

Projekt: **80**

Projekttitel: **Klima und Verkehr (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre)**

Federführende Wissenschaftler: **Prof. Dr. Robert Sausen, Dr. Johannes Hendricks**

Berichtszeitraum: **01.01.2018 - 31.12.2018**

1. Simulationen zur Klimawirkung verkehrsinduzierter globaler Aerosolveränderungen

Verantwortlich: Righi (b309057) / Beer (309138) / Hendricks (b309012)

Im Berichtszeitraum wurden mit dem EMAC-Modellsystem, einschließlich des Aerosolmodells MADE3, zahlreiche Simulationen zu den Effekten von Verkehrsemissionen auf das atmosphärische Aerosol, die Eiswolken und den Strahlungshaushalt durchgeführt (**Experiment „Aerosoleffekte Verkehr“**). Dies schloss die geplanten Referenzsimulationen ein, welche unter anderem auch Aerosoleffekte auf Eiswolken berücksichtigen. Aus diesen Simulationen wurden, nach eingehender Evaluation mit Messdaten, zudem auch Randbedingungen für die Regionalmodellierung im VEU-2-Projekt abgeleitet. Zur Analyse der derzeit in Fachkreisen kontrovers diskutierten möglichen Effekte von Rußpartikeln aus dem Verkehr auf Zirruswolken wurden zudem spezifische Sensitivitätsexperimente durchgeführt. Insbesondere handelte es sich dabei um Modellrechnungen zur Quantifizierung der Effekte des gesamten anthropogenen Rußes auf Zirren, sowie Rechnungen zur Wirkung von Ruß aus Straßen- und Luftverkehr, wobei insbesondere der Luftverkehr in den Simulationen ein relevantes Potential zeigt. Unter Zuhilfenahme eines neuen Markierungsverfahrens für Ruß aus spezifischen Quellen wurde dieses Ergebnis bestätigt und somit weiter untermauert.

Diese Rechnungen werden derzeit durch Simulationen ergänzt, in denen die dynamischen Antriebe der Zirrenbildung in weiterentwickelter Form dargestellt werden. So wird die bisher verwendete Beschreibung von Aufwärtsbewegungen durch Turbulenz durch eine Parametrisierung orographischer Schwerewellen ergänzt, um die Kühlraten bei der Zirrusbildung und damit auch die Effekte von Aerosolen auf Zirren möglichst realitätsnah darzustellen. Diese Ergänzung wird als prioritär eingeschätzt, so dass die zusätzlich geplanten Sensitivitätsstudien (freilaufender Klimamodus statt Nudging; Variation der Eisbildungseigenschaften von Ruß) erst nach Abschluss dieser Arbeiten in 2019 erfolgen sollen (vgl. Antrag).

Weitere Experimente richteten sich auf die Weiterentwicklung der Darstellung von Eiskernen im Modell (**Experimente „Eiskerne 1“ und „Eiskerne 2“**). Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Darstellung windgetriebener Mineralstaubemissionen. Die hierzu geplanten Modellierungsaktivitäten wurden dabei deutlich ausgeweitet, da verschiedene Modifikationen der Parametrisierung der windgetriebenen Emissionen erforderlich waren. Die Resultate zeigen nun deutliche Verbesserungen im Vergleich zu Messungen. Dazu wurden auch Simulationen mit erhöhter räumlicher Auflösung durchgeführt (Übergang von T42L19 zu T42L31 und T63L31). Insbesondere die T63-Konfiguration erbrachte dabei eine deutlich verbesserte Darstellung des Aerosols in der oberen Troposphäre. Zudem wurden erste Simulationen zur Darstellung des Phasenzustandes von Ammoniumsulfat durchgeführt. Diese sollen im 4. Quartal ausgeweitet und auch 2019 weitergeführt werden. Da sich die Simulationen zu Mineralstaub unerwartet ressourcenintensiv gestalteten, können die Rechnungen zu organischen Eiskernen sowie die geplante Potentialabschätzung zu anthropogenen Eiskernen (**Experiment „Anthropogene Eiskerne“**) erst in 2019 erfolgen (vgl. Antrag).

Zwei weitere geplante Experimente konnten im Berichtszeitraum noch nicht durchgeführt werden. So ist die Potentialabschätzung zu Abriebemissionen aus dem Straßenverkehr (**Experiment „Abriebemissionen“**) noch nicht erfolgt, da die dazu erforderlichen globalen Emissionsdaten erst in einer späteren Phase des DLR-Projektes TraK zur Verfügung stehen werden. Im Projekt VEU-2 wurden lediglich Abriebemissionen für Europa abgeschätzt, denen entsprechende globale Emissionsdaten vorzuziehen sind. Die Aktivitäten können daher voraussichtlich erst in 2020 erfolgen. Des Weiteren wurden die geplanten Simulationen zur Entwicklung des Aerosol-Klima-Responsemodells (**Experiment „Aerosol-Responsemodell“**) aufgeschoben. Dies ist dadurch begründet, dass die Simulationen zur Entwicklung des entsprechenden Modells für die Gasphasenchemie (TransClim) durch die Betrachtung zusätzlicher Zielregionen erhöhte Ressourcen in Anspruch nahmen (vgl. Abschnitt 3). Die Simulationen sind nun für 2019 geplant (vgl. Antrag).

2. Simulationen zur Klimawirkung der Emissionen des europäischen Verkehrs (Gasphase)

Verantwortlich: Mertens (b309098) / Righi (b309057) / Hendricks (b309012)

Wie geplant wurden hier Simulationen zur Quantifizierung der Effekte der deutschen, europäischen sowie der globalen Verkehrsemissionen auf den atmosphärischen Ozonhaushalt und die resultierenden Strahlungsantriebe mit dem Klima-Chemie-Modell EMAC im QCTM-Modus (Quasi-Chemistry-Transport-Model) quantifiziert (**Experiment „Ozonchemie“**). Dabei kam eine Markierungsmethode (Tagging) zur Identifikation der Verkehrseffekte zum Einsatz, was eine besonders robuste Quantifizierung der gasphasenchemischen Veränderungen erlaubte. Zur Beschreibung der Emissionen in Deutschland und Europa wurden die

im DLR-Projekt VEU2 abgeleiteten Emissionskataster herangezogen. Die Simulationen richteten sich auf den Zeitraum 2009-2012.

Die Resultate zeigen, dass der Landverkehr eine wichtige Quelle des Ozons der Nordhemisphäre darstellt und der interkontinentale Transport verkehrsinduzierten Ozons eine erhebliche Bedeutung hat. So sind die Emissionen des globalen Landverkehrs, entsprechend der Modellrechnungen, für bis zu 15% des Ozons über den Kontinenten verantwortlich. Die europäischen Verkehrsemissionen tragen dabei zwischen 4 und 10% zu bodennahem Ozon in Europa bei, zeigen aber auch eine deutliche Fernwirkung (Beiträge von 1-3% über anderen Kontinenten). Die Beiträge des deutschen Verkehrs erwiesen sich trotz Markierungsverfahren als nicht nachweisbar, da ein relativ hoher numerischer Rauschlevel vorhanden ist und gleichzeitig die Signalstärke auf der globalen Skala nur gering ausfällt. Sie konnten erfreulicherweise jedoch mit Hilfe des hier entwickelten Responsemodells TransClim beschrieben werden (Abschnitt 3).

3. Simulationen zur Entwicklung des Klima-Responsemodells TransClim (GasPhase)

Verantwortlich: Rieger (b309099) / Mertens (b309098) / Grewe (b309014)

Gegenstand war hier die im Rahmen von VEU-2 und TraK erfolgende Entwicklung des Klima-Responsemodells TransClim (Modelling the impact of surface Transportation on Climate), mit dessen Hilfe die verkehrsinduzierten Veränderungen von Ozon und Methan sowie die entsprechenden Strahlungswirkungen auf sehr effiziente Weise, ohne detaillierte dreidimensionale Simulationen, direkt aus den Emissionsmengen von NO_x, VOC und CO bestimmt werden können. Dreidimensionale Simulationen mit dem EMAC-Modell waren jedoch zur Entwicklung von TransClim erforderlich, um entsprechende Emitter-Rezeptor-Relationen abzuleiten. Dazu wurden spezifische Simulationen für individuelle Quellregionen unter Annahme unterschiedlichster Kombinationen der Straßenverkehrsemissionen von NO_x, VOC und CO ausgeführt. In 2017 wurden derartige Simulationen bereits für verschiedene europäische Regionen durchgeführt und die resultierenden Emitter-Rezeptor-Beziehungen in entsprechenden Lookup-Tabellen zusammengefasst. Die Resultate konnten dann in 2018 erfolgreich zur Bewertung der Wirkungen der deutschlandweiten Verkehrsemissionen (VEU-2-Szenarien) eingesetzt werden. Somit erwies sich die Verwendung der Lookup-Tabellen auch in der Hinsicht als vorteilhaft, dass die Wirkungen der aus globaler Sicht sehr kleinen Quelle „deutscher Verkehr“ quantifiziert werden konnten, was mit Hilfe direkter EMAC-Simulationen nicht gelang (Abschnitt 2).

Zur Übertragung dieses Ansatzes auf weitere Quellregionen weltweit wurden im Berichtszeitraum nun zusätzliche EMAC-Simulationen durchgeführt (**Experiment „TransClim-Entwicklung“**), die für einen erheblichen Teil der in 2018 verbrauchten Rechenzeit verantwortlich waren. Dies war auch der Betrachtung im Vergleich zur Planung zusätzlicher Emissionsregionen geschuldet. In Ergänzung zu den 2017 betrachteten Quellregionen (Deutschland, Nord-, West-, Süd- und Osteuropa), konnten wie geplant 2018 entsprechende Simulationen für die Regionen Indien, Südostasien sowie Nordamerika und ergänzend auch für China, Japan und Südamerika erfolgreich durchgeführt werden. Diese sollen in 2019 nun Basis für die Erweiterung der Lookup-Tabellen sein. Die Erstellung einer entsprechenden Publikation sowie die Anwendung der Methode auf globale Verkehrsemissionen sind als fester Bestandteil des DLR-Projektes TraK geplant.

4. Sonstige Bemerkungen

Mit den oben beschriebenen, noch in 2018 durchzuführenden Simulationen wird das verbleibende Rechenzeitkontingent des Projektes voraussichtlich komplett ausgeschöpft.

5. Entstandene Publikationen

Kaiser, J. C., Hendricks, J., Righi, M., Jöckel, P., Tost, H., Kandler, K., Weinzierl, B., Sauer, D., Heimerl, K., Schwarz, J. P., Perring, A. E., and Popp, T.: Global aerosol modeling with MADE3 (v3.0) in EMAC (based on v2.53): model description and evaluation, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-185>, in review, 2018.

Mertens, M., Grewe, V., Rieger, V. S., and Jöckel, P.: Revisiting the contribution of land transport and shipping emissions to tropospheric ozone, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 5567-5588, <https://doi.org/10.5194/acp-18-5567-2018>, 2018.

Rieger, V. S., Mertens, M., and Grewe, V.: An advanced method of contributing emissions to short-lived chemical species (OH and HO₂): the TAGGING 1.1 submodel based on the Modular Earth Submodel System (MESSy 2.53), *Geosci. Model Dev.*, 11, 2049-2066, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2049-2018>, 2018.