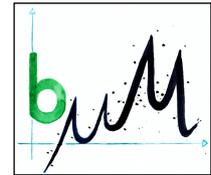




UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Mikrometeorologie • Universität Bayreuth • 95440 Bayreuth
Ulrich Meyer zu Hellingen
Stadt Bayreuth
Dienststellenleiter Stadtplanungsamt
Postfach 10 10 52
95410 Bayreuth

Mikrometeorologie



Prof. Dr. Christoph Thomas

Telefon: +49 (0)921 55 2293
Sekretariat: +49 (0)921 55 2253
Fax: +49 (0)921 55 2366
Email: christoph.thomas@uni-bayreuth.de
Internet: www.bayceer.uni-bayreuth.de/meteo/

Postanschrift: Besucher: GEO II, Raum 114
Universität Bayreuth Universitätstraße 30
95440 Bayreuth 95447 Bayreuth

Bayreuth, den 20. August 2021

Betr.: Ergebnisse aus dem wissenschaftlichen Feldversuch zur möglichen Überströmung der Bundesautobahn A9 auf der Höhe des Wohngebiets Eichelberg im Stadtgebiet Bayreuth

Sehr geehrter Herr Meyer zu Hellingen,

gerne komme ich Ihrer Bitte um eine Einschätzung der nächtlichen Luftströmungen an dem Abschnitt der Bundesautobahn A9 auf Höhe des Wohngebiets Eichelberg im Stadtgebiet Bayreuth nach. Die zu beantwortende Fragestellung lautete, ob die östlich der BAB auf dem Höhenrücken des Eichelbergs/ Panoramastrasse gebildeten nächtlichen Kaltluftströme die BAB überströmen, und somit als Zustrom kalter Luft westlich der BAB in den Stadtteil Lohe zur Minderung nächtlicher Wärmebelastung dem größeren Bayreuther Stadtgebiet beitragen können.

Versuchsaufbau: Zur Beantwortung dieser stadtmeteorologischen Fragestellung, die allein mit den vorhandenen Wetterstationen des MiSKOR-Wettermessnetzwerkes nicht zu beantworten war, wurde ein zeitlich begrenzter Feldversuch im Zeitraum 24.09. bis 12.10.2020 in dem Untersuchungsgebiet durchgeführt (Abb.1). Zusätzliche Messungen beinhalteten die Erfassung der höhenaufgelösten Windgeschwindigkeit, -richtung und Turbulenzintensität mit einem akustischen bodengestützten Windprofiler (miniSODAR, SODAR = SOund Detection And Ranging), sowie einer auf einem ausschließbaren Teleskopmast installierten Mikrowetterstation in Höhe von 12,0 m über Grund. Die Höhengauflösung des Windprofilers ist 5 m, die zeitliche Aggregation beträgt 10 min. Die Installation der Messgeräte erfolgte auf dem Privatgrundstück ‚Obstgarten‘ nach freundlicher Genehmigung des Eigentümers. Stromversorgung zum Betrieb der Messgeräte wurde von einem benachbarten Grundstück sichergestellt. Die in 12 m Höhe installierte Mikrowetterstation (Typs MA-4100, Meter Group, München) ist baugleich mit den anderen im MiSKOR-Wettermessnetzwerk verwendeten Geräte. Die Anpassung der Höhe auf 12,0m erfolgte aufgrund der deutlich erhöhten Rauigkeit durch die rasterförmig angeordneten alten Obstbäume am Messstandort, um eine Veränderung der Luftbewegung durch die vorhandenen Rauigkeitselemente auszuschließen. Das Ziel war die Erfassung der möglichen Kaltluftströme des Quellgebiets östlich der BAB im Stadtteil Eichelberg, die aufgrund des Reliefs nach Überströmung der BAB als Höhenströmung an dem Messstandort zu erwarten waren. Ergänzend wurden die Messungen der seit 2019 installierten MiSKOR-Wetterstation

am Eichelberg und der von meiner Arbeitsgruppe betriebenen Referenzstation im Ökologisch Botanischen Garten (ÖBG) der Universität Bayreuth verwendet, um Strömung und Temperatur östlich der BAB bzw. im Bayreuther Tal zu charakterisieren.

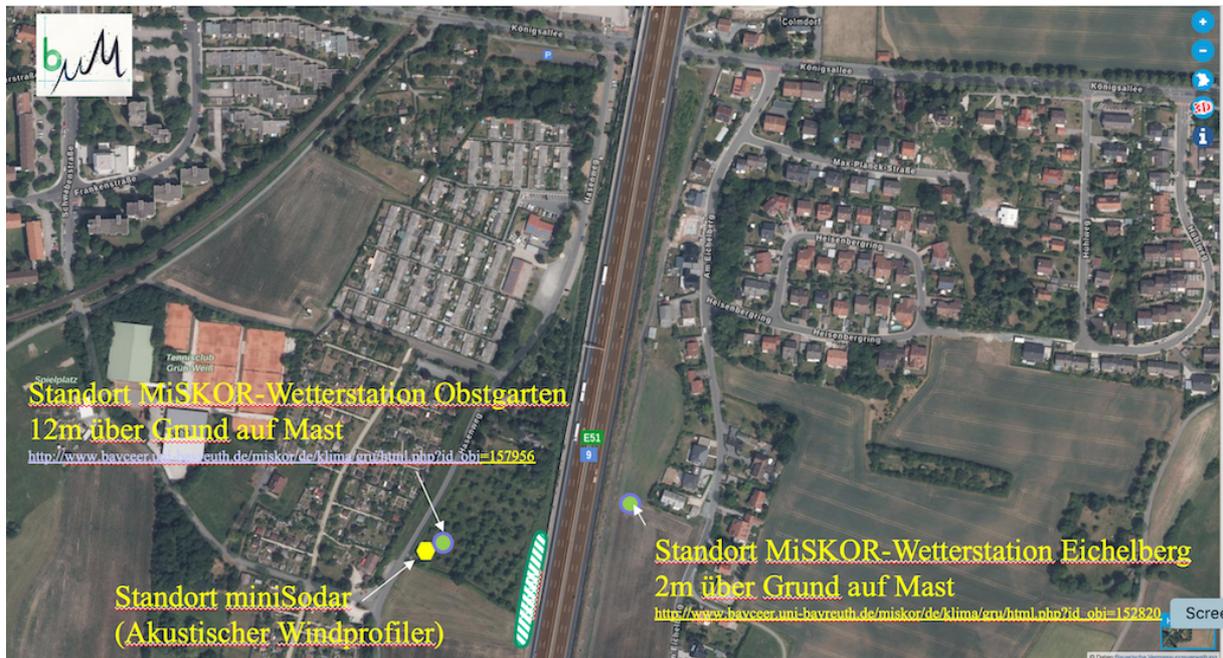


Abbildung 1: Karte des Versuchaufbaus zur Untersuchung der nächtlichen Kaltluftströme am Eichelberg, BAB A9 und Lohr im Stadtgebiet Bayreuth. Der Untersuchungszeitraum war der 24.09. bis 12.10.2020.

Auswertung der Messungen: Trotz des recht knappen Messzeitraums von 18 Tagen konnten aufgrund der jahreszeitlichen Ausprägung des Wetters in der Übergangsperiode von Spätsommer zu Herbst eine hohe Anzahl von Nächten mit schwachen Winden ohne nennenswerte Bewölkung und folglich Kaltluftbildung beobachtet werden. Analog zu vorangegangenen Auswertungen von Kaltluftdynamik im Stadtgebiet Bayreuth (Spies, 2019; Tschuschke, 2020; Sungur, 2021) wurden Kaltluftnächte an dem Temperaturunterschied zwischen den MiSKOR-Wetterstationen ‚Kämmerei‘ im Zentrum und ‚Mistel‘ am innenstadt-

nahen grünen Finger des Bayreuther Innenstadtgebiets identifiziert (Abb. 2). Dieser Temperaturunterschied soll $\Delta T < -2$ K bei einer horizontalen Böenwindgeschwindigkeit an der Mistel $U < 2.2$ ms^{-1} betragen.

Unterscheidung Kalt- und Warmluftnächte

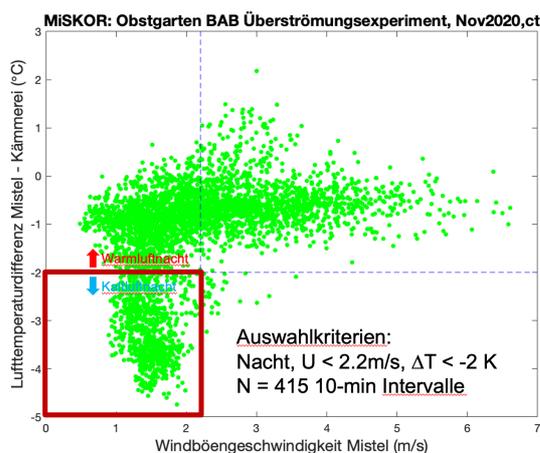


Abbildung 2: Verwendete Kriterien zur Ermittlung der prozessrelevanten Kaltluftnächte und -intervalle. Erläuterungen siehe Text.

Insgesamt zeigten 415 10-min Intervalle deutliche Kaltluftbildung anhand der gewählten Kriterien, was einem durchgehenden Zeitraum von 2,9 Tagen, oder ca. 16% des Messzeitraums entspricht. Aufgrund des episodenhaften Charakters der Kaltluftbildung und -dynamik innerhalb einer Nacht verteilten sich die 415 Intervalle jedoch auf insgesamt 12 der 18 beprobten Nächte, was ca. 67% entspricht (Abb. 3). Die statistische Datengrundlage kann daher als gut eingestuft werden, um repräsentative Aussagen machen zu können.

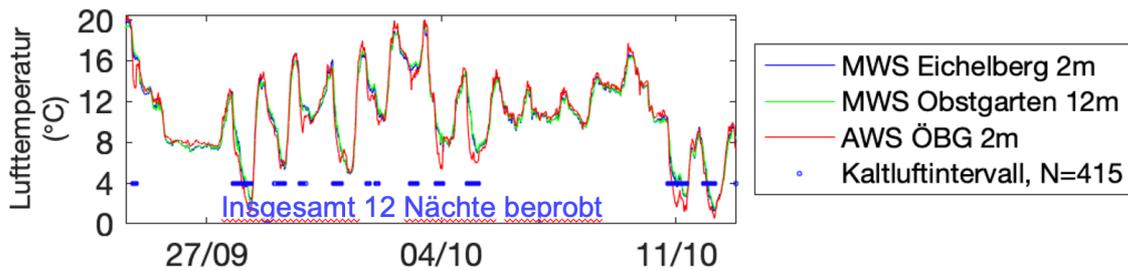


Abbildung 3: Lufttemperaturen gemessen an verschiedenen Messstationen im Untersuchungsgebiet, sowie zeitliche Verteilung der 415 Messintervalle (10-min Länge) im Messzeitraum. Erläuterungen siehe Text.

Ergebnisse der Messungen: Die Gegenüberstellung einzelner Messgrößen an verschiedenen Stationen in Form von Streudiagrammen lassen Folgendes erkennen (Abb.4):

- Die Windgeschwindigkeiten am Obstgarten sind generell höher als am Eichelberg, was durch den größeren Höhenversatz zur Unterlage erklärbar ist, da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt. Die Messdaten sind jedoch gut korreliert, was auf einen ursächlichen Zusammenhang schließen lässt. Im Vergleich dazu zeigt der ÖBG eine deutlich schwächere Strömung trotz der großen Messhöhe von 17m über Grund. Diese räumliche Entkopplung ist typisch für Kaltluftsee und -strömungen, die oftmals durch kleinräumige Hindernisse und lokale Topographie gelenkt werden.
- Die Windrichtungen zwischen Eichelberg und Obstgarten zeigen eine hohe Korrelation. Generell lassen sich zwei verschiedene Sektoren erkennen: Ost (80-120°) und SSE (140-180°). Im Vergleich dazu erreichen im ÖBG die Kaltluftströme die Station aus Süd bis West und folgen damit dem Gefälle entlang des Sophienbergs.
- Die Lufttemperaturen und Luftfeuchten zwischen Eichelberg und Obstgarten sind sehr eng korreliert, und lassen auf eine Beprobung der gleichen Luftströmungen schließen. Im Vergleich dazu zeigt der ÖBG niedrigere Lufttemperaturen, bedingt durch die längere Auskühlstrecke entlang des Sophienbergs.

MISKOR: Obstgarten BAB Überströmungsexperiment, Kaltluftintervalle, Nov2020,ct

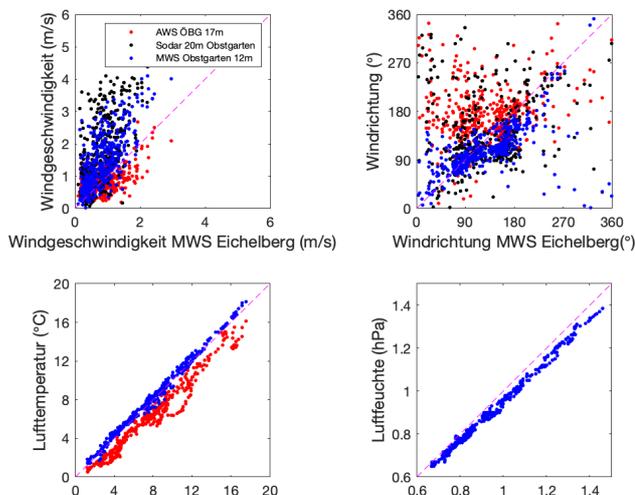


Abbildung 4: Statistiken zur Windgeschwindigkeit (oben links), Windrichtung (oben rechts), Lufttemperatur (unten links) und Luftfeuchte (unten rechts) für die ausgewählten Kaltluftintervalle (N=415) an verschiedenen Stationen im Bayreuther Stadtgebiet. Erläuterungen siehe Text.

Diese Erkenntnisse lassen die Luftströmung in Kaltluftnächten in eine Einteilung in zwei Windrichtungssektoren zu: Einen Ostsektor (80 bis 120°), und einen Südsüdostsektor (140 bis 180°; Abb. 5). Im Folgenden wurde diese Differenzierung der Windsektoren für die Auswertung der Messungen verwendet. Die Analyse der höhenabhängigen Windgeschwindigkeiten und -windrichtungen, die mithilfe des akustischen Windprofilers gesammelt wurden, lassen folgende Ergebnisse erkennen (Abb. 6):

- Für Ostströmung am Eichelberg ergibt sich ein sehr typisches Kaltluftströmungsprofil am Obstgarten: bodennah folgt die Strömung der Geländeneigung, mit der Höhe dreht sie sich auf die Richtung der vorherrschenden Höhenströmung; die Geschwindigkeiten sind generell gering (< 2 m/s) bis ca. 160 m über Grund. Die Stationen Eichelberg und Obstgarten sind sehr gut in der Strömung gekoppelt; → **in diesem Fall ist eine Überströmung der BAB durch die Kaltluft sehr wahrscheinlich.**
- Für SSO-Strömung am Eichelberg ist das Windprofil am Obstgarten entkoppelt: es herrscht ein systematischer Richtungsversatz bodennah von ca. 50° vor, insgesamt ist die Höhenvariation der Windrichtung sehr gering. Die Geschwindigkeiten am Obstgarten sind deutlich höher als am Eichelberg, und nehmen mit der Höhe deutlich zu. Am Obstgarten wird daher eher die im gesamten Bayreuther Tal vorherrschende Strömung erfasst, die von dem Kaltluftabfluss am Eichelberg verschieden ist. → **in diesem Fall ist eine Überströmung der BAB durch die Kaltluft unwahrscheinlich.**

Die Ergebnisse sind noch einmal graphisch in der Abb. 7 zusammengefasst.

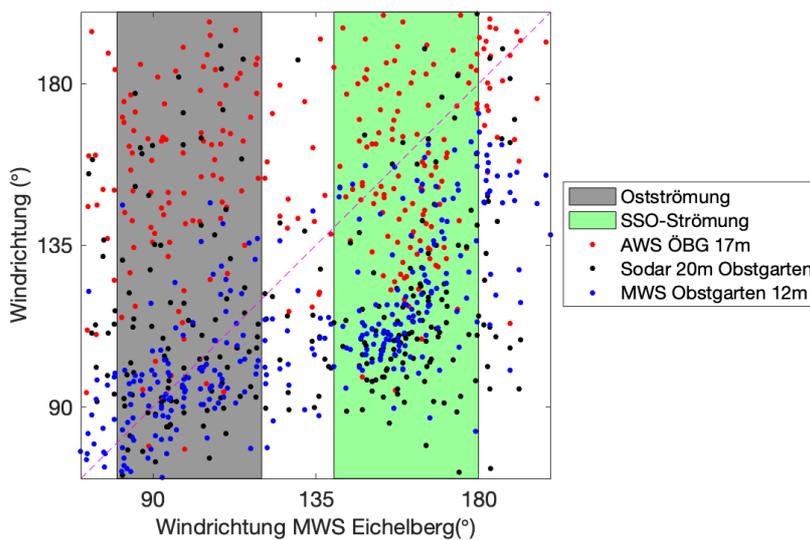


Abbildung 5: Streudiagramm der gemessenen Windrichtungen an den Stationen Eichelberg und Obstgarten zu den ausgewählten Kaltluftintervallen (N=415): es ist eine deutliche Einteilung in zwei Sektoren (Ost, und SSO) zu erkennen.

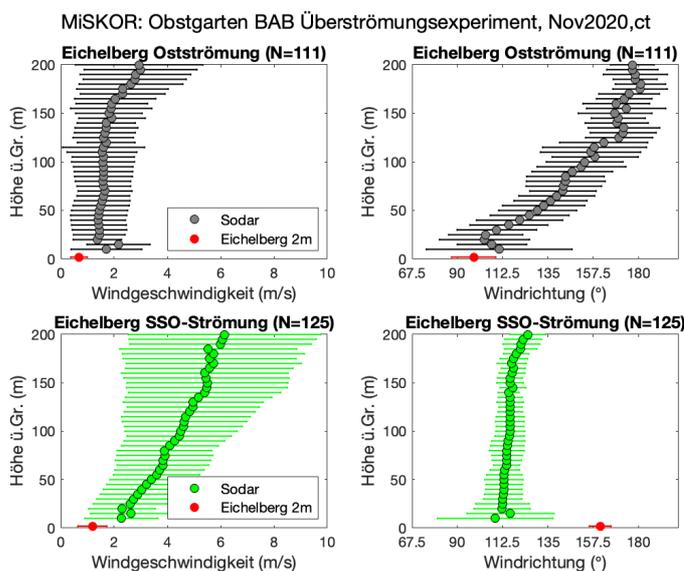


Abbildung 6: Profile der Windgeschwindigkeit (links) und -richtung (rechts) für die zwei Windrichtungssektoren bei Kaltluftbildung zu den ausgewählten Intervallen (N=111 und N=125 10-min Intervalle). Erläuterungen siehe Text.



Abbildung 7: Karte des Untersuchungsgebiets mit den festgestellten nächtlichen Strömungsregimen bei Kaltluftbildung und -abfluss am Eichelberg. Erläuterungen siehe Text.

Sollte im Rahmen von stadtplanerischen Maßnahmen am Eichelberg eine Veränderung der Oberflächenstruktur durch z.B. zusätzliche Bebauung vorgenommen werden, sind die Folgen für das größere Stadtgebiet Bayreuth im Fall einer Ostströmung spürbar, da die BAB sehr wahrscheinlich überströmt wird und damit die Kaltluft in dem momentanen Zustand auf die westliche Seite der BAB gelangt. Folgen schließen die Minderung der nächtlichen Abkühlung durch die Kaltluftzufuhr aus dem Quellgebiet des Eichelbergs ein, die wiederum zu einer höheren gesundheitlichen Belastung der Bewohner Bayreuths westlich der BAB, aber auch der Anwohner am Eichelberg resultieren könnte. Bebauungsmaßnahmen sollte daher mit einer größtmöglichen Vorsicht geplant, und erst nach reiflicher Abwägung aller Vor- und Nachteile umgesetzt werden, um eine nachhaltige negative Beeinträchtigung des Bayreuther Stadtklimas zu vermeiden. Die kühle Luft in Städten ist vor dem Hintergrund der ohnehin steigenden bodennahen Lufttemperaturen im Rahmen des menschenverstärkten Klimawandels ein hohes Schutzgut, das zu einer nachhaltigen Wohnbarkeit unserer Städte deutlich beiträgt.

Ich bedanke mich für die Gelegenheit, Ihnen einige Erkenntnisse aus der mikroklimatischen Forschung in Bayreuth mitteilen zu dürfen. Für Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,

Christoph Thomas

Prof. Dr. Christoph Thomas