

Black Carbon (BC) Messungen zur selektiven Identifizierung von Feinstaubemissionen

Jeannine Schieder¹ Autor, Christof Sumereder Co-Autor,
Melanie Horn Co-Autor, Karin Kuchler Co-Autor

FH JOANNEUM GmbH – Institut Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement, Werk-VI-
Straße 46 | 8605 Kapfenberg, +43 316 5453 8386, jeannine.schieder@fh-joanneum.at,
www.fh-joanneum.at

Kurzfassung:

Biomasse in Form von Pellets, Hackschnitzel oder Scheitholz deckt einen großen Teil des Wärmebedarfs im ländlichen alpinen Raum. Sie ist eine wichtige Ressource zur Energiebereitstellung für die Raumheizung oder Warmwasseraufbereitung. Die Verbrennung von Biomasse hat den Nachteil, dass in geringen Mengen Schadstoffe und damit auch Feinstaub, entstehen. Feinstaub ist daher nicht nur ein zentrales Thema für die Politik, sondern auch für die Energiewirtschaft von großer Bedeutung, da die Energieversorgung eine der Hauptquellen für Feinstaubemissionen weltweit ist. Aus diesem Grund hat sich das Institut Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement der FH JOANNEUM zum Ziel gesetzt, im Rahmen des Forschungsprojektes "BB-Clean - Strategische Werkzeuge für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse für Haushaltsheizungen" dieses Thema mit Hilfe neuester Technologien näher zu untersuchen. Der so genannte Black Carbon (BC) Monitor ermöglicht es, immer kleinere kohlenstoffhaltige Partikel im Feinstaub durch Lichtabsorption zu analysieren und aufgrund ihrer Herkunft oder Entstehung verschiedenen Quellen zuzuordnen. Mit Hilfe einer spektralen Transmissionsmessung werden die Feinstaubpartikel in Intervallen von einer Minute mit zehn variablen Bandbreiten im Wellenlängenbereich von 370 bis 950 nm analysiert. Diese Daten können dann interpretiert werden, indem bestimmte Wellenlängenbereiche definierten Quellen zugeordnet werden. Im Zuge der Heizperiode im Winter 2019/2020 wurden in der obersteirischen Gemeinde Thörl in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt erstmals Messungen durchgeführt, um zwischen Feinstaubemissionen aus der Verbrennung von Biomasse und dem Verkehr zu differenzieren. Auch in der letzten Heizperiode 2020/2021 wurden im Rahmen des Projektes BB-Clean in Kooperation mit dem Land Steiermark spezifische Messungen mit dem Schwerpunkt auf Emissionen aus dem Bereich Verkehr durchgeführt. Als Standort wurde dabei eine verkehrsnahe Messung an einer stark befahrenen Straße in der Stadt Bruck an der Mur, Steiermark, gewählt, um deutliche Unterschiede zwischen den beiden Messkampagnen zu generieren und somit Rückschlüsse auf die Zuordenbarkeit von Feinstaubemissionen im Vergleich der beiden Standorte ziehen zu können. Das vom Land Steiermark betriebene Luftgütemessnetz bietet zwar zahlreiche Methoden zur Analyse verschiedenster Parameter, nicht jedoch die Möglichkeit der direkten Zuordnung partikelförmiger Feinstaubemissionen zu deren Ursprung und somit einer Quellenanalyse, wie es der BC-Monitor zulässt. Im nächsten Schritt wäre es daher von besonderem Interesse

¹ Jungautor

eine Messkampagne mit dem BC-Monitor in einer weiteren steirischen Gemeinde zu starten und die Messungen über eine längere Dauer von etwa drei Jahren am selben Standort zu betreiben.

Keywords: Feinstaub, Black Carbon, Black Carbon Monitoring, Quellenzuordnung, Mobile Feinstaubmessung

1 Einleitung



Abbildung 1: Schwerpunkte des Projektes BB-Clean [11]

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gehört die Außenluftverschmutzung zu den Umwelteinflüssen, die weltweit die größten gesundheitlichen Auswirkungen haben. In diesem Zusammenhang schätzt die WHO, dass mehr als 6 Millionen vorzeitige Todesfälle auf verschmutzte Luft zurückzuführen sind. [1] Obwohl die Luftqualität in Österreich in den letzten Jahrzehnten durch zahlreiche Maßnahmen deutlich verbessert wurde, kommt es vor allem in den Wintermonaten immer noch zu Überschreitungen der Grenzwerte verschiedener Luftgüteparameter. [2] Dies gilt

natürlich auch für viele andere Länder in Europa. Feinstaub ist ein Teil des luftgetragenen Staubes, dessen genaue Definition auf den 1987 eingeführten "National Air Quality"-Standard für Feinstaub zurückgeht. Feinstaub entsteht nicht nur bei Verbrennungsprozessen in Öfen, sondern auch im Verkehr, in der Industrie und bei der Nukleation von kondensierbaren Gasen. Zwei Bestandteile des Feinstaub sind derzeit wegen ihrer Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit besonders umstritten. Dabei handelt es sich um ultrafeine Partikel (UFP) und Black Carbon. Bislang gibt es nur sehr wenige systematische Messungen und die Messmethoden für UFP und BC sind noch nicht standardisiert, so dass nur unzureichende Kenntnisse vorliegen. [3] Aus diesem Grund haben sich acht Partner aus fünf Ländern (Slowenien, Italien, Frankreich, Deutschland und Österreich) im Rahmen des Interreg Alpine Space Projekts BB-CLEAN zusammengeschlossen, um gemeinsam an der Entwicklung transnationaler Strategien für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse für Haushaltsheizungen und eine kohlenstoffarme Klimapolitik zu arbeiten. Feinstaub ist nicht nur ein zentrales politisches Thema und wichtig für die private Biomasseverbrennung, sondern auch für die Energiewirtschaft, da die Energieversorgung eine der Hauptquellen für Feinstaubemissionen weltweit ist. Aus diesem Grund und der Tatsache, dass fast alle EU-Mitgliedsstaaten außer Österreich, Messdaten zur Erstellung eines Emissionsinventars im Sinne des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der UN-Wirtschaftskommission für Europa übermitteln, hat sich das Institut für Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement der FH JOANNEUM zum Ziel gesetzt, dieses Thema näher zu untersuchen.

2 Feinstaub

Staub ist ein komplexes, heterogenes Gemisch aus festen oder flüssigen Partikeln, die sich in Größe, Form, Farbe, chemischer Zusammensetzung, physikalischen Eigenschaften, Herkunft und Entstehung unterscheiden. [4] Üblicherweise wird die Staubexposition anhand der Masse verschiedener Größenfraktionen wie Schwebstoffe insgesamt (TSP) und Feinstaub in verschiedenen Größen (PM10 & PM2,5) beschrieben. Die Zahlen für PM geben den Durchmesser der Partikel in Mikrometern an.

Feinstaub entsteht bei verschiedensten Verbrennungsprozessen, kann aber auch aus Vorläufersubstanzen wie SOx und NOx gebildet werden. Er führt zu gravierenden negativen Auswirkungen sowohl in der Umwelt als auch im menschlichen Organismus und ist besonders problematisch, da er aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften auch über weite Strecken transportiert werden kann. Aus diesem Grund muss sichergestellt werden, dass die Feinstaubemissionen in Zukunft nicht nur in Österreich und Europa, sondern auch in anderen Teilen der Welt kontinuierlich reduziert werden. Dies erfordert in einem ersten Schritt eine Verpflichtung zur Messung von Black Carbon in allen EU-Mitgliedsstaaten, denn nur durch eine flächendeckende Erhebung können Reduktionsmaßnahmen nachhaltig bewertet werden. [4]

2.1 Grenzwerte für Feinstaub

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, in einem ersten Schritt zwischen Emission und Immission zu unterscheiden. Das Umweltbundesamt und die neun Bundesländer Österreichs führen an verschiedenen Standorten Luftgütemessungen durch, bei denen neben anderen Luftschadstoffen auch die wichtigsten Feinstaubfraktionen PM10 und PM2,5 analysiert werden. Dabei wird vor allem die Immission von Feinstaubpartikeln an diesen Standorten erhoben. Wird im Vergleich dazu die Industrie und auch die Energieversorgung betrachtet, so ist die Messung von spezifischen Luftschadstoffen in Form von Emissionsmessungen vorgeschrieben. Auf beiden Seiten hat jedoch die Einhaltung bestimmter Grenzwerte, die durch ordnungsrechtliche Maßnahmen festgelegt werden, höchste Priorität. Auch bei diesen Grenzwerten ist zwischen Emission und Immission zu differenzieren. Nach dem Immissionsschutzgesetz - Luft (IG-L) und der zugehörigen EU-Richtlinie ist Österreich zur Einhaltung von Tages- und Jahresmittelwerten für Feinstaub verpflichtet. Diese sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Feinstaubgrenzwerte und Überschreitungstage in Österreich [4]

Feinstaub	Konzentration	Average Period
PM10	50 µg/m³	Tagesmittelwert (25 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig)
PM10	40 µg/m³	Jahresmittelwert
PM2.5	25 µg/m³	Jahresmittelwert

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Grenzwerten gibt es für verschiedene Industriezweige sowie Energie- und Stromerzeugungsinfrastrukturen weitere spezifische Emissionsgrenzwerte.

2.1.1 Emissions- bzw. Immissionstrends in Österreich

Seit 2004 stehen Daten von 75 Messstationen zur Verfügung, um den langfristigen Trend der PM10-Belastung zu bewerten. Daten über die Belastungssituation in den fünf größten Städten Österreichs sind seit 2002 verfügbar. Die PM10-Belastung in Österreich zeigt einen langfristigen Rückgang sowohl bei der Anzahl der Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ als auch bei den Jahresmittelwerten. Sowohl bei der Anzahl der Überschreitungstage als auch bei den Jahresmittelwerten weist das Jahr 2019 die bisher geringste Belastung auf. Noch vor zehn Jahren lag die Anzahl der Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ pro Kalenderjahr in allen Großstädten, aber auch im ländlichen Hintergrund im Nordosten Österreichs über den IG-L-Grenzwerten. In der am stärksten belasteten Stadt Graz sank die Zahl der Überschreitungen von über 100 Tagen in den Jahren bis 2006 auf rund 40 Tage in den Jahren 2013 bis 2018. Im Jahr 2019 ist die Anzahl der Überschreitungstage in Graz im Vergleich zum Jahr 2018 wieder deutlich zurückgegangen. Damit wurde erstmals der aktuell gültige IG-L-Grenzwert österreichweit eingehalten.

Für die Beurteilung des Trends der PM2,5-Belastung steht nur ein begrenzter Datensatz zur Verfügung, da das PM2,5-Messnetz erst in den letzten Jahren aufgebaut wurde. Konkret stehen für PM2,5 im Jahr 2019 laut IG-L im Vergleich zu PM10 54 Messstellen zur Verfügung. Die PM2,5-Messstellen zeigen österreichweit ein relativ gleichmäßiges Abnahmeverhalten.

Die Entwicklung der PM2,5-Emissionen und der PM2,5-Belastung wird von denselben Faktoren beeinflusst wie bei PM10. Trotz des kontinuierlichen Rückgangs der Feinstaubemissionen ist es jedoch wichtig, weitere Reduktionsmaßnahmen zu setzen, da die Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit im Bereich Feinstaub besonders stark sind.

3 Black Carbon Monitoring

Black Carbon ist die Bezeichnung für die lichtabsorbierenden kohlenstoffhaltigen Substanzen, die Teil der atmosphärischen Aerosole wie Feinstaub sind [5] und hauptsächlich aus der unvollständigen Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Biomasse und Biokraftstoffen stammen. Die wichtigsten Quellen, die weltweit zur Entstehung von BC-Emissionen beitragen, sind die Verbrennung im Freien (Waldbrände und Verbrennung von biogenen Abfällen), die Verbrennung fester Brennstoffe in privaten Haushalten sowie der Verkehr und die Industrie. [6] Im Rahmen des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa berichten alle EU-Länder außer Österreich und Luxemburg über BC-Emissionen. Aus den Aufzeichnungen der Europäischen Energieagentur, die von 2000 bis 2018 reichen, geht hervor, dass in dem genannten Zeitraum eine durchschnittliche Reduzierung der BC-Emissionen um mehr als 45 % in Europa erreicht werden konnte. [7] Für Österreich kann dazu keine Aussage getroffen werden, da aufgrund fehlender gesetzlicher Vorgaben keine

Messungen durchgeführt werden. Aus diesem Grund gibt es in Österreich auch noch keine Grenzwerte für Black Carbon. [10]

3.1 Black Carbon Messungen

BC kann mit optischen Methoden analysiert werden, die die Absorption oder Reflexion von Licht durch eine Feinstaubprobe messen. Mit dem Aethalometer BC 1054 von Met One Instruments der FH JOANNEUM werden Partikel kontinuierlich auf einem Glasfaser-Filterband gesammelt und bei verschiedenen Wellenlängen analysiert, die vom nahen Ultravioletten (UV) bis zum nahen Infrarotbereich (IR) reichen. Durch Abschwächung des transmittierenden Lichts durch das Filterband kann der Absorptionskoeffizient bei zehn verschiedenen Wellenlängen (370, 430, 470, 525, 565, 590, 660, 700, 880 und 950 nm) bestimmt und die BC-Konzentration in Echtzeit als 1-Minuten-Mittelwert berechnet werden. Der BC-Monitor ermöglicht Messungen bei zwei verschiedenen Durchflussraten (2 und 5 Liter pro Minute), außerdem können Einlassköpfe für TSP, PM10, PM2.5 und PM1 angebracht werden. Die FH JOANNEUM verwendet in ihren aktuellen Messkampagnen einen Einlasskopf für PM2,5. Die Analyse von Feinstaubpartikeln bei verschiedenen charakteristischen Wellenlängen kann in weiterer Folge zur Unterscheidung von BC aus unterschiedlichen Quellen, wie Biomassefeuerungsanlagen (370 nm) oder Verkehr (880 nm), genutzt werden. [8]

3.2 Interreg Alpine Space Projekt „BB-Clean“

Im Rahmen des Projekts "BB-CLEAN - Strategische Werkzeuge für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse für Hausheizungen" wurde ein Forschungsschwerpunkt auf die spektrale Analyse von Feinstaubpartikeln mittels BC-Monitor gelegt. Im Zuge des Projekts wurde in der Heizperiode 2019/2020 in der steirischen Gemeinde Thörl in Kooperation mit dem Umweltbundesamt ein Messcontainer zur Messung von Feinstaub, insbesondere von Black Carbon und anderen Luftqualitätsparametern, aufgestellt. Im Oktober des vergangenen Jahres wurde eine zweite Messkampagne mit dem BC-Monitor in Kooperation mit der Abteilung 15 Energie, Wohnen, Technik - Abteilung Luftreinhaltung des Landes Steiermark gestartet. Während zu Beginn der Schwerpunkt auf der Messung von BC-Emissionen aus Haushaltsheizungen lag, stand im vergangenen Jahr die Messung von verkehrsbedingten BC-Emissionen im Vordergrund. Zu diesem Zweck wurde der BC-Monitor der FH JOANNEUM in einem Messcontainer des Landes Steiermark an der stark befahrenen Wiener Straße (B116) in der Nähe der Volksschule Berndorf in Bruck an der Mur installiert. Die jeweiligen Messergebnisse des BC-Monitors können tagesaktuell online unter www.blackcarbon.at abgerufen werden. Ein Beispiel für die Auswertung eines Messtages mit dem BC-Monitor ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

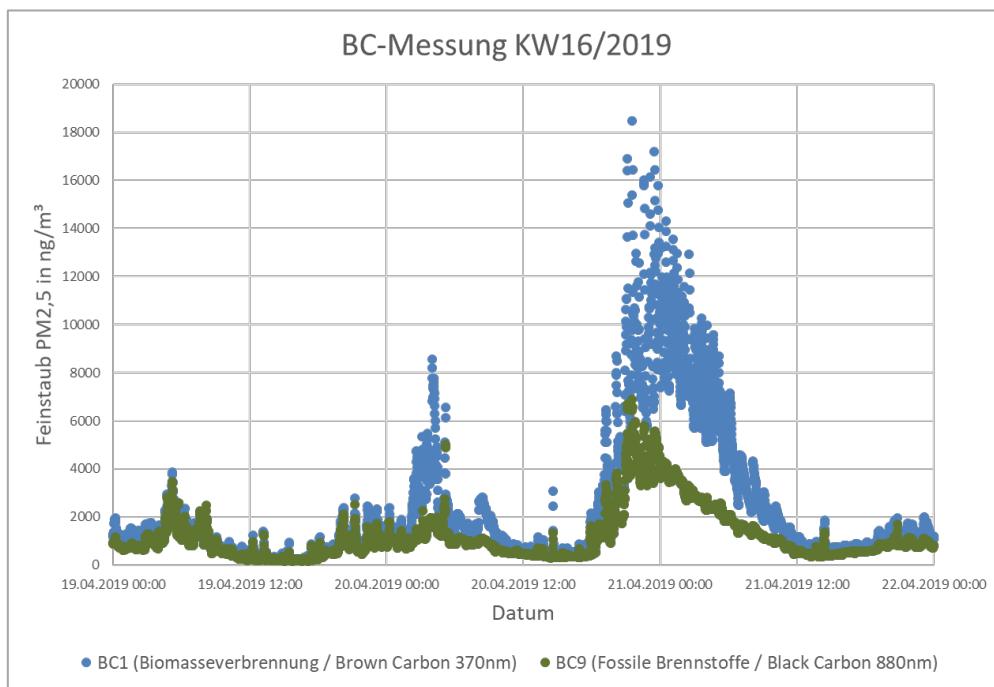


Abbildung 2: BC-Messung in der Osterwoche 2019

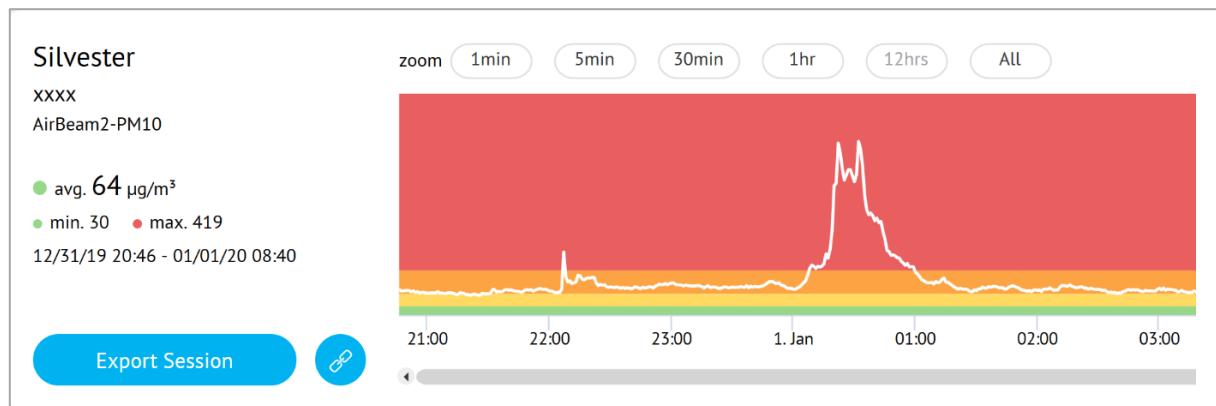
Abbildung 2 oben zeigt die Messung von Black Carbon in der Osterwoche 2019. Die blauen Punkte zeigen BC1, welcher der Verbrennung von Biomasse zugeschrieben werden kann, während die grünen Punkte (BC9) die Verbrennung fossiler Brennstoffe darstellen. Bei der Betrachtung der Abbildung wird der exorbitante Anstieg von BC1 während des Osterwochenendes deutlich, was auf die zahlreichen Osterfeuer in der Region zurückzuführen ist. Derartige Extremereignisse sind zum Beispiel auch an Silvester zu beobachten.

Das vom Land Steiermark betriebene Luftgütemessnetz bietet zwar zahlreiche Methoden zur Analyse verschiedenster Parameter, nicht jedoch die Möglichkeit der direkten Zuordnung partikelförmiger Emissionen zu deren Ursprung und somit einer Quellenanalyse, wie es der BC-Monitor zulässt. Im nächsten Schritt wäre es daher von besonderem Interesse eine Messkampagne mit dem BC-Monitor in einer weiteren steirischen Gemeinde zu starten und die Messungen über eine längere Dauer von etwa drei Jahren am selben Standort zu betreiben. Da aktuell Bund und Länder sehr stark darauf abzielen die Luftemissionen weiter zu reduzieren und dies durch Förderungen wie „Raus aus Öl und Gas“ unterstützen, liegt der Fokus in Zukunft auf der Validierung dieser Fördermaßnahmen zur Feinstaubreduktion.

4 Mobile Feinstaubmessungen im Citizen Science Ansatz

Da, wie bereits erwähnt, Feinstaub- und BC-Emissionen in der Außenluft vor allem durch Verbrennungsprozesse, wie z.B. in Privathaushalten, im Verkehr und bei verschiedenen Stromerzeugungsanlagen, verursacht werden, ist es von zentraler Bedeutung, die Bevölkerung über die Herkunft dieser Luftschadstoffe zu informieren und ihr Bewusstsein dafür zu stärken, dass jeder Einzelne dazu beitragen kann, die Luftqualität kontinuierlich zu verbessern. Im Rahmen des Projekts BB-Clean wurde am Institut für Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement der FH JOANNEUM eine Bewusstseinsbildungskampagne mit

mobilen Feinstaubsensoren durchgeführt. Diese sogenannten AirBeam-Sensoren ermöglichen die Aufzeichnung eines aktuellen und lokalen Feinstaubprofils über eine Smartphone-App und können so die Partikelkonzentrationen im Alltag der Bürger darstellen. Der AirBeam erfasst Feinstaub der Kategorien PM1, PM2,5 und PM10 sowie die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Um die Partikel zu messen, verwendet der AirBeam ein Lichtstreuverfahren. Die Luft wird in die Messkammer gesaugt und das Licht eines Lasers an den Partikeln gestreut. Die Streustrahlung wird dann detektiert und die Massenkonzentration der einzelnen Größenbereiche ausgegeben. Bei der Aufzeichnung einer sogenannten mobilen Sitzung werden die Messwerte einmal pro Sekunde über Bluetooth an die Air-Casting-App übertragen. Die App errechnet dann Minutenmittelwerte. Im Vergleich dazu werden bei einer festen, stationären Sitzung die Messwerte nur einmal pro Minute über WLAN oder das Mobilfunknetz übertragen. Die Ergebnisse werden dann auf einer digitalen



Karte oder als Grafik im Zeitverlauf dargestellt. Ein Beispiel hierfür ist in der folgenden Abbildung 3 dargestellt.

Die Abbildung zeigt die Nacht des 31. Dezember 2020, in der bereits in den Stunden vor Mitternacht ein leichter Anstieg des Feinstaubgehaltes (PM10) in der Grazer Außenluft zu beobachten war. Deutlich sichtbar ist jedoch der außerordentliche Anstieg der Feinstaubkonzentration um kurz nach Mitternacht, der ab etwa 01:00 Uhr langsam wieder abnimmt. Dennoch sind auch in den Stunden nach Mitternacht noch erhöhte Feinstaubkonzentrationen zu beobachten.

Darüber hinaus werden mit diesen tragbaren Messgeräten auch Workshops für Schüler, Studenten und interessierte Bürger angeboten, um sie für das Thema Feinstaub zu sensibilisieren. Dieser Ansatz entspricht dem so genannten Citizen Science-Ansatz, der die Einbindung der Bevölkerung in verschiedene Forschungsprojekte fördert. Interessierte

Abbildung 3: Feinstaubmessung in Graz – Silvester 2020

Menschen werden mit Forschungsfragen betraut, machen Beobachtungen oder führen Messungen durch. Die so gesammelten Daten können dann für Publikationen o.ä. verwendet werden, natürlich unter der Voraussetzung, dass alle wissenschaftlichen Kriterien erfüllt sind. [9] Ziel dieser Workshops ist es, Daten über Feinstaub in verschiedenen Regionen zu sammeln, die Ergebnisse mit denen anderer Länder zu vergleichen und so zur Bewusstseinsbildung der Bevölkerung beizutragen. Denn wer unnötige Fahrten mit fossil betriebenen Verkehrsmitteln vermeidet und richtig heizt, kann nicht nur die Umwelt schützen, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur Gesundheit der Menschen leisten.

Literatur

- [1] WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION, REGIONAL OFFICE FOR EUROPE (2017): Weiterentwicklung der Leitlinien der WHO für Luftqualität: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. WHO Regional Office for Europe. Kopenhagen
- [2] LAND STEIERMARK (2020): Saubere LUFT. Umweltinformation Steiermark. <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/2054533/DE/>. retrieved on January 12th, 2021
- [3] BUXBAUM, I.; NAGL, C.; SPANGL, W.; SCHIEDER, W.; ANDERL, M.; HAIDER, S. & PAZDERNIK, K. (2018): Analyse der Feinstaub-Belastung 2009-2017. Im Auftrag der Plattform Saubere Luft. Report REP-0646. Umweltbundesamt. Wien
- [4] UMWELTBUNDESAMT ÖSTERREICH (2021): Luftschadstoffe - Staub. <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/luft/luftschadstoffe/staub>. retrieved on February 22nd, 2021
- [5] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2016): WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures. Guidelines and Recommendations. GAW Report 227. Genf
- [6] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2013): Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe. EEA Technical Report No 18/2013. Kopenhagen
- [7] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2020): European Union emission inventory report 1990-2018 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA Technical Report No 5/2020. Kopenhagen
- [8] HERICH, H.; HUEGLIN, C. & BUCHMANN, B. (2011): A 2.5 year's source apportionment study of black carbon from wood burning and fossil fuel combustion at urban and rural sites in Switzerland. Atmos. Meas. Tec
- [9] CSÖ – Citizen Science Österreich – Österreich forscht (2020): Was ist Citizen Science. <https://www.citizen-science.at/allgemeines/was-ist-citizen-science>. retrieved on January 14th, 2021
- [10] BUXBAUM, I. & NAGL, C. (2018): Ultrafeine Partikel, Black Carbon. Aktueller Wissensstand. Report REP 0656. Umweltbundesamt. Wien
- [11] BB-CLEAN (2020): Interreg Alpine Space BB-Clean. Strategische Instrumente zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse und Emissionsreduktion bei Haushaltsheizungen. <https://www.alpine-space.eu/projects/bb-clean/en/home>.