

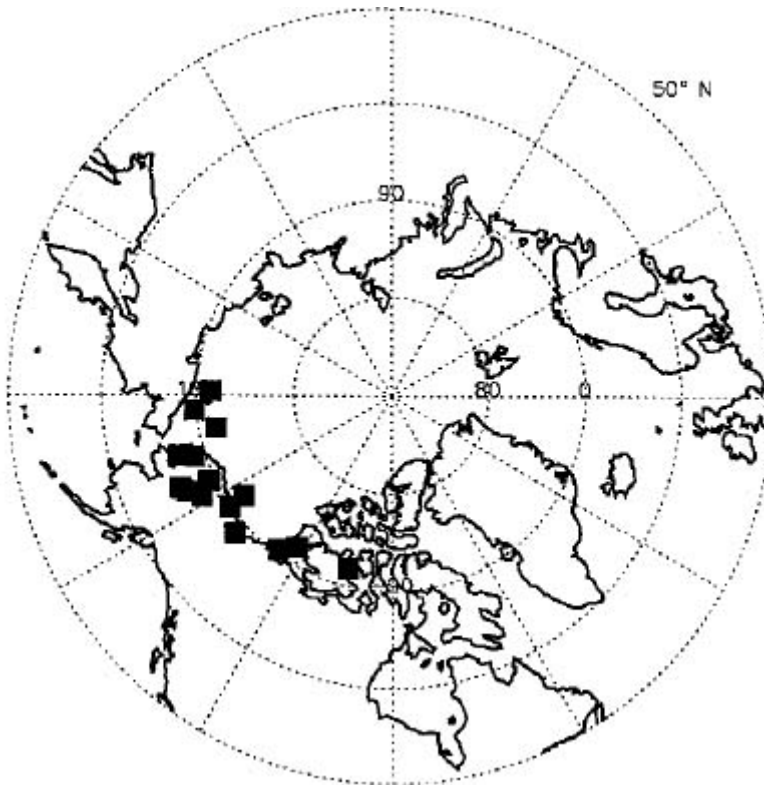
# CRISTA ist eine vielseitige Dame

**Während Wolken für uns eine alltägliche Erscheinung sind, kommen sie in den oberen Schichten der Atmosphäre eher selten vor / Von Klaus-Ulrich Großmann**

Wir schimpfen oft über das Wetter und dies speziell in Wuppertal. Mal ist es zu warm, mal zu kalt und fast immer ist es zu naß. Dabei gibt es Teile unserer Atmosphäre in denen die Bedingungen bei weitem unangenehmer sind. In den oberen Etagen der Atmosphäre findet man z.B. Temperaturen von  $-140^{\circ}$  und darunter. Die extremen Temperaturen haben ein interessantes Naturschauspiel zur Folge. Während Wolken eine alltägliche Erscheinung unseres Wetters sind, sind sie in den oberen Schichten der Atmosphäre, also in der Stratosphäre und Mesosphäre, eine Rarität, dafür aber von spektakulärer Erscheinung.



Professor Dr. Klaus-Ulrich Großmann, neben Professor Dr. Dirk Offermann Leiter der Arbeitsgruppe Weltraumforschung im Fachbereich Physik der Bergischen Universität.



Die Karte zeigt die Orte, an denen mit CRISTA Wolken in 82 - 84 km Höhe bei Temperaturen um  $-140^{\circ}\text{C}$  gefunden wurden.

CRISTA ist eine sehr vielseitige Dame. Nicht nur kann CRISTA mit enorm hoher Auflösung räumliche Strukturen in vielen Gasen der Stratosphäre, also dort wo die Ozonschicht liegt, analysieren, sondern ihre Meß-empfindlichkeit ist so hoch, daß noch Signale aus Höhen bis zu 180 km über dem Erdboden registriert werden. In den großen Höhen ist die Luft natürlich extrem dünn und die Anzahl der verschiedenen Gase und die zwischen ihnen ablaufenden Wechselwirkungen werden geringer. Gleichzeitig ist die obere Atmosphäre aber ein Bereich extremer Bedingungen. Dieser Höhenbereich eignet

sich daher zum Studium von Einzelprozessen, die hier leichter überprüft werden können als bei spielsweise in den bodennahen Luftschichten, wo oft viele unterschiedliche Einflüsse bei der Interpretation einer Messung beachtet werden müssen. Andererseits sind die von der oberen Atmosphäre ausgehenden Signale - im Falle von CRISTA werden die Infrarotemissionen der Gasmoleküle analysiert - sehr schwach und ihre Umrechnung in die interessierenden atmosphärischen Parameter wie Temperatur, Druck oder Konzentration der Gase wird mit steigender Höhe zunehmend komplizierter.

CRISTA mißt Infrarotspektren, die von den verschiedenen Molekülen in der Atmosphäre ausgesendet werden. Jedes Gas emittiert seine eigene charakteristische spektrale Signatur, sodaß aus der Form des gemessenen Spektrums die einzelnen Gase identifiziert werden können. Die Intensität der Strahlung wird durch die individuellen Eigenschaften der Gasmoleküle, durch ihre Menge und in der unteren und mittleren Atmosphäre in der Regel durch die Temperatur am Ort der Abstrahlung bestimmt. Diese Bedingung wird auch als „Lokales Thermodynamisches Gleichgewicht“ (LTG) bezeichnet. Wenn man also die Temperatur kennt, und auch diese läßt sich aus den Meßdaten von CRISTA ermitteln, kann man aus den gemessenen Signalen die Konzentration der Gase bestimmen. Die Abhängigkeit von der lokalen Temperatur wird durch die zahlreichen Zusammenstöße der Moleküle und Atome mit den sie umgebenden Nachbarmolekülen bewirkt. Zu großen Höhen hin wird die Luftdichte immer geringer. Die Gasmoleküle stoßen immer seltener miteinander zusammen und als Folge davon wird die Abstrahlung der Moleküle zunehmend unabhängig von der lokalen Temperatur. Stattdessen muß das weitere Umfeld der Moleküle für die Berechnung der Abstrahlungseigenschaften mit berücksichtigt werden. Unter diesen Bedingungen spricht man entsprechend vom „Nicht-Lokalen Thermodynamischen Gleichgewicht“ (N-LTG). Die Emissionen der Moleküle werden in diesen Fällen zusätzlich durch Strahlungen aus anderen Schichten der Atmosphäre sowie von der festen Erde und von der Sonne beeinflusst. Die Ableitung physikalischer Größen aus den Meßdaten erfordert folglich einen sehr hohen Rechenaufwand und natürlich die Kenntnis aller in die Rechnungen eingehenden Parameter.

Der CRISTA-2 Flug erfolgte im August 1997, das heißt zu einer Zeit als auf der Nordhalbkugel der Erde Sommer herrschte. Im Sommer und in hohen geographischen Breiten kommt es infolge der erhöhten Sonneneinstrahlung zu einer Erwärmung der unteren Atmosphärenschichten, die sich dabei ausdehnen. Die Luft in den oberen Bereichen der Atmosphäre weicht nach oben aus, wobei sie in Höhen gelangt, bei denen der Luftdruck geringer ist als in der Ausgangshöhe. Bei diesem Vorgang kühlt die Luft stark ab, ähnlich wie beim Entweichen von Gas aus einer Druckgasflasche. Die Temperaturen in dem Teil der oberen Atmosphäre, der nicht durch die Sonneneinstrahlung aufgeheizt wird, sind daher in polaren Breiten im Sommer extrem niedrig und erreichen bei rund 85 km Höhe ein absolutes Minimum. Die Höhe bei der das Temperaturminimum erreicht wird, wird als Mesopause bezeichnet. Es ist gleichzeitig die Abgrenzung zwischen der tiefer liegenden Mesosphäre und der darüberliegenden Thermosphäre. Eine erste Ableitung eines Temperaturverlaufs aus den CRISTA Spektren mittels einer N-LTG Rechnung ergab eine Temperatur von  $-142^{\circ}\text{C}$  in 85 km Höhe während gleichzeitig rund 30 km tiefer komfortable  $0^{\circ}\text{C}$  vorlagen. Diese Daten sind aus einer CRISTA Messung am 14. August 1997 über Zentralalaska abgeleitet worden.

Derartig extrem tiefe Temperaturen haben ein interessantes Naturschauspiel zur Folge. Obwohl die gesamte obere Atmosphäre äußerst trocken ist, gibt es selbst in der Mesosphäre noch geringste Konzentrationen von Wasserdampf. Der relative Anteil liegt

bei rund 0,001%. Das ist etwa 3000 mal weniger als in der Nähe des Erdbodens. Diese geringen Konzentrationen reichen jedoch aus, um bei den extrem niedrigen Temperaturen an der Mesopause zu dünnen Wolkenschichten zu kondensieren. Sie können mit dem bloßen Auge beobachtet werden, wenn sich die Sonne einige Grad unterhalb des Horizonts befindet. Am Boden ist es dann schon dunkel, die Wolke wird aber von der Sonne auf ihrer Unterseite angestrahlt. Derartige Sonnenstände sind im Sommer in hohen geographischen Breiten nur gegen Mitternacht zu finden. Die Wolken werden daher auch Nacht-leuchtende Wolken genannt. Mit Hilfe von Satellitengexperimenten können die Wolken natürlich zu jeder Tageszeit vermessen werden. Man spricht daher heute eher von „Polaren Mesosphärenwolken“. Die Abbildung zeigt Meßpunkte in einer solchen Wolke aufgenommen gegen etwa 14 - 15 Uhr Ortszeit. Die Wolke überdeckt die gesamte nördliche Hälfte von Alaska und Teile des Nordpolarmeeres und Nordkanadas. (Infolge der Flugbahn des Shuttles und damit der von CRISTA sind nur Meßwerte bis etwa 70° Nord aufnehmbar). Die Wolkenausdehnung gilt für eine Höhe von 82 - 84 km, bei der ungefähr das Zentrum der Wolke liegt. Die Wolke befindet sich damit einige Kilometer unterhalb der Mesopause. Die Eiskristalle, die sich bei den tiefen Temperaturen an der Mesopause bilden beginnen in der extrem dünnen Luft sofort zu fallen, wobei durch Kondensation weiteren Wasserdampfes ihre Größe noch zunimmt. Gleichzeitig gelangen sie beim Fall jedoch in Höhen mit etwas höherer Temperatur, bei der die Eiskristalle sofort anfangen zu verdampfen läßt. Die Höhe der Mesosphärenwolken ist daher auf einen relativ engen Bereich beschränkt. Temperaturschwankungen von ein paar Grad nach oben lassen die Wolken sofort wieder verschwinden. So ist die in der Abbildung gezeigte Wolke am nächsten Tag bereits verschwunden, während stattdessen über Nordkanada ausgedehnte Wolken auftraten. Die enorme Höhe in der sie auftreten ist seit 1885 bekannt, als man vom Boden aus mittels Triangulation ihre Höhe bestimmte. Aus den CRISTA Messungen läßt sich nicht nur die Höhe der Wolken, sondern auch ihre Dicke sowie ihre geographische Ausdehnung ermitteln.

Die genauen Entstehungsprozesse dieser Wolken, ihre geographische Verteilung und die Häufigkeit ihres Auftretens sind auch heute noch nicht verstanden. So werden beispielsweise in den letzten Jahren immer häufiger diese Wolken beobachtet, obwohl es keine Hinweise darauf gibt, daß sich die Temperaturen in der Nähe der Mesopause geändert haben. Die Messungen von CRISTA werden auch hier sicher deutliche Verbesserungen im Verständnis der Vorgänge im Bereich der Mesopause liefern.