-Navigationssystem anwendbar, wird die Übertragbarkeit der Anwendung auf weitere Luftschadstoffe sowie Standorte angestrebt. Dementsprechend soll die App im ruralen, im suburbanen auch im urbanen Raum funktional sein. In einer weiteren Phase des Projektes soll bzgl. der Anwendbarkeit der Applikation der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) geprüft und erprobt werden. Denkbar wäre die Datengenerierung anhand von Sensoren und damit verbundene automatische KI-gestützte Analysen.

Neben den Handlungsempfehlungen für Nutzende im Sinne der Navigationsapp sollen auch Handlungs- und Planungsempfehlungen an die Planungs- und Entscheidungsträger gegeben werden können. Hierbei soll aufgezeigt werden, wie bei Neuplanungen und Neupflanzungen von Grün- und Waldflächen, aber auch im Bestand, mit möglichen Gesundheitsbelastungen durch Pflanzen und Bäume umgegangen werden kann. Vor allem mit Blick auf den rezenten Klimawandel und dessen Auswirkungen auf der lokalen Ebene sind Anpassungsmaßnahmen und neue Forschungsansätze unabdingbar, um besonders städtische Räume lebenswert zu erhalten.

## 5 Literatur

- Aydin, Y. M.; Yaman, B.; Koca.; Dasdemir, O.; Kara, M.; Altioğ, H.; Dumanoglu, Y.; Bayram, A.; Tolunay, D.; Odabasi, M.; Elbir, T. (2014): Biogenic volatile organic compound (BVOC) emissions from forested areas in Turkey: Determination of specific emission rates for thirty-one tree species. In: *Science of the Total Environment* 490: 239-253.
- Butler, T.; Dauert, U.; Mues, A.; Wichmann-Fiebig, M. (2020): Ozonsituation in Deutschland. Wissensstand, Forschungsbedarf und Empfehlungen. Dokumentationen 02/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/dokumentation\\_02-2020\\_uba-iass\\_ozon-workshop\\_fin.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/dokumentation_02-2020_uba-iass_ozon-workshop_fin.pdf) (Zugriff: 28.07.2022).
- Calfapietra, C.; Fares, C.; Loreto, F. (2009): Volatile organic compounds from Italian vegetation and their interaction with ozone, In: *Environmental Pollution* 157: 1478-1486.

- Dosch, F.; Haury, S.; Skowski, J.; Wahler, B.; Willinger, S.; Arndt, T.; Mayer, F.; Hommes, M.; Mösch, S. (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft – Grünbuch Stadtgrün. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Berlin.  
[https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/gruenbuch-stadtgruen.pdf;jsessionid=0579552F86E06061833DBE35443E1754.2\\_cid373?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/gruenbuch-stadtgruen.pdf;jsessionid=0579552F86E06061833DBE35443E1754.2_cid373?__blob=publicationFile&v=4) (Zugriff: 28.07.2022).
- Guenther, A.; Zimmerman, P.; Harley, P.; Monson, R.; Fall, R. (1993): Isoprene and Monoterpene Emission Rate Variability: Model Evaluations and Sensitivity Analyses. In: *Journal of Geophysical Research* 98: 12,609-12,617.
- Henninger, S.; Weber, S. (2020): Stadtklima. Schöningh Verlag, Paderborn.
- Kesselmeier, J.; Staudt, M. (1999): Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. In: *Journal of Atmospheric Chemistry* 33: 23-88.
- Pérez-Rial, D.; Penuelas, J.; López-Mahía, P.; Llusà, J. (2009): Terpenoid emissions from *Quercus robur*. A case study of Galicia (NW Spain). In: *Journal of Environmental Monitoring* 11: 1268-1275.
- Pokorska, O.; Dewulf, J.; Amelynck, C.; Schoon, N.; Simpraga, M.; Steppe, K.; Van Langenhove, H. (2012): Isoprene and terpenoid emissions from *Abies alba*: Identification and emission rates under ambient conditions. In: *Atmospheric Environment* 59: 501-508.
- Räisänen, T.; Ryyppö, A.; Kellomäki, S. (2009): Monoterpene emission of a boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 808-819.
- Ruuskanen, T. M.; Hakola, H.; Kajos, M. K.; Hellén, H.; Tarvainen, V.; Rinne, J. (2007): Volatile organic compound emissions from Siberian larch. In: *Atmospheric Environment* 41: 5807-5812.
- Sharkey, T.; Wiberley, A.; Donohue, A. (2008): Isoprene Emission from Plants: Why and How. In: *Annals of Botany* 101: 5-18.
- Smiatek, G.; Steinbrecher, R. (2006): Temporal and spatial variation of forest VOC emissions in Germany in the decade 1994-2003. In: *Atmospheric Environment* 40: 166-177.
- Wagner, P.; Kuttler, W. (2014): Biogenic and anthropogenic isoprene in the near-surface urban atmosphere – A case study in Essen, Germany. In: *Science of the Total Environment* 475: 104-115.
- Wiedinmyer, C.; Guenther, A.; Harley, P.; Hewitt, N.; Geron, C.; Artaxo, P.; Steinbrecher, R.; Rasmussen, R. (2004): Global Organic Emissions from Vegetation. In: Granier, C.; Artaxo, P.; Reeves, C. (Edit.): *Emissions of Atmospheric Trace Compounds*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 115-170.