

Kapitel 11

Zusammenfassung

An den Partikeloberflächen polarer Stratosphärenwolken (PSCs) werden passive Reservoirgase aktiviert, so dass sie unter Einwirkung solarer Strahlung Ozon zerstören können. PSCs entstehen im polaren Wirbel, der sich in beiden Hemisphären jeweils über dem Winterpol bildet. Ihre Entstehung ist abhängig von der Temperatur, aber auch vom vorhandenen stratosphärischen Wasserdampf sowie in geringerem Maße vom HNO_3 -Mischungsverhältnis. Aufgrund der geographischen Bedingungen entwickelt sich der Polarwirbel über der Antarktis zumeist ungestört, so dass hier sehr tiefe Temperaturen auftreten, die die Existenz von PSCs in jedem Winter ermöglichen. Der arktische Polarwirbel hingegen ist aufgrund der ausgeprägteren Wellenaktivität der Nordhemisphäre häufig gestört. In den meisten arktischen Wintern ereignen sich Stratosphärenerwärmungen verschiedener Stärke, und aufgrund des Aläuten-Hochs ist der Polarwirbel vom Pol verschoben. Die dynamische Aktivität des Polarwirbels hat zur Folge, dass die stratosphärischen Temperaturen nicht in jedem Winter bzw. häufig nicht über lange Zeiträume die PSC-Existenztemperatur unterschreiten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Messungen von polaren Stratosphärenwolken während drei arktischer Winter durchgeführt. In den Wintern 1997/1998 und 1998/1999 wurde dafür das Lidarsystem in Sodankylä, Finnland, verwendet. Im Winter 1999/2000 wurde das Lidarsystem in Ny-Ålesund, Spitzbergen, genutzt. Während der Meßwinter 1997/1998 und 1998/1999 in Sodankylä traten mehrere große Stratosphärenerwärmungen auf, die zur Folge hatten, dass PSCs nur vereinzelt auftraten. Hingegen war der Winter 1999/2000 durch einen stabilen, kalten Polarwirbel gekennzeichnet, so dass in Ny-Ålesund über mehrere Wochen hinweg PSCs beobachtet werden konnten. Neben den Beobachtungen von PSCs aus festen und/oder flüssigen Partikeln, also den PSC Typen I a und I b sowie PSC Typ I a/b -Mischungen und PSCs mit „Sandwich-Struktur“, wurden am 24./25. Januar und 26./27. Januar 2000 jeweils außergewöhnliche PSC- Ereignisse

detektiert, die aus festen, bemerkenswert großen Partikeln bestanden. Diese Partikel konnten mit den 10-20 μm großen PSC-Partikeln („*NAT-Rocks*“) in Verbindung gebracht werden, die im Rahmen der THESEO-2000-Meßkampagne bei *in-situ* Messungen identifiziert wurden. Aufgrund ihrer Größe sedimentieren diese *NAT-Rocks* und führen so zur Denitrifizierung stratosphärischer Schichten. Die Denitrifizierung bewirkt, dass der katalytische Ozonabbau nicht mehr durch Reaktionen gebremst werden kann, an denen stickstoffhaltige Spezies beteiligt sind. Im Frühjahr 2000 wurde entsprechend starker Ozonabbau in der Arktis beobachtet.

Auf die Lidarmessungen mehrerer Jahre aufbauend wurde erstmals ein Vergleich zwischen den beobachteten PSC-Ereignissen in Sodankylä und Ny-Ålesund vorgenommen. Dabei hat sich ergeben, dass es Unterschiede im PSC-Auftreten gibt, die auf die Lage der Meßstationen relativ zum polaren Wirbel zurückzuführen sind. So wurden in Sodankylä immer PSCs vom Typ II (Wassereis-PSCs) beobachtet, sobald die Temperaturen in einem Höhenbereich unter dem Eisgefrierpunkt T_{Eis} lagen. Obwohl in Ny-Ålesund an mehreren Tagen Temperaturen mit der Radiosonde gemessen wurden, die deutlich unter T_{Eis} lagen, wurden nie PSCs vom Typ II detektiert. Zudem gibt es Fälle, bei denen an beiden Stationen bei sehr ähnlichen Temperaturbedingungen Messungen mit dem Lidar durchgeführt wurden, jedoch nur über Sodankylä PSCs auftraten. Aus diesen Beobachtungen folgt, dass die Entstehung von PSCs über Sodankylä begünstigt ist.

Während sich das Wirbelzentrum in diesen Fällen über Ny-Ålesund befindet, liegt der Wirbelrand gerade über Sodankylä. Die unterschiedlichen PSC-Beobachtungen sind daher auf dynamische Prozesse am Rand des polaren Wirbels zurückzuführen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden 3 mögliche Prozesse untersucht, die eine Entstehung von PSCs am Wirbelrand fördern können:

- Stratosphärische Leewellen
- Filamentstrukturen
- Erhöhtes Wasserdampf-Mischungsverhältnis

Unter der Voraussetzung eines entsprechenden Windprofils werden am skandinavischen Gebirgrücken Leewellen angeregt, die sich in die Stratosphäre ausbreiten können, wenn die Atmosphäre stabil geschichtet ist. Es konnte gezeigt werden, dass die mit dem Lidar in Sodankylä gemessenen PSCs vom Typ II aufgrund von Temperaturfluktuationen entstanden sind, die durch stratosphärische Leewellen ausgelöst wurden.

Mit Hilfe der Konturadvektions-Simulation lassen sich Regionen von Filamentbildung am polaren Wirbel berechnen. Luftmassen, als faserartige Strukturen sichtbar gemacht, werden aufgrund von Wellenbrechen als Extrusion aus dem Polarwirbel heraus gezogen oder als Intrusion in den Wirbel hinein transportiert. Im Bereich der Filamentbildung

liegen so Luftmassen mit unterschiedlichen Parametern wie Spurengas-Konzentration und Temperaturgeschichte dicht nebeneinander vor. Da die Partikeldichte und -größe einer PSC maßgeblich von diesen Parametern abhängig ist, weisen die im Bereich der Filamentbildung detektierten PSCs eine starke zeitliche Variation ihrer Strukturen auf. Eine erhöhte oder verminderte PSC-Wahrscheinlichkeit aufgrund von Extrusionen oder Intrusionen konnte, basierend auf den PSC-Beobachtungen der Winter 1996/1997 bis 1998/1999 in Sodankylä, nicht nachgewiesen werden.

Die Tatsache, dass in Ny-Ålesund bislang trotz Unterschreiten des Eisgefrierpunkts (mit $m_{H_2O} = 5$ ppmv) keine Wassereis-PSCs gemessen wurden und auch Fälle existieren, in denen unter gleichen Temperaturbedingungen nur über Sodankylä PSCs auftreten, ist auf das unterschiedliche Wasserdampf-Mischungsverhältnis von Wirbelzentrum und Wirbelrand zurückzuführen. Maximale H_2O -Mischungsverhältnisse treten aufgrund einer stärkeren Absinkbewegung im Randbereich des Wirbels auf. Dadurch ist hier der Eisgefrierpunkt zu höheren Temperaturen verschoben, so dass PSCs schon bei höheren Temperaturen auftreten können. Im Gegensatz dazu ist das H_2O -Mischungsverhältnis im Zentrum des Wirbels niedriger, so dass der Eisgefrierpunkt zu tieferen Temperaturen verschoben ist. Die Bildung von Wassereis-PSCs ist dadurch erschwert.

Durch die Kombination der experimentellen Ergebnisse des Lidarverfahrens mit meteorologischen Ansätzen der Atmosphärendynamik konnte ein differenziertes Bild der PSC-Existenz im nordhemisphärischen Polarwirbel aufgezeigt werden. Die Resultate dieser Arbeit tragen damit zur Aufklärung der komplexen Zusammenhänge von Chemie und Dynamik der Atmosphäre bei.

In den letzten Jahren wird eine Zunahme stratosphärischen Wasserdampfs beobachtet, die auf zweifache Art Einfluß auf die PSC-Häufigkeit und damit auf den Ozonabbau in der Arktis hat. Zum einen werden die PSC-Existenztemperaturen zu höheren Temperaturen verschoben, zum anderen bewirkt Wasserdampf als Treibhausgas eine Abkühlung der Stratosphäre. Diese Zusammenhänge lassen erkennen, dass die zukünftige Entwicklung der arktischen Ozonschicht in komplexer Weise von den anthropogenen Emissionen abhängig ist.

