Carbonaceous Particles in the Atmosphere

a.o. Univ.Prof. Dr. Hinrich Grothe

Technische Universität Wien, Institut für Materialchemie, Getreidemarkt 9/BC, A-1060 Wien

In the atmosphere a large variety of different carbonaceous particles are distributed. The most prominent species are soot, biomass burning organic aerosol, secondary organic aerosol, and primary biological aerosol particles. These particles have an important impact on the ecosystem, on human health, and on the radiation balance and thus on the climate. In many cases, including the trapping and prevention of particle emissions, the surface and morphology of these particles are of vital importance. Here, the techniques of spectroscopy and microscopy provide the best possibility, which can unravel the chemical reactivity and the risk potential of carbonaceous particles.

In this talk, several examples will be given of how carbonaceous particles can impact our environment and how they can be analyzed by optical spectroscopy, mass spectrometry, and optical and electron microscopy. In particular, these techniques allow monitoring the surface of the particles and help to understand how oxidation, nitration, and halogenation occur. Another focus will be on nucleation processes which are triggered by aerosols and are affecting our climate. Even though most of the carbonaceous particles have a direct warming potential through their absorption cross section, they can also cause an indirect cooling effect. This is due to their ability to trigger heterogeneous nucleation of ice clouds, which are shielding the incoming solar radiation in the upper troposphere and thus are cooling.

Lehrvortrag I: Ozon in der Troposphäre

In dieser Grundlagenvorlesung wird Ozon (O_3) als chemisches Molekül und Oxidationsmittel vorgestellt. Es wird der Unterschied zwischen Ozon in der Stratosphäre und der Troposphäre erläutert, sowie die Austauschprozesse zwischen beiden Schichten. Der Schwerpunkt der Lehrveranstaltung wird auf dem komplexen Reaktionsmechanismen der troposphärischen Ozonbildung liegen: das photochemische Gleichgewicht zwischen NO, NO_2 und O_3 wird erläutert und die wichtigsten Peroxyradikale, Hydroperoxy- (HO_2) und Methylhydroperoxyradikale (CH_3O_2), die bei der Oxidation von Kohlenwasserstoffen wie Methan und Kohlenmonoxid entstehen, werden vorgestellt. Die Verzahnung dieser Reaktionen und der Einfluss der Kinetik werden behandelt. Das Phänomen des photochemischen Smogs wird darauf aufbauend erklärt und es wird eingegangen auf Zeitverzögerungen und räumliche Verlagerungen von erhöhten Ozonwerten in Bezug auf ihre Quelle. Darüber hinaus werden auch gesundheitliche Auswirkungen und Belastungen des Ökosystems angesprochen.

Lehrvortrag II: Schadstofftransport in Böden

Der Schwerpunkt dieser Grundlagenvorlesung liegt in der Behandlung der ungesättigten Bodenzone und der darin stattfindenden Prozesse. Die ungesättigte Bodenzone besitzt eine hohe Bedeutung im Sinne des Schutzes des Grundwassers vor Kontaminationen.

In der Vorlesung wird auf die Definition der relevanten Begriffe und Prozesse eingegangen. Es wird der Boden als poröses Medium innerhalb der Hydrosphäre definiert. In diesen porösen Medien laufen bei der Strömung und beim Transport von Stoffen komplexe Prozesse ab, die bei der Darstellung der Sachverhalte erhebliche Bedeutung besitzen. Die wichtigsten ablaufenden Prozesse sind die Advektion/Konvektion, Diffusion, hydromechanische Dispersion, Sorption, Ionenaustausch, Komplexierung, Abbau sowie eine Reihe chemischer Reaktionen. Insbesondere muss beachtet werden, dass alle ablaufenden Prozesse nicht entkoppelt voneinander betrachtet werden können, sondern die Prozesse bedingen und beeinflussen sich gegenseitig und sind häufig von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der transportierenden Stoffe und von den Eigenschaften der porösen Medien abhängig. Die Prozesse in der ungesättigten Zone sind aufgrund des Multiphasen-Transport vielfach komplizierter als in der gesättigten Zone. So ist z.B. die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens nicht konstant, sondern vom Wassergehalt abhängig.

In dieser Vorlesung werden die relevanten physikalischen und chemischen Prozesse dargestellt. Weiterhin werden die Arten von Kontaminationen erläutert und die wichtigsten anorganischen und organischen Schadstoffe und deren Verhalten im Untergrund vorgestellt.

Lehrkonzept

Das von mir vertretene Lehrideal ist die Einheit von Forschung und Lehre. In der Praxis ist das oft schwierig, aber ich versuche auch in Grundlagenvorlesungen Erfahrungen, Beispiele und Anekdoten aus der Forschung und aus Industriekooperationen einzubringen. Dies ist ein geschickter Weg um den oft trockenen Lehrstoff der Grundlagenausbildung aufzulockern. Ich möchte aber trotzdem betonen, dass die Grundlagenausbildung nicht durch einen zu schnellen Einstieg in die Spezialisierung ersetzt werden darf, da gerade die Grundlagen dem späteren Absolventen in einer sich ständig ändernden Berufswelt die Qualifikation gibt die als Ingenieur oder Wissenschaftler in der Industrie oder der Forschung gebraucht wird. Denn eine fundierte Ausbildung in den naturwissenschaftlichen Grundlagen ermöglicht es den Absolventen sich an die wechselnden Bedürfnisse des Arbeitsmarkts anzupassen.

Ich verfüge über eine Lehrerfahrung von etwas mehr als 20 Jahren. Bis zu meiner Habilitation im Jahre 2006 habe ich an unterschiedlichsten Vorlesungen, Rechenübungen, Seminaren und Laborübungen in der Chemie mitgewirkt. Seit 2006 biete ich eine Reihe von eigenen Vorlesungen an. Dabei habe ich einen besonderen Schwerpunkt in der Umweltchemie und Umweltanalytik gesetzt. Erwähnen möchte ich folgende LVAs: VO u. LU Umweltchemie u. Analytik, LU Umwelt- u. Prozessanalytik, VO Ökologische u. gesellschaftliche Aspekte d. Chemie (Details s.u.). Gute Erfahrungen habe ich gemacht mit interdisziplinären LVAs gemeinsam mit Ingenieuren aber auch mit Geisteswissenschaftlern. So habe ich z.B. einen Archäologen und Historiker eingeladen, der über den Einfluss des Klimawandels auf die Geschichte der Spätantike vorgetragen hat. Diesen interdisziplinären Ansatz würde ich gerne in der Zukunft weiter ausbauen.

Ich bin wiederholt Mitglied von Studienkommissionen gewesen und habe an der Erstellung von Bachelor- und Master-Studienplänen mitgewirkt. Dabei habe ich gelernt, dass man diese nicht zu schnell ändern darf, um die Studierbarkeit des Studienzweigs zu erhalten. Außerdem muss man das Gesamtausbildungsziel im Auge behalten und darf Modernisierungen nur behutsam umsetzen.

Folgende Lehrveranstaltungen, die ich an der TU Wien anbiete, könnte ich mir auch an der TU Berlin vorstellen bzw. könnte ich entsprechende Beiträge für bestehende Lehrveranstaltungen kreieren und einfügen:

Ökologische u. gesellschaftliche Aspekte d. Chemie, VO, 2.0h, 3.0EC

Der Stellenwert der Chemie in der modernen Gesellschaft soll vermittelt werden. Folgende Themen werden behandelt: Ökologie: Stofffflussbetrachtung und -analyse, Stoffkreisläufe und ihre Auswirkungen (Klima, Treibhauseffekt, Ozon). Petrochemie, Kunststoffchemie, Bauchemie, Agrikulturchemie, Haushaltschemie, Chemie in der Ernährung und Medizin, Biotechnologie, regenerative Rohstoffe für die chemische Industrie. Aktuelle Problematiken der Chemikaliengesetzgebung. Chemie und Arbeitswelt.

Umweltchemie und Analytik, VO, 2.0h, 3.0EC

Die Vorlesung umfasst mehrere Themenblöcke: N-, S-, C- Kreisläufe; Saure Deposition; Aerosole und Ruß; Ozon in der Troposphäre und Ozon in der Stratosphäre; Metalle; POPs; Luftschadstoffe im Innenraum.

Umweltchemie und Analytik, LU, 2.0h, 2.0EC

Die Laborübung gliedert sich in mehrere Themen: NO_2 wird photometrisch quantitativ bestimmt, Aerosolfilterproben werden mittels der Ionenchromatographie analysiert. Blei wird in wässrigen Proben mit der Atomabsorptionsspektroskopie quantitativ bestimmt, Rußproben werden bezüglich ihrer optischen und chemischen Eigenschaften untersucht und differenziert und werden dann auf Ihre Eiskeimaktivität getestet.

Umwelt- und Prozessanalytik, LU, 3.0h, 3.0EC

Eine Staubprobe aus der Immission oder Emission wird zunächst auf geeigneten Substraten gesammelt und danach unter Einsatz einer Vielzahl von Analysenmethoden (z.B. Chromatographie, IR-Spektroskopie, Raman-Mikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie mit Elementanalytik) charakterisiert. Im Rahmen der Auswertungen werden sowohl Ergebnisse der Bulk-Analyse als auch der bildgebende Verfahren verwendet um eine umfassende Charakterisierung der Probe zu erreichen. So können auch die unterschiedlichen Potentiale, Synergien sowie Grenzen der analytischen Methoden dargestellt werden.

Forschungskonzept

Untersuchungen zu Vorkommen, Umwandlung und Wirkung chemischer Stoffe in der Umwelt sind klassische Kernaufgaben der Umweltchemie. Damit verbunden sind die Aufklärung sowohl von natürlichen als auch technologischen Prozessen (z.B. die Nukleation von Partikeln, Phasenübergänge oder Oberflächenreaktionen). Eine wesentliche Grundlage für die Behandlung dieser Fragestellungen sind die methodischen Weiterentwicklungen in den Bereichen Spektroskopie, Diffraktion und Mikroskopie von kleinsten Partikeln, der anorganischen und organischen Analytik im Labor und im Feld kombiniert mit der Möglichkeit zur multidimensionalen Datenverarbeitung. Meine Schwerpunkte werden in den Bereichen Aerosolcharakterisierung, Nanopartikel, Luftchemie und Metallspezies-Analytik liegen. Wichtig in diesem Zusammenhang sind auch die interfakultativen Kooperationen mit den Verkehrswissenschaften, der Abfallwirtschaft und dem Ressourcenmanagement – entsprechende Kooperationen hoffe ich auch an der TU Berlin zu finden.

In Ergänzung zur Aerosolzusammensetzung kommt der bildgebenden, multimodalen, element- und molekülspezifischen Spektroskopie mit Mikro- und Nanometerauflösung eine immer größere Bedeutung zu. Wichtig ist mir dabei die Kombination von bildgebenden und spektroskopischen Methoden. Ich möchte daher ein **AFM-Raman-Mikroskop** beschaffen, dass es mir erlaubt Nanopartikel zerstörungsfrei abzubilden und mit einer räumlichen Auflösung von 30-50 nm Raman- und Fluoreszenz-spektroskopisch zu scannen. Aufbauend auf der Partikelcharakterisierung können moderne Technologien in den unterschiedlichsten Bereichen entwickelt werden. Diese betreffen z.B. die Luftreinhaltung an der Schnittstelle zwischen Arbeitsplatz und Umwelt, wo Feinstäube sowohl emittiert als auch aufgenommen werden.

Aktuell habe ich ein nationales Projekte im Bereich der Grundlagenforschung, sowie zwei national geförderte Industriekooperationen, die aus dem österreichischen Energie und Klima Fond gespeist werden. Zusätzlich gibt es eine direkte Industriekooperation mit einem Stahlwerk. Diese Projekte möchte ich an der TU Berlin in ähnlicher Form weiterführen.

FWF Einzelprojekt: Die Eisnukleationsaktivität kohlenstoffhaltiger Partikel

In diesem Projekt liegt der Schwerpunkt auf den Eiskernfähigkeiten von kohlenstoffhaltigen Partikeln, insbesondere auf Rußpartikeln und sekundären organischen Aerosolpartikeln. Laborstudien ihrer Eiskernfähigkeit geben oft widersprüchliche Resultate und legen nahe, dass die theoretischen Modelle der Eisnukleation in ihrem Ansatz eventuell zu stark vereinfacht sind, um die Komplexität heterogener Eiskernaktivierung zu beschreiben. Insbesondere die Darstellung der Oberfläche eines Partikels, sowie eine mögliche Zeitabhängigkeit der Eiskernaktivierung, sind noch unklar. Die Existenz so genannter “active sites“, d. h. Stellen auf Partikeln, an denen sich Eis bevorzugt bildet, ist weitgehend akzeptiert. Wir planen, die Struktur und Eiskernaktivierung von Partikeln im Hinblick auf ihre “active sites“ im Labor unter wohl definierten Bedingungen zu untersuchen. Wir werden die Eisbildung an einer großen Vielfalt von wohl bestimmten Eiskernen unter Bedingungen bzgl. Temperatur und Kühlrate untersuchen, die auch bei der Bildung von Zirrus Wolken eine Rolle spielen.

FFG-Bridge: EarlySnow

Das wirtschaftliche Potential der künstlichen Beschneiung bzw. Beregnung wächst zurzeit zu einem Milliarden-Dollar-Geschäft, da weltweit die Schneequalität und Schneesicherheit durch den Klimawandel negativ beeinflusst wird. Dabei ist künstliche Beschneiung im alpinen Raum besonders

wichtig im Vergleich zu tiefergelegenen Gebieten. Wegen der ökonomischen Relevanz des Wintersports ist besonders für das Land Tirol der Schnee die Ressource schlechthin, die die lokale Wirtschaft am Leben erhält. Österreichische Skigebiete investieren jedes Jahr ca. 100 Millionen Euro, um die künstliche Beschneiung zu verbessern und auszubauen. In Österreich gibt es 300 Skiliftgesellschaften oder größere Skigebiete. Weltweit gibt es 5000 Skiregionen. Im Fall einer erfolgreichen Entwicklung soll ein Eisnukleator an Skigebiete verkauft werden, der sich in den gängigen Schneekanonen und Schneelanzen einsetzen lässt. Eine gesteigerte Energieeffizienz ist eines der Alleinstellungsmerkmale unseres zukünftigen Produktes. Allerdings bedarf es einer genaueren Marktanalyse um das volle Verwertungspotential auszuschöpfen. Nach unserem Kenntnisstand der aktuellen Situation der Skigebiete machen die Energiekosten im Zusammenhang mit der künstlichen Beschneiung ca. 25% vom Umsatz aus! Damit lässt sich das Marktpotential in Österreich auf ca. 5 Millionen Euro pro Jahr abschätzen. Für die zukünftige Vermarktung muss ein spin-off gegründet werden, das unterstützt werden soll durch die Neuschnee GmbH, Technik Wille und die Standortagentur Tirol.

FFG-Emission Projekt: iMAS

Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist die Entwicklung von optimierten temperaturabgesenkten Gussasphalten auf Labormaßstab. Dabei werden zunächst am Markt befindliche Produkte und Methoden zur Temperaturabsenkung von Walzasphalten auf ihr Potenzial für die Anwendung bei Gussasphalt analysiert und geeignete Produkte/Methoden ausgewählt. Auf Laborebene werden durch umfassende chemisch/physikalische und mechanische Prüfungen bestehende Gussasphalt-Rezepturen dermaßen optimiert, dass maximale Temperaturabsenkung bei gleichbleibend hoher Produktqualität erreicht wird. Das im Projekt festgesetzte Ziel 30/20/20 soll erreicht werden: 30°C Temperaturabsenkung bei 20% Energie- und Treibhausgas (THG)-Emissionseinsparung. Ein weiterer Aspekt bei der Herstellung von Gussasphalt ist, dass durch die hohen Temperaturen Gase und Aerosole emittiert werden, die eine Gesundheitsbelastung für ArbeitnehmerInnen darstellen.

Darüber hinaus werden durch eine Life-Cycle Energy und Life-Cycle Cost Analysis (LCEA und LCCA) auch die längerfristigen Einsparungspotenziale durch verlängerte Lebensdauer aufgrund geringerer thermischer Belastung bei der Herstellung analysiert. Betriebs- und volkswirtschaftlicher Nutzen lässt sich so darstellen.

Gemeinsam mit Industriepartner sollen durch die Entwicklung und Bereitstellung der Technologie auf großtechnischer Ebene, den Nachweis der Praxistauglichkeit und die Ermittlung des energetischen und wirtschaftlichen Nutzens in der Praxis Anreize geschaffen werden, den Anteil von temperaturabgesenkten Gussasphalten in Österreich bis 2020 sukzessive auf 75% der gesamten Gussasphalt-Produktion zu erhöhen.

Forschungsprojekt mit der voestalpine Stahl GmbH (Werkstoff-Zentrum)

Im Rahmen des Projektes soll LD-Schlacke hinsichtlich physikalischer und chemischer Parameter geprüft werden. Dabei stehen Alterungsprozesse an der Schlacke im Vordergrund. Es soll analysiert werden, ob Schwermetalle durch die Alterungsprozesse mobilisiert werden und in die aquatische Umwelt austreten können. Dafür sind sowohl Feldversuche als auch Laborversuche geplant.