

Validierung von Satellitendaten der Ozonschichtdicke

U. Köhler, H. Claude

Ozonmessungen mit Satelliten-getragenen Instrumenten wie z.B. TOMS, SAGE, SBUV, GOME oder SCIAMACHY werden seit Ende der siebziger Jahren durchgeführt. Sie liefern nahezu flächendeckend globale Messungen. Ein gravierender Nachteil dieses Instrumentariums ist dessen Unzugänglichkeit nach dem Start. Damit sind Überprüfungen bzw. Reparaturen vor Ort überhaupt nicht sowie Korrekturen der Daten nur mittels bodengestützter, hochgenauer Ozonmessreihen möglich. Derartige Referenz-Messreihen, sei es für die Ozonschichtdicke oder das vertikale Ozonprofil, gibt es seit vielen Jahrzehnten an einigen Stationen innerhalb des globalen WMO-Messnetzes, u.a. am Lichtklimatischen Observatorium im schweizerischen Arosa bereits seit 1926. Um deren Datenqualität zu sichern, wurde in den letzten 35 Jahren für die ca. 100 operationellen Gesamtzozon-Spektrophotometer vom Typ Dobson erfolgreich ein globales Kalibriersystem (s. Abbildung 1) aufgebaut. Es besteht aus einem Welt- (NOAA, Boulder, USA) und mehreren Regional-Kalibrierzentren RDCCs (u.a. am Hohenpeißenberg für die WMO RA VI Europa). Innerhalb dieses Systems werden nach WMO-Vorgaben alle operationellen Dobson Spektrometer alle vier bis fünf Jahre einem Kalibrierservice unterzogen.

In den ersten Jahren fanden die dazu notwendigen Vergleichskampagnen nur sporadisch statt. Dies führte insbesondere bei den sogenannten großen Vergleichen in Arosa dazu, dass dort innerhalb von drei Wochen bis zu 18 Instrumente teilweise mit sehr hohem Aufwand gewartet und kalibriert werden mussten. Hierdurch konnten nicht mehr bei jedem Gerät die nötigen intensiven Servicearbeiten durchgeführt werden. Daher wurde nach der Übernahme der Funktion eines RDCC am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg ein neues Konzept entwickelt. Seit 2000 werden in jedem Jahr kleinere Kampagnen mit bis zu maximal fünf Dobsons abge-

Global Dobson Calibration System

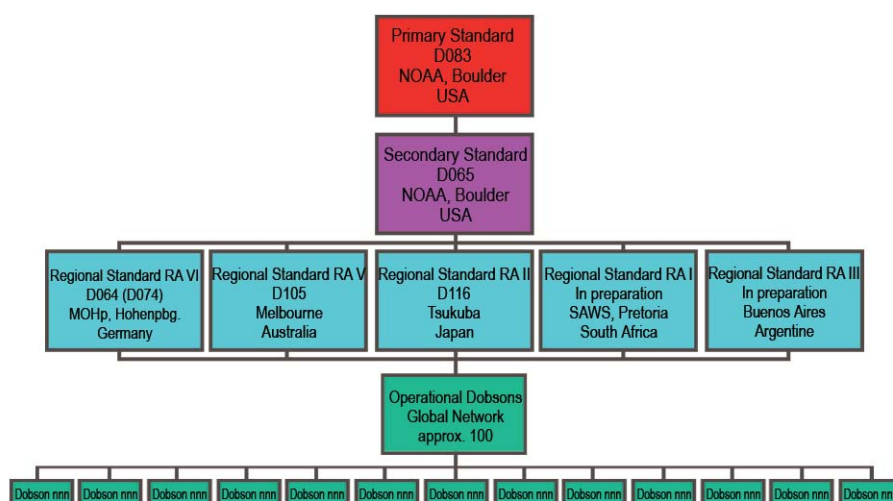


Abb. 1 Schema des Kalibriersystems für das globale WMO Messnetz Dobson .

halten (Lugauer und Köhler 1999). So konnten in den ersten vier Jahren, also einem WMO-Kalibrierzyklus, 24 von 30 operationellen europäischen Dobson Instrumente erfolgreich gewartet und kalibriert werden.

Auf Grund des Alters einiger Geräte sind darüber hinaus der Ersatz der Elektroniken durch moderne Entwicklungen sowie eine Generalüberholung von Mechanik und Optik notwendig gewesen. Abbildung 2 zeigt die Kalibrier-Historie mit den sporadischen Vergleichen zu Beginn und den jährlichen Kampagnen seit 2000. Die hellblaue Fläche als Vierjahresmittel belegt, dass die Zahl der regelmäßig im WMO-Zyklus kalibrierten Instrumente dadurch deutlich gesteigert werden konnte.

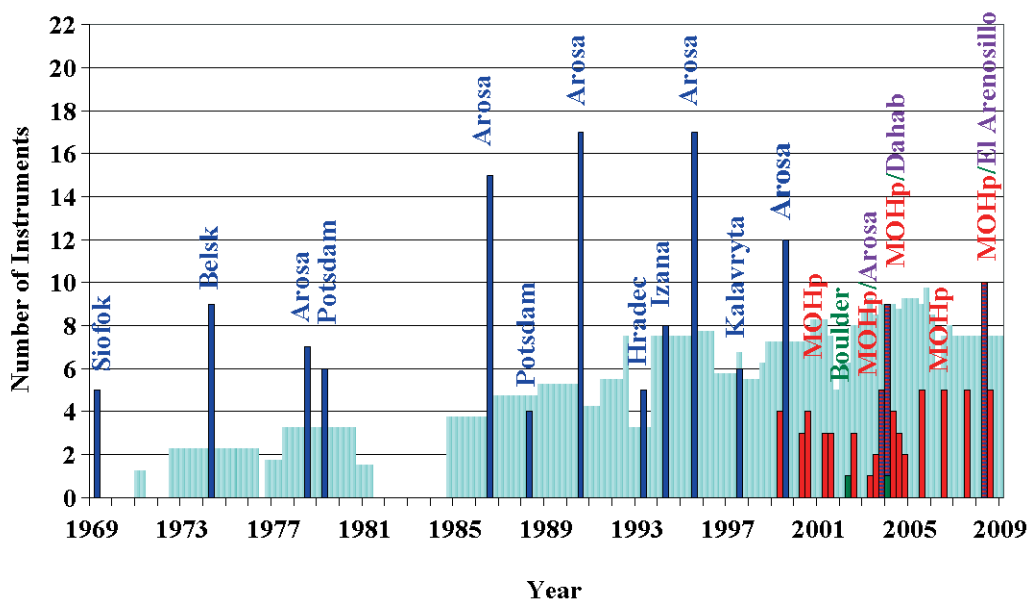


Abb. 2 Historie der Dobson-Kalibrierkampagnen in der WMO Region RA VI Europa der vergangenen 35 Jahre.

In Abbildung 3 sieht man deutlich die Verbesserung der Messgenauigkeit seit Einführung dieser regelmäßiger Kalibrierungen vor über 30 Jahren. Die Mehrzahl der Dobsons weist seit vielen Jahren schon zu Beginn der Kalibrierkampagnen eine Abweichung von weniger als $\pm 1\%$ zum Referenzgerät auf. Das bedeutet auch eine sehr hohe Messgenauigkeit zwischen den Kalibrierkampagnen. Diese hohe Messgenauigkeit und Langzeitkonstanz dieser "alten" Instrumente ist mit der Grund dafür, dass Dobsons immer noch das Rückgrat im weltweiten Ozonmessnetz bilden (Köhler 2002, Köhler et al. 2004). Durch all diese Maßnahmen konnte ein Kalibrierniveau erreicht und gehalten werden, das ein Garant für belastbare Trendanalysen und Grundvoraussetzung für die Validierung insbesondere der satellitengetragenen Messsysteme ist.

Die Validierung von Messgeräten auf Satelliten und deren Datensätze mit Hilfe unserer langen und homogenen Ozonmessreihen bekannter Qualität ist schon seit mehr als zehn Jahren am Hohenpeißenberg eine wichtige Aufgabe. So diente bereits 1994 die homogenisierte und damit qualitätsgeprüfte Messreihe des Dobson Spektrophotometers Nr. 104 dazu, die Gesamt Ozonmessungen des TOMS-Messgerätes auf dem NIMBUS 7-Satelliten zu validieren (Köhler 1995). Dadurch stellte sich heraus, dass die damalige TOMS Version 6 fehlerbehaftet war (Abbildung 4 links). Nachdem die

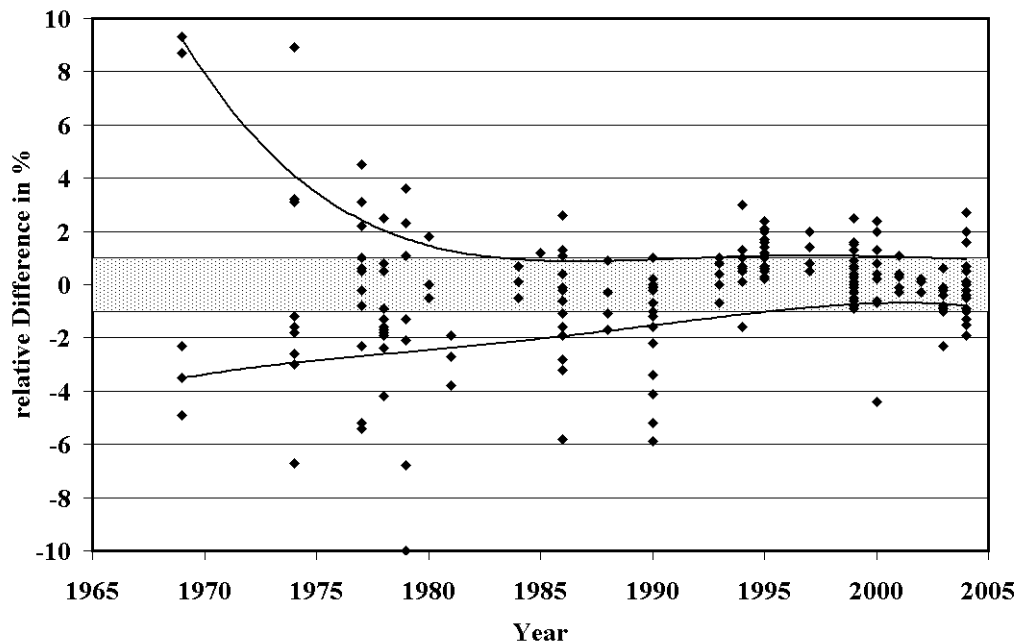


Abb. 3 Relative Differenzen der zu kalibrierenden Dobsons zum Referenzinstrument zu Beginn der Kalibrierkampagnen während der sogenannten Initial Calibration zur Bestimmung des Kalibrier-Status.

NASA den neuen Auswerte-Algorithmus Version 7 auf den Datensatz der Hohenpeißenberger Überflüge angewendet hatte, zeigt sich eine fast perfekte Übereinstimmung zwischen Dobson und TOMS (Abb. 4 rechts)

Beim Vergleich des ebenfalls am Hohenpeißenberg eingesetzten Brewer Spektrophotometers Nr. 10 mit dem Dobson Nr. 104 bzw. TOMS Vs. 7 fallen jedoch ausgeprägte Jahrgänge in den relativen Differenzen zwischen den Instrumenten auf (Abb. 5 links und rechts).

Untersuchungen der letzten Jahre belegen, dass ein großer Teil der jährlichen Amplitude durch die vergleichsweise große Abhängigkeit der Dobson-Absorptionskoeffizienten von der Ozonschicht-Temperatur erklärt werden kann (Kerr et al. 1988, Kerr 2002, Staehelin et al. 2003). Während im Auswertealgorithmus von einer konstanten "effektiven" Temperatur der Ozonschicht von -46°C ausgegangen wird, zeigen die Radiosondierungen am Hohenpeißenberg jahreszeitlich bedingte Abweichungen von diesem Wert zwischen 10 und 15 K, was zu Abweichungen in Höhe von 1 - 1.5% führen kann.

Als im Frühsommer 2004 die Satellitendaten der neuesten TOMS Auswerte-Version 8 herausgegeben wurden, war eigentlich zu erwarten, dass dieser Dobson-Schwachpunkt Berücksichtigung gefunden haben sollte. Eine erste Auswertung schien dies auch zu bestätigen, da nun im D104 - TOMS Version 8 - Vergleich ein Jahrgang auftauchte (s. Abbildung 6 links). Beim Vergleich BR010 - TOMS Version 8 stellte sich jedoch heraus, dass dieser noch größere Jahresamplituden aufwies als in der Version 7 (s. Abbildung 6 rechts und Vergleich mit Abbildung 5 rechts).

Hauptursache für diese deutliche Verstärkung des Jahrganges bei den relativen Differenzen sind offensichtlich die Wintermonate Dezember bis Februar, die beim

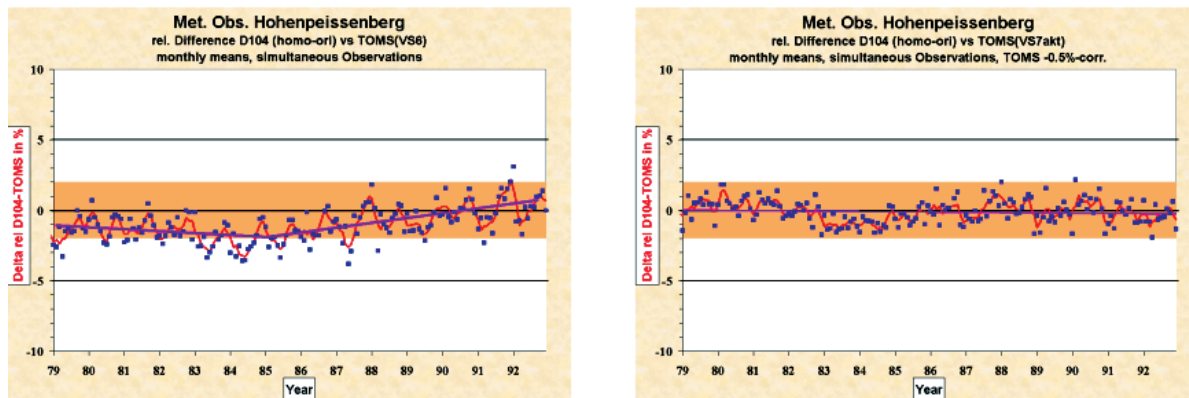


Abb. 4 links/rechts: Monatsmittel der relativen Differenzen zwischen Dobson 104 und TOMS Version 6 (links) und 7 (rechts).

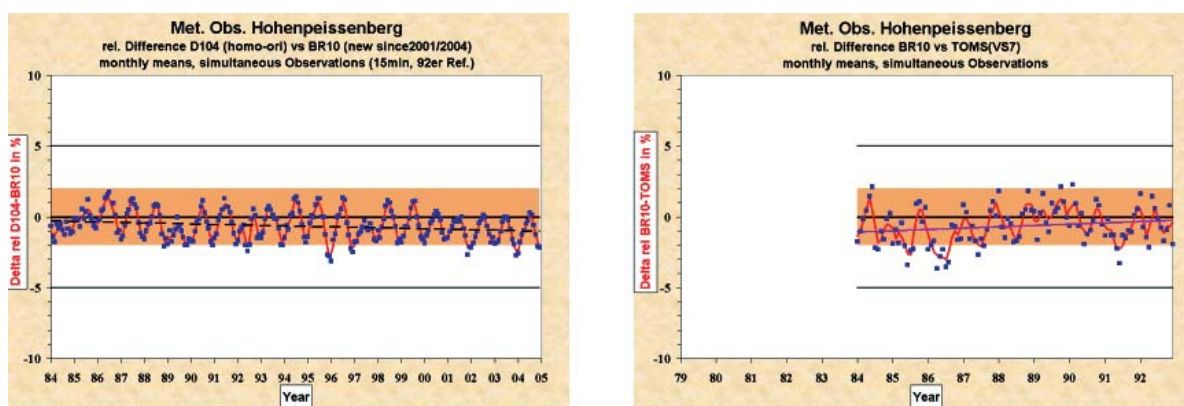


Abb. 5 links/rechts: Monatsmittel der relativen Differenzen zwischen Dobson 104 und Brewer 10 (links) sowie Brewer 10 und TOMS Version 7 (rechts).

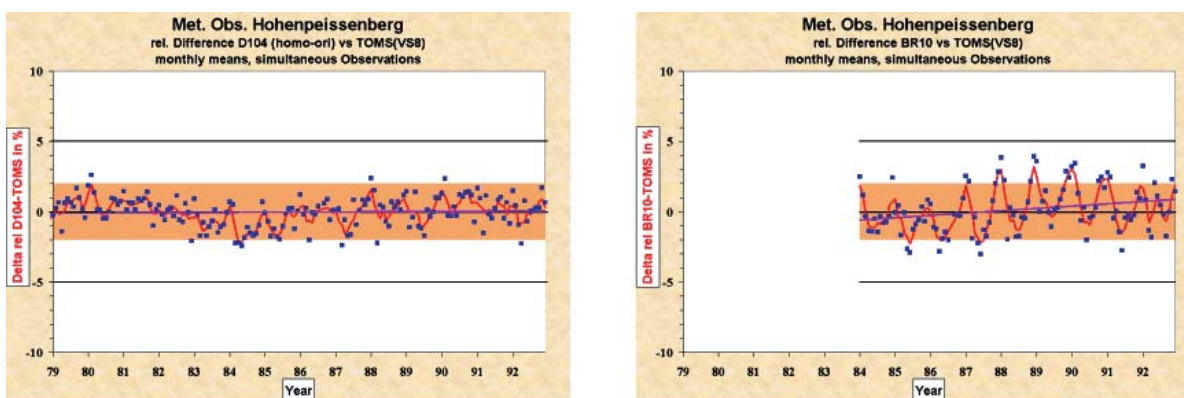


Abb. 6 links/rechts: Monatsmittel der relativen Differenzen zwischen Dobson 104 (links) bzw. Brewer 10 und TOMS Version 8 (rechts).

Vergleich zwischen TOMS Vs.7 und Vs.8 die größten Unterschiede aufweisen (s. Abbildung 7). Weitere Untersuchungen und Vergleiche der TOMS-Daten mit anderen Stationen mit langen homogenisierten Dobson - Brewer-Reihen wie Uccle (Belgien) und Hradec Kralove (Tschechische Republik) werden zeigen müssen, wo die Wahrheit liegt.

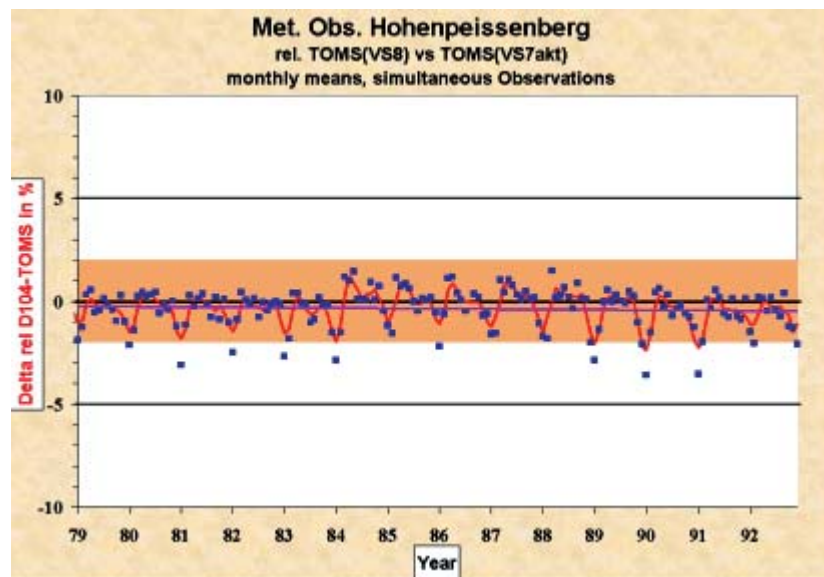


Abb. 7 Monatsmittel der relativen Differenzen zwischen TOMS Version 7 und 8.

Diese Vergleiche bestätigten erneut, wie wichtig die Validierung von Satelliten-Instrumenten mit hochgenauen Bodenmessungen ist. Ohne Ground-Truth-Stationen mit Instrumenten genau bekannter Qualität würde dieses überaus wichtige und teure Instrumentarium - im wahrsten Sinne des Wortes - in der Luft hängen (Köhler 1994).

Literatur

- Kerr, J. B., Asbridge, I. A. und Evans, W. F. J., 1988: Long-term intercomparison of total ozone measured by the Brewer and Dobson spectrophotometers at Toronto. *J. Geophys. Res.*, 93, 11129 - 11140.
- Kerr, J. B., 2002: New methodology for deriving ozone and other atmospheric variables from Brewer spectrophotometer direct sun spectra. *J. Geophys. Res.*, 107, ACH 22-1 - 17.
- Köhler, U., 1994: Die RA VI-Ozonzentrale Hohenpeissenberg als Ground-Truth-Station für Satelliten, *Ozonbulletin des DWD* Nr. 10.
- Köhler, U., 1995: Homogenization and Re-evaluation of the Long-Term Ozone Series at the Met. Obs. Hohenpeissenberg. *Abschlußbericht zum DWD Projekt 532 31 (K/U 31)*, Arbeitsergebnisse der Abteilung Forschung Nr. 31.
- Köhler, U., 2002: Europäisches Dobson Kalibrierzentrum Hohenpeissenberg garantiert hohe Datenqualität. *Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes* Nr. 87.
- Köhler, U., Claude, H., Vanicek, K., Stanek und M., Evans, R., 2004: The Dobson Instrument - Still a Backbone of Ozone Monitoring?, *Extended Abstract zum XX. Quadrennial Ozone Symposium*, Kos, 31.5. - 9.6.2004, Griechenland.
- Lugauer, M. und Köhler, U., 1999: Europäisches Dobson Calibration Center nimmt am Hohenpeissenberg den Betrieb auf. *Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes* Nr. 66.
- Staehelin, J., Kerr, J., Evans, R. und Vanicek, K., 2003: Comparison of Total Ozone Measurements of Dobson and Brewer Spectrophotometer and Recommended Transfer Functions, *WMO GAW Report No.* 149.