



ABSCHLUSSBERICHT ZUM PROJEKT: CADEX - CENTRAL ASIAN DUST EXPERIMENT

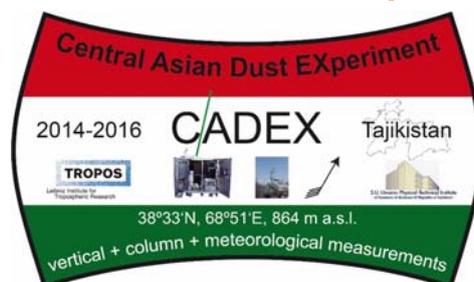
Förderkennzeichen 01DK14014

EXPOSEE

Mit dem deutsch-tadschikischen Gemeinschaftsprojekt CADEX (Zentralasiatisches Staubexperiment) wurden hochrelevante Daten über meteorologische und vertikal aufgelöste Staubparameter in der Atmosphäre von/über Tadschikistan gesammelt. Die bestimmten intensiven Aerosolparameter ermöglichten eine Unterscheidung der gemessenen Partikel. Es zeigte sich, dass während des Frühlings Mineralstaub oft in ausgeprägten Schichten in der freien Troposphäre nach Tadschikistan transportiert wird und im Sommer oft in optisch und geometrisch dicken Schichten, die häufig den Boden berühren, vorkommt.

Autoren

Dietrich Althausen
Julian Hofer
Ariane Pohlenz



Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel CADEX (Zentralasiatisches Staubexperiment; Central Asian Dust Experiment)		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Althausen, Dietrich Hofer, Julian Pohlenz, Ariane	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.9.2016	6. Veröffentlichungsdatum März 2017
	7. Form der Publikation Tagungsbeiträge, Beiträge in Fachzeitschriften	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. Permoserstr. 15 04318 Leipzig	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
11. Seitenzahl 37		
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		13. Literaturangaben 60
	15. Abbildungen 16	
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) DLR Projektträger, Bonn, März 2017 Nach Freigabe durch Projektträger an Technische Informationsbibliothek Hannover, Hannover		

18. Kurzfassung

Mit dem deutsch-tadschikischen Gemeinschaftsprojekt CADEX (Zentralasiatisches Staubexperiment; Central Asian Dust Experiment) wurden hochrelevante Daten über meteorologische und Staubparameter in Tadschikistan gesammelt. Parallel dazu wurde mit dem Projekt eine enge Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Umweltforschung zwischen der tadschikischen Akademie der Wissenschaften (AdWT) und dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) etabliert, da die gravierenden Klimaänderungen in Tadschikistan (1/3 der Gletscher ist dort bereits abgeschmolzen) Untersuchungen insbesondere zu den Staubbelastungen in Tadschikistan verlangen.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Sonnenphotometer der tadschikischen Akademie der Wissenschaften zwei Jahre lang betrieben. Mit diesem Gerät wurden vertikal integrierte Größen des atmosphärischen Mineralstaubs vermessen und zusammen mit den gleichzeitig erhobenen meteorologischen Daten wurde eine Datenbasis und Statistik dieser Messwerte erarbeitet.

Im Weiteren wurde mit dem TROPOS-eigenen Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidar PollyXT (POrtable aerosoL Raman Lidar sYstem EXtended) 1.5 Jahre lang in Duschanbe gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen wurden mit denen der Sonnenphotometermessungen verglichen. Mit den Lidarmessungen werden über die räumliche Auflösung zusätzliche Informationen bereitgestellt (z.B. vertikale Profile des Extinktionskoeffizienten), die für Strahlungstransportberechnungen (Klimaänderungsvorhersagen) unabdingbar sind.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Antrag zur Fortführung und Ausweitung der Messungen in Duschanbe gestellt (CADEX-2), um mögliche Auswirkungen der immensen Staubschichten, die im Rahmen von CADEX in der freien Troposphäre detektiert wurden, auf den Menschen in der planetaren Grenzschicht zu untersuchen. Dieser Antrag wurde abschlägig beschieden.

Parallel zum CADEX-Projekt wurde durch TROPOS ein Antrag ans BMBF zum Bau eines PollyXTs gestellt, mit dem in Tadschikistan langfristig gemessen werden soll. Dieser Antrag wurde inzwischen positiv beschieden.

Im letzten Abschnitt des Projekts wurde ein Antrag an die Volkswagenstiftung zur Durchführung einer Central Asian DUst Conference (CADUC) in Duschanbe / Tadschikistan gestellt. Hiermit sollen die Ergebnisse in den Rahmen der Staubbmessungen in West-, Zentral- und Ostasien wissenschaftlich und administrativ eingegliedert werden und die internationale Zusammenarbeit auf diesem wichtigen Gebiet für Zentralasien gefördert werden.

19. Schlagwörter

Aerosol; atmosphärischer mineralischer Staub; freie Troposphäre; optische Eigenschaften des Aerosols; vertikale Profile; Zentralasien; Tadschikistan; Lidar

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report for funded project	
3. title CADEX (Zentralasiatisches Staubexperiment; Central Asian Dust Experiment)		
4. author(s) (family name, first name(s)) Althausen, Dietrich Hofer, Julian Pohlenz, Ariane	5. end of project 30.9.2016	6. publication date March 2017
	7. form of publication Contributions to conferences, scientific journals	
	8. performing organization(s) (name, address) Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. Permoserstr. 15 04318 Leipzig	9. originator's report no. -
11. no. of pages 37		
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		13. no. of references 60
	15. no. of figures 16	
	16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) DLR Projektträger, Bonn, März 2017 Nach Freigabe durch Projektträger an Technische Informationsbibliothek Hannover, Hannover		

18. abstract

Highly relevant data of meteorological and dust parameters were collected in Tajikistan by the joint German-Tajik project CADEX (Zentralasiatisches Staubexperiment; Central Asian Dust Experiment). In parallel to the project, a close cooperation in the field of environmental research was established between the Tajik Academy of Sciences (AdWT) and the Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS), since the serious climate change in Tajikistan (1/3 of the glaciers have already shrunk) require investigations in particular to the dust exposure/load in Tajikistan.

In the framework of the project, a sun photometer of the Tajik Academy of Sciences has been deployed for two years. By this, vertically integrated quantities of atmospheric mineral dust are measured. A data base and statistics of these readings was created together with the meteorological data that were collected at the same time.

In addition, the TROPOS own multiwavelength polarization Raman Lidar PollyXT (PORTable aerosol Raman Lidar sYSTEM with Extended capabilities) measured in Dushanbe for 1.5 years. The results of these measurements were compared with those of the sun photometer measurements. Additional information is provided with the spatially resolved lidar measurements since (e.g. vertical profiles of the extinction coefficient). This information is essential for radiation transfer calculations (climate change predictions).

Severe dust layers have been detected within the framework of CADEX in the free troposphere. So, one part of the project was to write an application for the continuation and extension of the measurements in Dushanbe (CADEX-2) to examine the impact of these dust layers on the people in the planetary boundary layer. This application was rejected.

Parallel to the CADEX project, TROPOS applied to the BMBF for the construction of a PollyXT for long term measurements in Tajikistan. This application has been approved meanwhile.

In the last phase of the project, an application to the Volkswagen Foundation has been submitted for a Central Asian DUst Conference (CADUC) in Dushanbe / Tajikistan. This conference should give a frame to understand scientifically the dust measurements in West, Central and East Asia and to promote international (possibly also administrative) cooperation regarding dust which is an important issue in the area of Central Asia.

19. keywords

aerosol; atmospheric mineral dust; free troposphere; optical properties of aerosols; vertical profiles; Central Asia; Tajikistan; lidar

20. publisher

21. price

1. Inhalt

1. Inhalt	6
2. Aufgabenstellung	7
3. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
4. Planung und Ablauf des Vorhabens	10
5. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	14
6. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	14
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	14
8. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	15
9. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
10. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,.....	15
11. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	15
12. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	16
13. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	16
14. Literatur:	17
Anhang – nicht öffentlicher – Erfolgskontrollbericht.....	23
Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen	23
Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte Erfahrungen	24
Fortschreibung des Verwertungsplans.....	36
Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	37
Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	37
Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	37

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projekts sollten Messungen zur Aerosolbeladung in der Atmosphäre über Duschanbe/Tadschikistan durchgeführt werden. Mit einem Sonnenphotometer mit AERONET-Standard sollten Langzeitmessungen über die gesamte Projektlaufzeit durchgeführt werden. Zusätzlich zu diesen säulenintegrierten Messungen sollte ein TROPOS-eigenes Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidar PollyXT für ein Jahr in Duschanbe installiert werden.

Die Untersuchungen wurden in 3 Teilprojekte unterteilt:

1. Bestimmung von vertikalen Profilen des Partikelrückstreuoeffizienten, des Partikel-extinktionskoeffizienten und des Partikeldepolarisationsverhältnisses mittels eines Lidars.
2. Bestimmung der aerosoloptischen Dicke im ultravioletten, sichtbaren und nahen infraroten Wellenlängenbereich, des Ångström-Exponenten, des Wasserdampfes und abgeleiteter Größenverteilungen aus den Messungen mit einem Sonnenphotometer.
3. Bestimmung von Strahlungsgrößen wie der globalen und der diffusen solaren Strahlung und deren Fluktuationen und anderer meteorologischer Größen bei Staubereignissen und bei Nichtstaubverhältnissen.

Die Daten sollten dann bzgl. einer Rückwärtstrajektorien-Analyse gruppiert und statistisch analysiert werden.

Hinter diesem Ziel stand die Suche nach der vertikal aufgelösten Charakterisierung intensiver Eigenschaften der atmosphärischen Partikel über Tadschikistan bzw. von Unterschieden zu intensiven Eigenschaften atmosphärischer Partikel über anderen Bereichen des Globus.

Tadschikistan eignet sich mit seiner einzigartigen Lage besonders für solche Untersuchungen, da Tadschikistan sich zwischen Wüsten befindet, die ausgeprägte Quellen für atmosphärische Partikel sind, die dann weltweit transportiert werden.

Entsprechend Gomes und Gillette (1993) war in Tadschikistan eine „leicht“ andere Elementverteilung im atmosphärischen Mineralstaub zu erwarten, was andere optische Eigenschaften (Einfachstreueralbedo, Lidarverhältnis und lineares Depolarisationsverhältnis) zur Folge haben könnte. Innerhalb des Projekts sollten die Daten statistisch analysiert, bewertet und eingeordnet werden und somit ein Beitrag zur Partikeltypcharakterisierung (s.u.) geleistet werden.

TROPOS ist sehr am Aufbau von Kontakten mit Tadschikistan – insbesondere mit der Akademie der Wissenschaften von Tadschikistan (AdWT) – interessiert, was auch eine mögliche Einbindung der tadschikischen Partner in internationale wissenschaftliche Netzwerke und die Hilfe bei strukturellen Entwicklungen für Umweltmessungen und wissenschaftlichen Anwendungen in Tadschikistan beinhaltet.

3. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Gruppe optische Fernmessungen des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung ist eine weltweit führende Gruppe, die Aerosol-Ramanlidars entwickelt und diese Geräte zur Erforschung von atmosphärischen Partikeln weltweit anwendet. Zur Partikelforschung betreibt die Gruppe mehrere Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidars, wovon eines in einem Container, eines in einem Labor und 2 in Telekomschränken (Polly und PollyXT) eingebaut sind. Die Geräte werden zur Bestimmung der optischen Partikeleigenschaften in der Troposphäre genutzt. Die Gruppe ist in internationale Netzwerke eingebunden und nimmt an internationalen Feldmesskampagnen teil. So ist die Gruppe Gründungsmitglied und ein wichtiger Faktor für das European Aerosol Research Lidar

Network (EARLINET). Dieses Netzwerk führt regelmäßig Lidarmessungen zur Aerosolverteilung über Europa durch. Ziel der weltweiten Aerosolforschung ist die Bestimmung der Aerosoltypen und deren Eigenschaften [vgl. z.B. (Tesche, et al., 2009)] durch die Fernmessung der Profile der optischen Partikeleigenschaften unter Umgebungsbedingungen mit Lidar und Sonnenphotometer. Die Untersuchungen sollen dazu beitragen, das Verständnis des Einflusses der atmosphärischen Partikel auf den Strahlungshaushalt der Erde und auf die Wolkeneigenschaften zu verbessern.

Die Gruppe optische Fernmessungen des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung nahm mit ihren Geräten an einer Vielzahl von Feldkampagnen teil:

- Aerosol characterization experiment 2, Portugal 1997 (ACE2)
- Lindenberg Aerosol Characterisation Experiment 1998 (LACE98)
- Indian Ocean Experiment, Maldives 1999-2000 (INDOEX)
- Pearl-River-Delta experiment at Guangdong 2004 (PRD4)
- International Lindenberg campaign for assessment of humidity- and cloud-profiling systems and its impact on high resolution modelling, Ziegendorf / Germany 2005 (LAUNCH)
- Saharan mineral dust experiment 1, Morocco 2006 (SAMUM1)
- Convective and orographically-induced precipitation study in the Black Forest, Germany 2007 (COPS)
- Saharan mineral dust experiment 2, Cap Verde 2008 (SAMUM2)
- Intercomparisons with the Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) lidar which is called Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP), since 2006
- European Supersites for Atmospheric Aerosol Research 2006 - 2011 (EUSAAR), Leipzig
- European integrated project on aerosol cloud climate air quality interactions 2007-2010 (EUCAARI), Brazil and China.
- Satellite-based aerosol mapping over megacities: Development of methodology and application in health and climate related studies at Leipzig and Guangdong 2007 – 2010 (Megacities)
- Joint experiments with groups in Sweden 2010-2011 (VASA), Chile 2009-2010 (ALPACA), South Africa 2010-2011 (GOPHER)
- OCEANET Autonome Messplattformen zur Bestimmung des Stoff- und Energieaustausches zwischen Ozean und Atmosphäre (Atlantik)

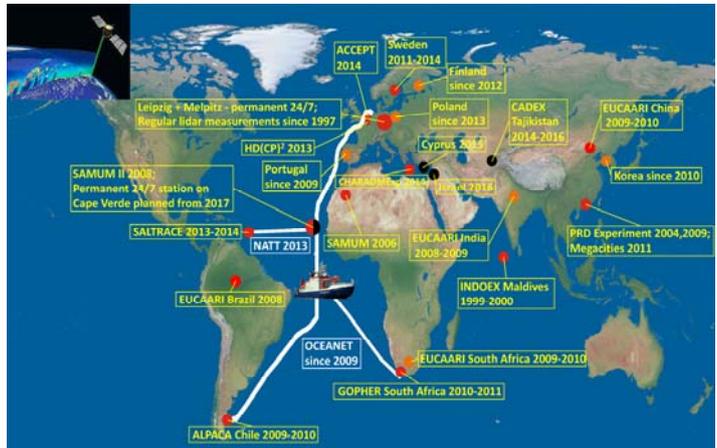


Abb. 1: Karte mit den wichtigsten Orten der Feldmesskampagnen der Gruppe optische Fernmessungen.

- Saharan Aerosol Long-range Transport and Aerosol-Cloud-Interaction Experiment, Barbados, 2013-2014 (SALTRACE)
- Cyprus Clouds Aerosols and Rain Experiment, Zypern, 2017 (CyCARE)

Alle diese Untersuchungen trugen und tragen zum besseren Verständnis der globalen Verteilung und des interkontinentalen Transports verschiedener Partikeltypen bei. Die Ergebnisse werden in Fachzeitschriften bzw. Sonderausgaben zu den entsprechenden Experimenten veröffentlicht. Quicklooks der weltweit Messungen findet man unter: <http://polly.rsd.tropos.de/lidar/>.

Nach den Kampagnen, die dem Saharastaub von Afrika in die Karibik („going west“) gefolgt waren, wurden Kampagnen angestrebt, die die Vermessung des asiatischen Staubs und Abschätzungen seiner Auswirkungen zum Ziel haben („going east“). So passte CADEX in das Forschungsprofil von TROPOS (<http://www.tropos.de/institut/forschungsprofil/>; vgl. Aufgaben, Mission, Leitthemen, Leitfragen und wissenschaftlichen Zielsetzungen). Das Leitthema 1 „Aerosolprozesse, von der Partikelbildung bis zur interkontinentalen Ausbreitung“ beinhaltet z.B. die Fragestellung: „welchen Einfluss haben anthropogene und natürliche Emissionen, physikalische und chemische Umwandlungen sowie Ferntransporte auf die raumzeitliche Variabilität des troposphärischen Aerosols?“. Da mit dem Projekt das troposphärische, über Ferntransport herantransportierte Aerosol vertikal charakterisiert werden sollten, konnte TROPOS also aus diesem Projekt unmittelbaren wissenschaftlichen Nutzen ziehen. Mit dem Projekt sollte für TROPOS verwertbares, publiziertes und publizierbares Wissen entstehen. Außerdem soll mit dem beantragten Projekt eine Zusammenarbeit mit einer Einrichtung in einem Land aufgebaut wird, wo eine vertikal aufgelöste Aerosolforschung für die Untersuchungen der klimatischen Entwicklungen der Welt erforderlich ist.

Mit den Untersuchungen in Tadschikistan sollte zur weiteren Verbesserung des Verständnisses der Prozesse, die die Eigenschaften des Aerosols beeinflussen, beigetragen werden. Die vertikal aufgelösten Daten können nun (nach Abschluss von CADEX) mit denen anderer TROPOS-Projekte (z.B. SAMUM1 [<http://samum.tropos.de/>], SAMUM2 [<http://samum.tropos.de/>], METEOR [<http://polly.rsd.tropos.de/>], SALTRACE [<http://www.pa.op.dlr.de/saltrace/>], CyCARE) verglichen werden. Es können nun mittels atmosphärischer Modellierungen Abschätzungen zur Deposition, zur Änderung der aerosoloptischen Dicke, zu Änderungen optischer Kenngrößen etc. pp. während des atmosphärischen Ferntransports der Partikel über Tadschikistan durchgeführt werden.

Obwohl Tadschikistan mit seiner Lage in Zentralasien bzgl. der Wissenschaft über den atmosphärischen Partikeltransport in einem Brennpunktbereich der Welt liegt, gab es in Tadschikistan keinerlei vertikal aufgelöste Messungen. So können auch (und das ist naheliegend) im Nachgang zu CADEX mit den in CADEX erhobenen Daten Beiträge zur Bearbeitung folgender Fragen des 2. Leitthemas von TROPOS (Aerosol-Wolken Wechselwirkung, von der Tropfenaktivierung bis zur Niederschlagsbildung) geleistet werden: „Wie lassen sich die Aerosol-Wolken-Wechselwirkungsprozesse quantitativ beschreiben und im Modell realitätsnah abbilden? In welchem Maße beeinflusst die Variabilität der physikalischen und chemischen Aerosoleigenschaften die mikrophysikalischen Strahlungseigenschaften von Wolken und wie wichtig ist dieser Einfluss verglichen mit der Variabilität der meteorologischen Antriebsgrößen?“

Vor Beantragung des Projekts CADEX gab es keinerlei Zusammenarbeit zwischen TROPOS und der AdWT.

4. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt gliederte sich in 3 Teilprojekte mit eigenen Zielen.

Teilprojekt 1: Lidarmessungen (TROPOS)

Das Ziel dieses Teilprojekts war die Bestimmung von vertikalen Profilen des

- Partikelrückstreuoeffizienten (bei 3 Wellenlängen)
- Partikelextinktionskoeffizienten (bei 2 Wellenlängen)
- Partikeldepolarisationsverhältnisses (bei mindestens einer Wellenlänge).

Für die Messungen sollte das TROPOS-eigene Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidar PollyXT (Althausen, et al., 2009; Engelmann et al. 2016) und ein Sonnenphotometer (CIMEL) von TROPOS oder PhTI genutzt werden. Das PollyXT-System ist ein vollautomatisch messendes System, das nach Einstellung eines Messzyklus selbständig die Messungen der vertikal aufgelösten atmosphärischen Partikelbelastung durchführt, das über das Internet gesteuert werden kann und das nur ab und zu gewartet werden muss.

Teilprojekt 2: Messungen der aerosoloptischen Dicke (AOD) (PhTI)

Ziel des Teilprojekts war die Bestimmung von

- AOD im ultravioletten, sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich
- Wasserdampf (cm)
- Ångström-Exponent
- abgeleiteter AOD-Fine-Mode-Anteil.

Diese bodengebundenen Staubmessungen wurden mit einem CIMEL Sun Photometer und einem Sky Radiometer (Tadschikistan AERONET Station in Duschanbe: Latitude 38° 33'N, Longitude 68° 43'E, Höhe 810 m) bei den Wellenlängen von 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936 und 1640 nm durchgeführt. Die Daten sind auf der Webseite von AERONET <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> in 3 Kategorien verfügbar: Daten, die u.U. auch Wolkenmessungen enthalten (level 1.0); Daten, bei denen die Wolkenmessungen herausgefiltert wurden (level 1.5) und qualitätsgesicherte Daten (level 2.0).

Teilprojekt 3: Forschung zu meteorologischen Daten bei Staub- und staubfreien Bedingungen (PhTI)

Das Ziel dieses Teilprojekts war die Untersuchung von

- Fluktuationen der solaren Strahlung (global, diffus, direkte), der Oberflächenalbedo und
- statistischen Daten der Änderungen der meteorologischen Parameter
bei Staubstürmen bzw. der Einfluss der Staubstürme auf die meteorologischen Parameter.

Es sollte eine Datenbasis im Zusammenhang mit den Teilprojekten 1 und 2 erstellt werden.

Tabelle 1: Die folgende Tabelle zeigt die geplanten Aktivitäten innerhalb des Projekts.

Geplante Aktivitäten	Teilprojekt			Monat nach Start des Projekts																								
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Projektstart-Treffen in Duschanbe	x	x	x																									
Literaturstudium zu optischen Eigenschaften von mineralischem Staub durch die Doktoranden	x	x	x																									
Messungen mit dem SPM in Duschanbe		x																										
Meteorologische Datenanalyse			x																									
Vorbereitung des PollyXT-Platzes in Duschanbe	x																											
Besuch der tadschikischen Wissenschaftler in Leipzig: Fortschrittsdiskussion zu den 3 Teilprojekten	x	x	x																									
Installation des PollyXTs in Duschanbe	x																											
Messungen mit dem PollyXT in Duschanbe	x																											
Besuch von deutschen Wissenschaftlern in Duschanbe zur Instalndaltung des PollyXTs	x																											
Auswahl von speziellen Tagen als "goldene Tage" für Fallstudien einer vollständigen Datenanalyseprozedur	x	x	x																									
Besuch von deutschen Wissenschaftlern in Duschanbe zur Instalndaltung des PollyXTs und für einen Workshop zur ersten Datenanalyse und der Vorbereitung eines Antrags an die Deutsche Stiftung Umwelt	x	x	x																									
Gemeinsame Datenanalyse	x	x	x																									
Report an das BMBF und Schreiben des Antrags an die Deutsche Stiftung Umwelt	x	x	x																									

Tabelle 2: Die folgende Tabelle zeigt die realisierten Aktivitäten.

Realisierte Aktivitäten	Teilprojekt			Monat nach Start des Projekts																								
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Projektstart-Treffen in Duschanbe	x	x	x																									
Literaturstudium zu optischen Eigenschaften von mineralischem Staub durch die Doktoranden	x	x	x																									
Messungen mit dem SPM in Duschanbe		x																										
Meteorologische Datenanalyse			x																									
Vorbereitung des PollyXT-Platzes in Duschanbe	x																											
Besuch der tadschikischen Wissenschaftler in Leipzig: Fortschrittsdiskussion zu den 3 Teilprojekten	x	x	x																									
Installation des PollyXTs in Duschanbe	x																											
Messungen mit dem PollyXT in Duschanbe	x																											
Besuch von deutschen Wissenschaftlern in Duschanbe zur Instandhaltung des PollyXTs	x																											
Auswahl von speziellen Tagen als "goldene Tage" für Fallstudien einer vollständigen Datenanalyseprozedur	x	x	x																									
Besuch von deutschen Wissenschaftlern in Duschanbe zur Instandhaltung des PollyXTs und für einen Workshop zur ersten Datenanalyse und der Vorbereitung eines Antrags an das BMBF und die Volkswagenstiftung	x	x	x																									
Gemeinsame Datenanalyse	x	x	x																									
Report an das BMBF und Schreiben des Antrags an das BMBF und die Volkswagenstiftung	x	x	x																									

Die realisierten Aktivitäten zeigen, dass

- alle geplanten Aktivitäten umfassend ausgeführt wurden,
- eine längere (als geplante) Zeit mit dem Sonnenphotometer in Tadschikistan gemessen wurde,
- eine längere (als geplante) Zeit mit dem Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidar PollyXT in Tadschikistan gemessen wurde,
- zur Sicherstellung des Projekts sogar zusätzliche Reisen von TROPOS-Wissenschaftlern nach Tadschikistan erforderlich waren und auch erfolgten,
- die wissenschaftlichen Ziele erreicht wurden und
- an Stelle des einen geplanten Antrags an die deutsche Stiftung Umwelt drei Anträge gestellt wurden zur Fortführung der Messungen in umfassenderem Sinn (CADEX-2), zur Fortführung der Messungen im längerfristigem Sinn (BMBF) und zur Einordnung der Messungen zwischen denen in Westasien und denen in Ostasien (Volkswagenstiftung). Diese Anträge waren auch besonders wichtig, damit die Kontakte zur AdWT aufrechterhalten werden können und das erfolgte „capacity building“ (Ausbildung eines jungen tadschikischen Wissenschaftlers) innerhalb der Projekts CADEX längerfristig Frucht tragen kann.

5. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Für das Projekt wurden

ein TROPOS-eigenes Mehrwellenlängen-Polarisations-Raman Lidar PollyXT (PORTable aerosoL Raman Lidar sYstem EXtended), das in Engelmann et al. (2016) und Baars et al. (2016) beschrieben ist,

ein CIMEL-Sonnenphotometer (http://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/system_descriptions.html)

und meteorologische Messgeräte (Standard-Geräte)

genutzt.

6. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Es wurde ein Studium der für das Projekt relevanten Fachliteratur durchgeführt. Zur Recherche wurden Portale wie researchgate.net und webofknowledge.com verwendet. Die Literatur wurde direkt von den Internetseiten der Fachjournale bezogen.

Von besonderem Interesse waren folgende Schwerpunkte:

- Sowjetisch-Amerikanische Messkampagne von 1989 in Tadschikistan (Golitsyn und Gillette, 1993; Smirnov et al., 1993; 1994; Gomes und Gillette, 1993; Andronova et al., 1993; Hansen et al., 1993; Sokolik und Golitsyn, 1993; Sokolik et al., 1993; Pachenko et al., 1993; Fraser et al., 1993; Gillette et al., 1993, Sviridenkov et al. 1993; Gillette und Dobrowolski, 1993).
- Lidarmessungen in Zentralasien und Umgebung: Lidarstation in Kirgisistan (Chen und Sverdlik, 2007; Chen et al., 2013), im nordwestlichen Teil der Taklamakan Wüste (Kai et al., 2008), in Kasachstan, in dem Gebiet des Kaspischen Meeres und des Aralsees (Dieudonné et al, 2015).
- Emission und Transport von Wüstenstaub in Zentralasien (Tsunematsu et al., 2005; Mikami et al., 2006, Darmenova et al., 2009; Xi und Sokolik, 2015a,b, 2016).
- Unterschiedliche optischen Eigenschaften von asiatischem und afrikanischem Mineralstaub (Su und Toon, 2011; Lafon et al., 2006; Ge et al., 2010; Eck et al., 2005; Formenti et al., 2011; Schuster et al., 2012; Sokolik und Toon, 1999; Mamouri et al., 2013; Nisantzi et al., 2015).

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb des Projekts wurde ein Vertrag zwischen S.U.Umarov Physical-Technical Institute (PhTI) Academy of Sciences of Republic of Tajikistan, 299/1 Ayni Ave, ZIP734063, Dushanbe, Tajikistan und TROPOS ausgehandelt. Im Rahmen dieses Vertrags wurden die für das Projekt erforderlichen Leistungen der AdWT und die Bezahlung dafür geregelt.

8. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Personalausgaben: 17.39 Personen-Monate

Diese Mittel waren erforderlich, um die Aufgaben innerhalb des 1 Teilprojekts abzuarbeiten.

Verbrauchsmaterial: Wurden nicht verwendet, konnten umgewidmet werden und sind nun in „Reisen Externer“ enthalten.

Vergabe von Aufträgen: Diese Mittel waren erforderlich, um die Aufgaben innerhalb des 2. und 3. Teilprojekts abzuarbeiten, da sie über eine Zusammenarbeit mit der tadschikischen Akademie der Wissenschaft geregelt wurden („Zusammenarbeit mit anderer Stelle“).

Catering: diese Mittel waren für den CADEX-Workshop am 25. August 2015 erforderlich. Ein Bericht über diesen Workshop ist im Zwischenbericht zum CADEX-Projekt vom März 2016 enthalten.

Reisen externer: diese Mittel waren für den CADEX-Workshop am 25. August 2015 erforderlich, da sie die Teilnahme der tadschikischen Kollegen wie vorgesehen absicherten. Ein Bericht über diesen Workshop ist im Zwischenbericht zum CADEX-Projekt vom März 2016 enthalten.

Dienstreisen / Ausland: Diese Mittel waren erforderlich, um die Aufgaben innerhalb des Teilprojekts 1 abzuarbeiten.

9. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind Personalausgaben (Position 0812) mit 59.4 %, gefolgt von Dienstreisen (Position 0846) mit 18.5 %, Vergabe von Aufträgen (Position 0835) mit 14.9 % und sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben (Position 0843) mit 7.2 % der Gesamtausgaben

10. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleisteten Arbeiten waren notwendig und angemessen, um die beschriebenen CADEX Projektziele zu erreichen, siehe hierzu Kapitel 4 und 8.

11. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Bei dem Projekt handelte es sich um Grundlagenforschung zum atmosphärischen, mineralischen Staub in Tadschikistan. Mit diesen Arbeiten sollte ein Basiswissen über die vertikale Verteilung des Staubs in der Atmosphäre über Tadschikistan aufgebaut werden. Es ist in naher Zukunft keine wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse sichtbar.

Ein Aspekt des gemeinsamen deutsch-tadschikischen Projekts betraf das „capacity-building“. Durch die Verhältnisse in Tadschikistan ist eine sehr starke Abwanderung von jungen Wissenschaftlern aus Tadschikistan festzustellen. Die Mitarbeiter der tadschikischen Akademie der Wissenschaften haben ein sehr hohes Durchschnittsalter. Um dennoch eine Kontinuität der wissenschaftlichen Arbeit in Tadschikistan besonders auf dem wichtigen Gebiet der Atmosphären- und Klimaforschung zu

gewährleisten, sind besondere Maßnahmen/Aktivitäten zum „capacity-building“ erforderlich, die auch u.U. fachfremde junge Wissenschaftler in das Gebiet der Atmosphärenforschung hereinbringen und diesen Wissenschaftlern eine Aussicht auf langfristige Projekte gibt. CADEX hat durch die Unterstützung der Doktorandenausbildung eines tadschikischen Doktoranden zu diesem wichtigen Aspekt der Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Tadschikistan beigetragen.

Die Messdaten des Projekts werden in einer europäischen Datenbank veröffentlicht (vgl. Erfolgskontrollbericht).

Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen innerhalb des Projekts werden in Beiträgen zu Konferenzen und in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht (vgl. Kapitel 13 und 14).

Innerhalb des Projekts fand am 25. August 2015 ein Workshop mit dem Ziel „Identify knowledge and needs for scientific research on mineral dust in Tajikistan“ statt. Dieser Workshop zeigte viele offene wissenschaftliche Fragen, die eine weitere Zusammenarbeit mit der AdWT erforderlich machen.

Folgende Anträge wurden zur Fortsetzung der gemeinsamen Forschung von TROPOS und AdWT gestellt:

- Central Asian Dust Experiment 2 (CADEX-2); abschlägig beschieden
- Central Asian DUst Conference (CADUC) in Duschanbe, Tadschikistan, 2017; noch keine Entscheidung
- Aufbau und Installation zweier permanenter Raman/Polarisations-Lidarsysteme in Zypern und Tadschikistan durch das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS); Entscheidung positiv

12. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es gab und gibt z.Zt. (nach Beendigung des Projekts) keine weiteren Lidar-Messungen in Tadschikistan. Die Ergebnisse des Projekts sind also bisher unikal.

13. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die ausgewerteten Daten wurden in der europäischen Datenbank ACTRIS (<http://www.actris.eu/DataServices/Data/DataCentre.aspx>) abgelegt.

ACTRIS wurde inzwischen auf die ESFRI Roadmap (<http://www.esfri.eu/roadmap-2016>) aufgenommen und soll als eine langfristige (Vorbereitungsphase ab jetzt, Vollbetrieb ab 2025) europäische Forschungsinfrastruktur aufgebaut werden. Damit sind

- die Nachhaltigkeit,
- standardisierte und qualitätsgesicherte Daten,
- freier Nutzerzugang und
- eine große Sichtbarkeit der Messdaten gewährleistet.

Mit dem einmaligen, über ACTRIS verfügbaren Datensatz der CADEX-Messungen zu vertikal aufgelösten optischen Partikeleigenschaften in Zentralasien können weiterführende Untersuchungen z.B. zu den Klimaänderungen in Zentralasien durchgeführt werden. Als Beispiele seien die

Ablagerungen des atmosphärischen mineralischen Staubs auf den Gletschern in den Hochgebirgen Zentralasiens, die damit verbundenen Änderungen der optischen Eigenschaften der Gletscher und Untersuchungen zur Strahlungsbilanz, die die Partikelschichten über Zentralasien berücksichtigen müssen, genannt.

Die erfolgen und geplanten Veröffentlichungen sind im folgenden Kapitel 14 (Literatur) aufgelistet.

14. Literatur:

Althausen, D., Engelmann, R., Baars, H., Heese, B., Ansmann, A., Müller, D., and Komppula, M.: Portable Raman Lidar PollyXT for Automated Profiling of Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 26, 2366-2378, doi:10.1175/2009JTECHA1304.1, 2009.

Andronova, A. V., Gomes, L., Smirnov, V. V., Ivanov, A. V., and Shukurova, L. M.: Physico-chemical characteristics of dust aerosols deposited during the Soviet-American experiment (Tadzhikistan, 1989), *Atmos. Environ.*, 27, 2487-2493, doi:10.1016/0960-1686(93)90020-Y, 1993.

Ansmann, A., Riebesell, M. A., and Weitkamp, C.: Measurement of atmospheric aerosol extinction profiles with a Raman lidar, *Opt. Lett.*, 15, 746-748, doi:10.1364/OL.15.000746, 1990.

Ansmann, A., Riebesell, M. A., Wandinger, U., Weitkamp, C., Voss, E., Lahmann, W., and Michaelis, W.: Combined raman elastic-backscatter LIDAR for vertical profiling of moisture, aerosol extinction, backscatter, and LIDAR ratio, *App. Phys.*, 55, 18-28, doi:10.1007/BF00348608, 1992a.

Ansmann, A., Wandinger, U., Riebesell, M. A., Weitkamp, C., and Michaelis, W.: Independent measurement of extinction and backscatter profiles in cirrus clouds by using a combined Raman elastic backscatter lidar, *Appl. Opt.*, 31, 7113-7131, doi:10.1364/AO.31.007113, 1992b.

Ansmann, A., Tesche, M., Seifert, P., Groß, S., Freudenthaler, V., Apituley, A., Wilson, K. M., Serikov, I., Linné, H., Heinold, B., Hiebsch, A., Schnell, F., Schmidt, J., Mattis, I., Wandinger, U., and Wiegner, M.: Ash and fine-mode particle mass profiles from EARLINET-AERONET observations over central Europe after the eruptions of the Eyjafjallajökull volcano in 2010, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 116, doi:10.1029/2010JD015567, 2011.

Ansmann, A., Seifert, P., Tesche, M., and Wandinger, U.: Profiling of fine and coarse particle mass: case studies of Saharan dust and Eyjafjallajökull/Grimsvötn volcanic plumes, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 9399-9415, doi:10.5194/acp-12-9399-2012, 2012.

Baars, H., Kanitz, T., Engelmann, R., Althausen, D., Heese, B., Komppula, M., Preißler, J., Tesche, M., Ansmann, A., Wandinger, U., Lim, J.-H., Ahn, J. Y., Stachlewska, I. S., Amiridis, V., Marinou, E., Seifert, P., Hofer, J., Skupin, A., Schneider, F., Bohlmann, S., Foth, A., Bley, S., Pfüller, A., Giannakaki, E., Lihavainen, H., Viisanen, Y., Hooda, R. K., Pereira, S. N., Bortoli, D., Wagner, F., Mattis, I., Janicka, L., Markowicz, K. M., Achtert, P., Artaxo, P., Pauliquevis, T., Souza, R. A. F., Sharma, V. P., van Zyl, P. G., Beukes, J. P., Sun, J., Rohwer, E. G., Deng, R., Mamouri, R.-E., and Zamorano, F.: An overview of the first decade of Polly^{NET}: an emerging network of automated Raman-polarization lidars for continuous aerosol profiling, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 5111-5137, doi:10.5194/acp-16-5111-2016, 2016.

Chen, B. and Sverdlik, L.: Optical and microphysical characteristics of aerosol structures in Central Asia, in: International Conf. on Lasers, Applications, and Technologies 2007: Environmental Monitoring and Ecological Applications; Optical Sensors in Bio, Chemical, and Engineering Technologies; and Femtosecond Laser Pulse Filamentation, vol. 6733, doi:10.1117/12.753117, 2007.

- Chen, B. B., Sverdlik, L. G., Imashev, S. A., Solomon, P. A., Lantz, J., Schauer, J. J., Shafer, M. M., Artamonova, M. S., and Carmichael, G. R.: Lidar Measurements of the Vertical Distribution of Aerosol Optical and Physical Properties over Central Asia, *Int. J. Atmos. Sci.*, doi:10.1155/2013/261546, 2013.
- Darmenova, K., Sokolik, I. N., Shao, Y., Marticorena, B., and Bergametti, G.: Development of a physically based dust emission module within the Weather Research and Forecasting (WRF) model: Assessment of dust emission parameterizations and input parameters for source regions in Central and East Asia, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, doi:10.1029/2008JD011236, 2009.
- Dieudonné, E., Chazette, P., Marnas, F., Totems, J., and Shang, X.: Lidar profiling of aerosol optical properties from Paris to Lake Baikal (Siberia), *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 5007-5026, doi:10.5194/acp-15-5007-2015, 2015.
- Eck, T. F., Holben, B. N., Dubovik, O., Smirnov, A., Goloub, P., Chen, H. B., Chatenet, B., Gomes, L., Zhang, X.-Y., Tsay, S.-C., Ji, Q., Giles, D., and Slutsker, I.: Columnar aerosol optical properties at AERONET sites in central eastern Asia and aerosol transport to the tropical mid-Pacific, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 110, D06 202, doi:10.1029/2004JD005274, 2005.
- Engelmann, R., Kanitz, T., Baars, H., Heese, B., Althausen, D., Skupin, A., Wandinger, U., Komppula, M., Stachlewska, I. S., Amiridis, V., Marinou, E., Mattis, I., Linné, H., and Ansmann, A.: The automated multiwavelength Raman polarization and water-vapor lidar Polly^{XT}: the neXT generation, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1767-1784, doi:10.5194/amt-9-1767-2016, 2016.
- Formenti, P., Schütz, L., Balkanski, Y., Desboeufs, K., Ebert, M., Kandler, K., Petzold, A., Scheuven, D., Weinbruch, S., and Zhang, D.: Recent progress in understanding physical and chemical properties of African and Asian mineral dust, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 8231-8256, doi:10.5194/acp-11-8231-2011, 2011.
- Fraser, R. S.: Optical thickness of atmospheric dust over Tadzhikistan, *Atmos. Environ.*, 27, 2533-2538, doi:10.1016/0960-1686(93)90026-U, 1993.
- Ge, J. M., Su, J., Ackerman, T. P., Fu, Q., Huang, J. P., and Shi, J. S.: Dust aerosol optical properties retrieval and radiative forcing over northwestern China during the 2008 China-U.S. joint field experiment, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D00K12, doi:10.1029/2009JD013263, 2010.
- Gillette, D. A. and Dobrowolski, J. P.: Soil crust formation by dust deposition at Shaartuz, Tadzhik, S.S.R., *Atmos. Environ.*, 27, 2519-2525, doi:10.1016/0960-1686(93)90024-S, 1993.
- Gillette, D. A., Bodhaine, B. A., and D, M.: Transport and deposition of desert dust in the Kafirnigan River Valley (Tadzhikistan) from Shaartuz to Esanbay: Measurements and a simple model, *Atmos. Environ.*, 27, 2545-2552, doi:10.1016/0960-1686(93)90028-W, 1993.
- Golitsyn, G. and Gillette, D. A.: Introduction: A joint Soviet-American experiment for the study of Asian desert dust and its impact on local meteorological conditions and climate, *Atmos. Environ.*, 27, 2467-2470, doi:10.1016/0960-1686(93)90017-S, 1993.
- Gomes, L. and Gillette, D. A.: A comparison of characteristics of aerosol from dust storms in Central Asia with soil-derived dust from other regions, *Atmos. Environ.*, 27, 2539-2544, doi:10.1016/0960-1686(93)90027-V, 1993.
- Groß, S., Tesche, M., Freudenthaler, V., Toledano, C., Wiegner, M., Ansmann, A., Althausen, D., and Seefeldner, M.: Characterization of Saharan dust, marine aerosols and mixtures of biomass-burning aerosols and dust by means of multi-wavelength depolarization and Raman lidar

- measurements during SAMUM 2, *Tellus B*, 64, 706-724, doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00556.x, 2011.
- Hansen, A. D. A., Kapustin, V. A., Kopeikin, V. M., Gillette, D. A., and Bodhaine, B. A.: Optical absorption by aerosol black carbon and dust in a desert region of Central Asia, *Atmos. Environ.*, 27, 2527-2531, doi:10.1016/0960-1686(93)90025-T, 1993.
- Kai, K., Nagata, Y., Tsunematsu, N., Matsumura, T., Kim, H.-S., Matsumoto, T., Hu, S., Zhou H., Abo, M., and Nagai, T.: The structure of the dustlayer over the Taklimakan Desert during the dust storm in April 2002 as observed using a depolarization lidar, *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 1-16, doi:10.2151/jmsj.86.1, 2008.
- Lafon, S., Sokolik, I. N., Rajot, J. L., Caqueneau, S., and Gaudichet, A.: Characterization of iron oxides in mineral dust aerosols: Implications for light absorption, *J. Geophys. Res. Atmos*, 111, D21207, doi:10.1029/2005JD007016, 2006.
- Mamouri, R. E., Ansmann, A., Nisantzi, A., Kokkalis, P., Schwarz, A., and Hadjimitsis, D. G.: Low Arabian dust extinction-to-backscatter ratio, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4762-4766, doi:10.1002/grl.50898, 2013.
- Mikami, M., Shi, G. Y., Uno, I., Yabuki, S., Iwasaka, Y., Yasui, M., Aoki, T., Tanaka, T. Y., Kurosaki, Y., Masuda, K., Uchiyama, A., Matsuki, A., Sakai, T., Takemi, T., Nakawo, M., Seino, N., Ishizuka, M., Satake, S., Fujita, K., Hara, Y., Kai, K., Kanayama, S., Hayashi, M., Du, M., Kanai, Y., Yamada, Y., Zhang, X. Y., Shen, Z., Zhou, H., Abe, O., Nagai, T., Tsutsumi, Y., Chiba, M., and Suzuk, J.: Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan China joint project ADEC, *Glob. Planet. Change*, 52, 142-172, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.03.001, 2006.
- Nisantzi, A., Mamouri, R. E., Ansmann, A., Schuster, G. L., and Hadjimitsis, D. G.: Middle East versus Saharan dust extinction-to-backscatter ratios, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 5203-5240, doi:10.5194/acpd-15-5203-2015, 2015.
- Pachenko, M. V., Terpugova, S. A., Bodhaine, B. A., Isakov, A. A., Sviridenkov, M. A., Sokolik, I. N., Romashova, E. V., Nazarov, B. I., Shukurov, A. K., Chistyakova, E. I., and Johnson, T. C.: Optical investigations of dust storms during U.S.S.R.-U.S. experiments in Tadzhikistan, 1989, *Atmos. Environ.*, 27, 2503-2508, doi:10.1016/0960-1686(93)90023-R, 1993.
- Rolph, G.: Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://ready.arl.noaa.gov>), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2017.
- Schuster, G. L., Vaughan, M., MacDonnell, D., Su, W., Winker, D., Dubovik, O., Lapyonok, T., and Trepte, C.: Comparison of CALIPSO aerosol optical depth retrievals to AERONET measurements, and a climatology for the lidar ratio of dust, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7431-7452, doi:10.5194/acp-12-7431-2012, 2012.
- Smirnov, V. V., Johnson, T. C., Krapivtseva, G. M., Krivchikova, T. V., and Shukurov, A. H.: Synoptic meteorological conditions during the U.S.S.R./U.S. dust experiment in Tadzhikistan in September 1989, *Atmos. Environ.*, 27, 2471-2479, doi:10.1016/0960-1686(93)90018-T, 1993.
- Smirnov, V. V., Gillette, D. A., Golitsyn, G. S., and MacKinnon, D. J.: The origin and evolution of dust clouds in Central Asia, *Atmos. Res.*, 34, 169-176, doi:10.1016/0169-8095(94)90088-4, 1994.
- Sokolik, I. N. and Golitsyn, G.: Investigation of optical and radiative properties of atmospheric dust aerosols, *Atmos. Environ.*, 27, 2509-2517, doi:10.1016/0960-1686(93)90021-P, 1993.

Sokolik, I. N. and Toon, O. B.: Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelengths, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 104, 9423-9444, doi:10.1029/1998JD200048, 1999.

Sokolik, I. N., Andronova, A. V., and Johnson, T. C.: Complex refractive index of atmospheric dust aerosols, *Atmos. Environ.*, 27, 2495-2502, doi:10.1016/0960-1686(93)90021-P, 1993.

Stein, A. F., Draxler, R. R., Rolph, G. D., Stunder, B. J. B., Cohen, M. D., and Ngan, F.: NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, doi:10.1175/BAMS-D-14-00110.1, 2015.

Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., and Wotawa, G.: Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2., *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 2461-2474, doi:10.5194/acp-5-2461-2005, 2005.

Su, L. and Toon, O. B.: Saharan and Asian dust: similarities and differences determined by CALIPSO, AERONET, and a coupled climate-aerosol microphysical model, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 3263-3280, doi:10.5194/acp-11-3263-2011, 2011.

Tesche, M., Ansmann, A., Müller, D., Althausen, D., Engelmann, R., Freudenthaler, V., and Groß, S.: Vertically resolved separation of dust and smoke over Cape Verde by using multiwavelength Raman and polarization lidars during Saharan Mineral Dust Experiment 2008, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, doi:10.1029/2009JD011862, 2009.

Tsunematsu, N., Sato, T., Kimura, F., Kai, K., Kurosaki, Y., Nagai, T., Zhou, H., and Mikami, M.: Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 110, doi:10.1029/2005JD005994, d21207, 2005.

Xi, X. and Sokolik, I. N.: Dust interannual variability and trend in Central Asia from 2000 to 2014 and their climatic linkages, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2015JD024092, 2015a.

Xi, X. and Sokolik, I. N.: Seasonal dynamics of threshold friction velocity and dust emission in Central Asia, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1536-1564, doi:10.1002/2014JD02247, 2015b.

Xi, X. and Sokolik, I. N.: Quantifying the anthropogenic dust emission from agricultural land use and desiccation of the Aral Sea in Central Asia, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2016JD025556, 2016.

Bzgl. CADEX-Projekt-Ergebnisse:

Konferenzbeiträge:

Dust 2014:

Althausen, D., Heinold, B., Abdullaev, S. F: CADEX Central Asian Dust Experiment (2014-2016). 1st International Conference on Atmospheric Dust, Castellana Marina, 2014.

Leipziger Staubtag 2015:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Engelmann, R., Baars, H., Heinold, B., Schettler, G., Fomba K. W., Müller, K., Ansmann, A., Klüser, L., Bakhron I. Nasarov, B. I., Makhmudov, A., Macke A.: Central Asian Dust Experiment (CADEX): Multiwavelength polarization Raman lidar observations in Tajikistan. 2nd Leipziger Staubtag, Leipzig, 2015.

ILRC27:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Engelmann, R., Baars, H.: Central Asian Dust Experiment (CADEX): Multiwavelength polarization Raman lidar observations in Tajikistan. 27th ILRC, New York, 2015. doi:dx.doi.org/10.1051/epjconf/201611918006, 2016.

Dust 2016:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Engelmann, R., Baars, H., Ansmann, A., Müller, K., Fomba, K. W., Schettler, G., Heinold, B.: Central Asian Dust Experiment (CADEX): First year lidar measurements. 2nd International Conference on Atmospheric Dust, Castellana Marina, 2016.

Althausen, D., Abdullaev, S. F., Hofer, J., Makhmudov, A., Heinold, B., Schettler, G., Nazarov, B. I., Minikulov, N. Kh.: Central Asian Dust Experiment (CADEX): Lidar measurements and comparisons of lidar ratios depolarization ratios between Saharan and Asian dust. 2nd International Conference on Atmospheric Dust, Castellana Marina, 2016.

Leipziger Staubtag 2016:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Müller, K., Fomba, K. W., Heinold, B., Schettler, G., Klüser, L., Kandler, K., Bakhron I. Nazarov, Baars, H., Engelmann, R., Ansmann, A.: Overview of 18 months of lidar measurements during the Central Asian Dust Experiment (CADEX) in Dushanbe, Tajikistan. 3rd Leipziger Staubtag, Leipzig, 2016

Althausen, D., Abdullaev, S. F., Hofer, J., Makhmudov, A., Müller, K., Fomba, Kh. W., Heinold, B., Schettler, G., Klüser, L., Nazarov, B. I., Minikulov, N. Kh., Kandler, K.: Central Asian Dust Experiment (CADEX) – an overview. 3rd Leipziger Staubtag, Leipzig, 2016

Kandler, K., Althausen, D., Hofer, J., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A.: Dust fall in Dushanbe, Tajikistan: Composition and Size Distribution by Electron Microscopy. 3rd Leipziger Staubtag, Leipzig, 2016.

Fomba, Kh. W., Müller, K., Hofer, J., Althausen, D., Herrmann, H., Makhmudov, A., Abdullaev, S. F.: Chemical characterization of mineral dust at Dushanbe, Tajikistan. 3rd Leipziger Staubtag, Leipzig, 2016.

OSA-Tagung 2016:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Engelmann, R., Baars, H., Ansmann, A., Klüser, L., Kandler, K., Müller, K., Fomba, K. W., Schettler, G., Heinold, B.: Overview of 18 months of lidar measurements during the Central Asian Dust Experiment (CADEX) in Dushanbe, Tajikistan. OSA Light, Energy and the Environment Congress, Leipzig, 2016. (Ausgezeichnet zum besten studentischen Konferenzbeitrag).

Althausen, D., Abdullaev, S. F., Hofer, J., Makhmudov, A., Müller, K., Fomba, Kh. W., Heinold, B., Schettler, G., Nazarov, B. I., Minikulov, N. Kh.: Central Asian Dust Experiment (CADEX) and comparisons of lidar ratios of Asian and Saharan dust. OSA Light, Energy and the Environment Congress, Leipzig, 2016.

ILRC28:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Nazarov, B. I., Schettler, G., A., Fomba, K. W., Müller, K., Heinold, B., Engelmann, R., Baars, H., Ansmann, A.: Mineral dust in central Asia: 18-month measurements in Tajikistan during the Central Asian Dust Experiment (CADEX). 28th ILRC, Bucharest, 2017.

Althausen, D., Hofer, J., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Baars, H., Engelmann, R., Fomba, K. W., Müller, K., Schettler, G., Klüser, L., Kandler, K.: Mineral dust in Central Asia: combining lidar and other measurements during the Central Asian Dust Experiment (CADEX). 28th ILRC, Bucharest, 2017.

Vorträge:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Engelmann, R., Baars, H., Makhmudov, A., Heinold, B., Klüser, L., Ansmann, A.: Central Asian Dust Experiment (CADEX): First results of the multiwavelength polarization Raman lidar observations in Tajikistan. Windy Day, Reading UK, 2015.

Peer reviewed:

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Nazarov, B. I., Schettler, G., Engelmann, R., Baars, H., Fomba, K. W., Müller, K., Kandler, K., Ansmann, A.: Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the central Asian site of Dushanbe Tajikistan: Case studies. In prep.

Hofer, J., Althausen, D., Abdullaev, S. F., Makhmudov, A., Nazarov, B. I., Schettler, G., Engelmann, R., Baars, H., Fomba, K. W., Müller, K., Kandler, K., Ansmann, A.: Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the central Asian site of Dushanbe Tajikistan: Key findings and statistical analysis. Planned.