



Doctoral Thesis

Characteristic scales of atmospheric moisture transport

Author(s):

Läderach, Alexander

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010741025> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 23586

**CHARACTERISTIC SCALES OF ATMOSPHERIC
MOISTURE TRANSPORT**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

ALEXANDER LÄDERACH

M.Sc. in Physics, University of Bern

born on 25.11.1987
citizen of Bern, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Heini Wernli
Prof. Dr. Harald Sodemann
Prof. Dr. Harald Kunstmann

2016

Abstract

The atmospheric branch of the hydrological cycle is a key component of the Earth's climate system. By delivering water to ecosystems, it crucially determines the water availability for plants, animals and human kind and can cause severe drought and flooding during its extremes. While precipitation forms in clouds on the small scale, weather systems supply moisture for this process on a larger scale. The pathways and characteristic scales on which moisture transport feeds precipitation in weather systems are not well-known, but important to better understand dynamical aspects of the water cycle and their vulnerability to climate change.

This work aims to shed light on these dynamical aspects by assessing characteristic spatial and temporal scales of moisture transport from two different perspectives. First, a Lagrangian view is provided by diagnosing moisture transport on the basis of an extensive global air mass transport climatology. The air mass transport climatology is compiled running the widely used particle dispersion model FLEXPART with data from the state-of-the-art re-analysis product ERA-Interim of the European Center for Medium-range Weather Forecast (ECMWF). Second, an Eulerian perspective is obtained by using passive water vapour tracers (WVTs) in the numerical weather prediction (NWP) model COSMO. The simulations track moisture from evaporation to precipitation and thereby reveal its pathways. The two fully independent perspectives provide a robust picture of the atmospheric moisture residence time and the physical transport distance — the characteristic scales of atmospheric moisture transport.

The Lagrangian diagnostics yield a global mean estimate for the moisture residence time of four to five days. This estimate is about half compared to depletion times that are commonly interpreted as proxies for the residence time. The discrepancies to depletion times are mainly explained by the fact that these are based on simplified representations of precipitation processes. The revised picture of the moisture residence time given by the results of this work is supported by the overall consistency with the footprints of precipitation producing weather systems in different regions of the Earth. These findings rise new questions on the moisture turn-over of the atmosphere.

Further, the Lagrangian diagnostics, for the first time, provide global mean estimates of the physical moisture transport distance. The transport distance provides new information on the spatial coupling between evaporation and precipitation. Common investigations determined this coupling by recycling ratios, that are defined as the fraction of precipitation in a given region with moisture source in the same region. This work shows that the transport distance is linked to the widely used recycling ratios and that their domain size dependency, limiting inter-regional comparisons, manifests the atmosphere's limited capability to transport moisture beyond some physical distance. Moreover, the temporal distribution of the transport distance is shown to provide local information on moisture recycling enabling concise inter-regional comparisons.

Lastly, the Eulerian perspective provides a conceptually independent verification of the determined characteristic scales of atmospheric moisture transport. For a case study of Indian monsoon precipitation in August 2011, an about average in forms of monsoon intensity, two passive WVT experiments are performed. One is designed to estimate the residence time and the other to determine the transport distance for precipitation in the proximity of Kathmandu. Despite the uncertainties related to assumptions inherent in both methods, the comparison reveals convincing consistency of the characteristic scales of atmospheric moisture transport for the Indian monsoon case study. The agreement of the results obtained by the independent methods highlights their complementary value and supports the findings and conclusions made by this work.

In summary, the work revises the picture of the atmospheric moisture residence time, which triggers new questions on the atmosphere's moisture turn-over. Is moisture transported with twice the speed than previously thought or is evaporation and precipitation coupled on half the distance? Novel estimates of the physical transport distance reveal a link to recycling ratios and show that their dependency on domain size results from the atmosphere's limited capability to transport moisture beyond some physical distance. Temporal variability of the transport distance provides local information on moisture recycling and makes inter-regional comparisons more concise. Finally, the consistency of Lagrangian and Eulerian estimates for Indian monsoon precipitation underpins the creditability of the conceptually independent methods.

The scales of atmospheric moisture transport determined in this work and the established link to moisture recycling open a new view on dynamical aspects of the atmospheric water cycle.

Zusammenfassung

Der atmosphärische Wasserkreislauf ist ein wichtiges Element des Klimasystems der Erde. Als Transportmechanismus liefert er Wasser an Ökosysteme und bestimmt damit dessen Verfügbarkeit für Pflanzen, Tiere und Menschen. In seinen Extremen kann er zu schwerwiegenden Dürren und Fluten führen. Während sich Niederschlag auf einer kleinen Skala in Wolken bildet, führen Wettersysteme bei ihrer Bildung Wasser von einer weitaus grösseren Skala herbei. Die Transportwege und insbesondere die charakteristischen Skalen auf welchen atmosphärischer Transport Wettersysteme mit Wasser versorgt sind grösstenteils unbekannt, bilden aber die Grundlage um dynamische Aspekte des Wasserkreislaufs und deren Veränderung durch den Klimawandel besser zu verstehen.

Diese Arbeit strebt an, die dynamischen Aspekte des atmosphärischen Wasserkreislaufs mit der Untersuchung der charakteristischen räumlichen und zeitlichen Skalen des Wassertransports aus zwei unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten. Erstens, eine Lagrange Sicht wird durch die Diagnose von Wassertransport auf Grundlage einer umfassenden globalen Massentransport-Klimatologie erarbeitet. Diese Transportklimatologie wurde durch das breit angewandte Teilchendispersionsmodell FLEXPART mit Daten des state-of-the-art Reanalyse-Produkts ERA-Interim vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (ECWMF) errechnet. Zweitens, eine Eulerische Perspektive wird mittels passiven Wasserdampf-Tracern (WVTs) im numerischen Wettervorhersagemodell COSMO erlangt. Die Simulationen verfolgen Wasser von der Verdunstung bis zum Niederschlag und offenbaren dabei dessen Transportwege. Die zwei unabhängigen Perspektiven ergeben ein robustes Bild der atmosphärischen Aufenthaltszeit und der physikalischen Transportdistanz von Wasser — den charakteristischen Skalen des atmosphärischen Wassertransports.

Die Lagrange Diagnosen schätzen die mittlere globale Aufenthaltszeit von Wasser auf vier bis fünf Tage. Diese Abschätzung ist ungefähr halb so lang verglichen mit Abbauzeiten, welche üblicherweise als Stellvertreter für die Aufenthaltszeit interpretiert werden. Die Diskrepanzen zu Abbauzeiten werden hauptsächlich dadurch erklärt, dass

diese auf einer vereinfachten Darstellungen von Niederschlagsprozessen basieren. Die im Rahmen dieser Arbeit revidierte Sicht der Aufenthaltszeit wird durch deren Konsistenz mit erwarteten Fussabdrücken niederschlagsrelevanter Wettersysteme in unterschiedlichen Regionen der Erde unterstützt. Die Erkenntnisse zur Aufenthaltszeit erheben neue Fragen über die Umwälzung von Wasser in der Erdatmosphäre.

Weiterführend liefern die Lagrangen Diagnosen das erste Mal mittlere globale Abschätzungen der physikalischen Transportdistanz. Dabei liefert die Transportdistanz neue Informationen über die räumliche Kopplung von Verdunstung und Niederschlag. Diese Kopplung wurde üblicherweise mit sogenannten Rezyklierungsverhältnissen, definiert als den Bruchteil des Niederschlags in einer Region mit Verdunstungsquellen in derselben Region, untersucht. Diese Arbeit zeigt, dass die Transportdistanz in einem engen Zusammenhang zu diesen weit verwendeten Rezyklierungsverhältnissen steht und dass deren Abhängigkeit von der Grösse der Region, welche den inter-regionalen Vergleich einschränkt, die limitierte Fähigkeit der Atmosphäre widerspiegelt Wasser über eine gewisse physikalische Distanz hinaus zu transportieren. Zudem stellt sich heraus, dass die zeitliche Verteilung der Transportdistanz lokale Information über die Rezyklierung von Wasser liefert und auf diese Art präzise inter-regionale Vergleiche möglich macht.

Schliesslich liefert die Eulersche Sicht eine methodisch unabhängige Überprüfung der charakteristischen Skalen des atmosphärischen Wassertransports. In einer Fallstudie des Niederschlags im indischen Monsoon im August 2011, ein durchschnittliches Jahr betreffend Niederschlagssumme, werden zwei separate Experimente mit passiven WVTs durchgeführt. Davon wird das eine zur Bestimmung der Aufenthaltszeit und das andere zur Abschätzung der Transportdistanz für Niederschlag in der Umgebung von Kathmandu konzeptioniert. Trotz der Unsicherheiten durch unterschiedliche Annahmen in beiden Methoden zeigt der Vergleich eine überzeugende Konsistenz für die charakteristischen Skalen von Wassertransport im indischen Monsoon. Die Über-einstimmung der Resultate der zwei unabhängigen Methoden unterschreibt deren komplementären Nutzen und unterstützt die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen dieser Arbeit.

Zusammengefasst revidiert diese Arbeit das Bild der atmosphärischen Aufenthaltszeit von Wasser, was neue Fragen zur Umwälzung von Wasser in der Erdatmosphäre aufwirft. Wird Wasser doppelt so schnell transportiert als vorher angenommen oder sind Verdunstung und Niederschlag auf der halben Distanz gekoppelt? Die neuen Abschätzungen der physikalischen Transportdistanz decken einen engen Zusammenhang zu Rezyklierungsverhältnissen auf und zeigen, dass deren Abhängigkeit von der

Grösse der Region die eingeschränkte Fähigkeit der Atmosphäre, Wasser über eine gewisse physikalische Distanz hinaus zu transportieren, manifestiert. Die zeitliche Verteilung der Transportdistanz liefert lokale Information zur Rezyklierung von Wasser und ermöglicht präzise inter-regionale Vergleiche. Die Konsistenz der Lagrangen und Eulerschen Abschätzungen für Niederschlag während dem indischen Monsoon untermauert die Glaubwürdigkeit der konzeptionell unabhängigen Methoden.

Die in dieser Arbeit ermittelten Skalen des atmosphärischen Wassertransports und der erstellte Zusammenhang zur Rezyklierung von Wasser öffnen eine neue Sicht auf dynamische Aspekte des atmosphärischen Wasserkreislaufs.