

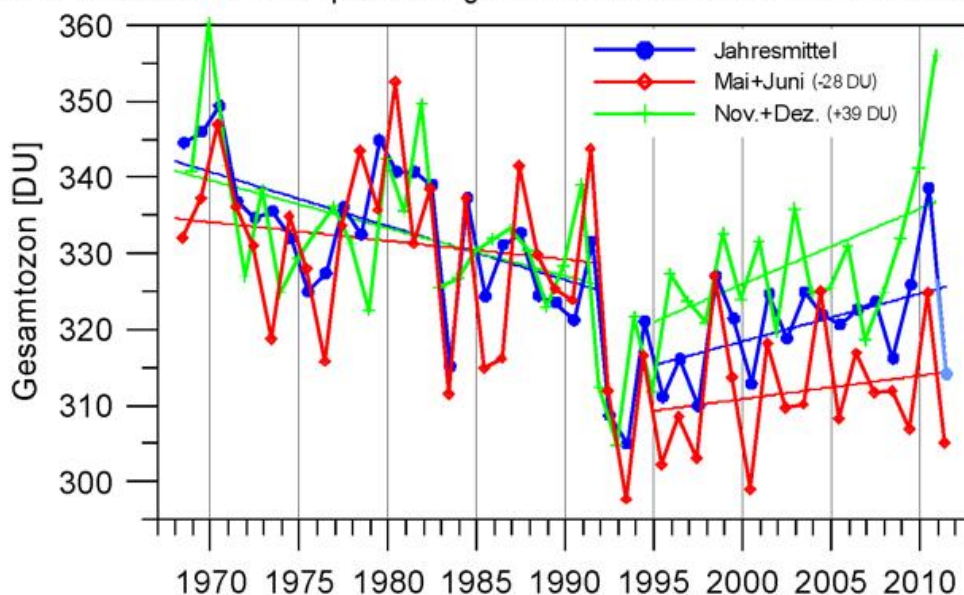
W. Steinbrecht, H. Claude, U. Köhler, B. Galleithner  
Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg  
[wolfgang.steinbrecht@dwd.de](mailto:wolfgang.steinbrecht@dwd.de)

## Wirkt ein arktisches „Ozonloch“ bis in unsere Breiten?

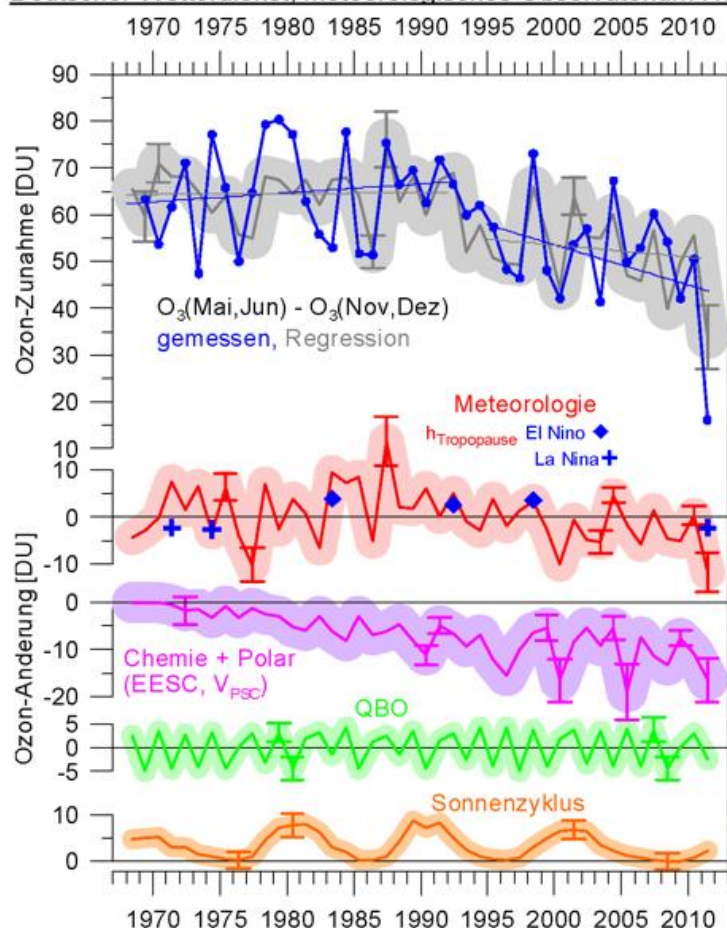
Große Schwankungen der Ozonsäule kommen häufig vor (Bulletins 4, 36, 76, ...). Trotzdem war der Wechsel von hohem Gesamt Ozon im Jahr 2010 (Bulletin 127) auf das voraussichtlich niedrige Jahresmittel von 2011 extrem (blaue Linie in Abb. 1). Solch große Änderungen von einem Jahr auf das Nächste kommen in der langen Hohenpeißenberger Reihe nur drei Mal vor - zuletzt 1991/1992, davor 1982/1983. Das hohe Jahresmittel 2010 hing mit ungewöhnlichen Wetterlagen zusammen (stabile negative Phase der Nord-Atlantik-Oszillation =NAO, Quasi-Zweijährige-Oszillation =QBO, vgl. Bulletin 127). 2011 zeichnete sich dagegen aus durch einen äußerst kalten und stabilen arktischen Polarwirbel (positive NAO/AO), mit ausgedehnten Polaren Stratosphärenwolken (PSCs) bis Ende März. Dies bewirkte im Frühjahr 2011 extremen Ozonabbau - wie sonst nur über der Antarktis - und führte fast zum ersten „Ozon-Loch“ über der Arktis (vgl. Bulletin 128).

Welche Auswirkungen kann starker arktischer Ozonabbau auf unsere Breiten haben? Dazu zeigt Abb. 1 die Hohenpeißenberger Ozonmittel von Mai und Juni (rote Linie). Spätestens Ende April ist der arktische Polarwirbel zusammengebrochen, die Brewer-Dobson Zirkulation (BDC) hat ozonreiche Tropen-Luft in der oberen Stratosphäre polwärts geschoben, während polare, eventuell ozonarme Luftmassen in der unteren Stratosphäre bis Mai/Juni in mittlere Breiten transportiert wurden. Die Ozonwerte von Mai und Juni können also Beiträge arktischen Ozon-Abbaus enthalten. In der Tat liegen nach Wintern mit starkem arktischem Ozonabbau die Mai/Juni Mittelwerte am Hohenpeißenberg meist niedrig (2011, 2005, 2000, 1997), nach Wintern mit wenig arktischem Ozonabbau meist hoch (1991, 1998, 2001, 2004). Auffällig ist auch, dass seit Mitte der 1990er Jahre die rote Kurve der (verschobenen) Mai/Juni Ozonwerte deutlich unterhalb der blauen Jahresmittelwerte liegt, während vor 1991 beide Kurven auf etwa gleichem Niveau lagen. Das Gegenteil zeigen die (verschobenen) November/Dezemberwerte, deren grüne Kurve ab 1996 deutlich oberhalb der blauen Jahresmittelwerte liegt. Auch der positive Trend seit 1995 ist im November/Dezember deutlich größer als im Mai/Juni. Die normale Ozonzunahme von November über den Winter bis Ende April des Folgejahres ist in den letzten 20 Jahren deutlich geringer ausgefallen als vor 1990.

In Abb. 2 zeigt dies die blaue Linie mit der Differenz zwischen den Ozonsäulen von Mai/Juni und November/Dezember des Vorjahres. Hier sticht das Jahr 2011 deutlich heraus: Noch nie ist die Ozonzunahme über den Winter so gering ausgefallen wie in 2011! Man kann versuchen, die winterliche Ozonzunahme über Hohenpeißenberg in verschiedene Einflüsse aufzuteilen. In Abb. 2 wur-



**Abbildung 1:** Ozonsäulen über Hohenpeißenberg. Blau: Jahresmittelwerte. Rot: Mittelwerte von Mai und Juni, um 28 DU nach unten verschoben. Grün: Mittelwerte von Dezember und Januar, um 39 DU nach oben verschoben. Der Jahresmittelwert für 2011 ist geschätzt, Daten für November und Dezember 2011 fehlen noch.



**Abbildung 2:** Oben: Ozonänderung von November/ Dezember des Vorjahres auf Mai/Juni. Blau: Messwerte am Hohenpeißenberg. Grau: Rekonstruktion durch lineare Regression. Unten: Ozonschwankungen durch verschiedene Einflüsse der linearen Regressionsanalyse. Unter Meteorologie zusammengefasst sind die Einflüsse von Tropopausenhöhe (Mai, Juni – Nov., Dez.) und ENSO. Unter Chemie+Polar sind EESC und  $V_{PSC}$  zusammengefasst. Die unterlegten Linien und Fehlerbalken geben die statistische Unsicherheit an ( $\pm 1\sigma$ ).

Mittel liegen. An einzelnen Tagen wurden natürlich noch größere Defizite beobachtet. Manney et al. geben in Nature (2011) für den Polarwirbel 2011 Ozonabnahmen um -130 DU an. Bedenkt man, dass der Wirbel rund 1/10 der Nordhalbkugel bedeckt, so liegen die -15 DU ( $\approx -130 \text{ DU}/10$ ) in der richtigen Größenordnung. Eine saubere Trennung und genaue Bewertung für ein einzelnes Jahr ist aber mit dem einfachen Regressionsverfahren nicht möglich. Selbst mit aufwändigen Chemie-Transportmodellen ist das schwierig, weil BDC, Transport, PSCs, Stratosphärenwärmungen, NAO, AO, QBO, Sonnenzyklus, ENSO und die Ozonwerte komplex miteinander verkoppelt sind. Dennoch zeigen der abnehmende Trend der winterlichen Ozonzunahme über Hohenpeißenberg und die entsprechenden Verläufe der Hauptbeiträge von Tropopausenhöhe und  $V_{PSC}$  in Abb. 2 an, dass wir auch in den nächsten 10 Jahren mit geringen winterlichen Ozonzunahmen und damit im Frühjahr/Sommer mit niedrigen Ozonsäulen und hohen UV-Werten rechnen müssen.

den folgende Faktoren gewählt: 1.) Lokale Tropopausenhöhe über Hohenpeißenberg, beschreibt Wettereinflüsse auf die Ozonschicht (ähnlich zu NAO oder AO). 2.) Troposphärische El Nino/ La Nina-Schwankung (ENSO), wirkt schwach auch in die Stratosphäre. 3.) PSC-Volumen über der Arktis ( $V_{PSC}$ ), hängt mit der Stärke der BDC zusammen und trägt bei hohem Chlorgehalt entscheidend zum chemischen Ozonabbau im Winter bei. 4.) Chlor- und Bromgehalt (EESC), haben langfristig den Ozongehalt verringert. 5.) QBO, moduliert die gesamte Stratosphäre. 6.) 11-jähriger Sonnenzyklus. Im Maximum wird mehr Ozon in den Tropen gebildet und dann von der BDC polwärts geschoben.

Lineare Regression mit diesen Faktoren (graue Linie oben in Abb. 2) liefert eine brauchbare Beschreibung der beobachteten winterlichen Ozonzunahme (blaue Linie,  $R^2 = 0.51$ ). Die größten Änderungen stammen von Tropopausenhöhe (bis  $\pm 15 \text{ DU}$ ) und vom PSC-Volumen (bis  $-20 \text{ DU}$ ). Kleinere Anteile kommen von QBO, Sonnenzyklus und ENSO. 2011 zeigen alle Einflussfaktoren in Richtung geringe Ozon-Zunahme über den Winter. Auch die Regression liefert den niedrigsten Wert der ganzen Zeitreihe.

Der starke arktische Ozonabbau ( $V_{PSC}$ ) im Frühjahr 2011 hat also auch am Hohenpeißenberg Spuren hinterlassen, die nach Abb. 2 bei  $-15 \text{ DU}$  im

### Monatsstatistik Gesamt-Ozon für Mai/Juni/Juli/August/Oktober 2011

Station	Gesamtozonmittel in D.U. und Abweichung vom langjährigen Mittel in %											
	Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober	
Hohenpeißenberg	341	-4.48	325	-5.80	326	-0.61	298	-5.10	274	-7.74	275	-2.48
Lindenberg	354	-4.58	339	-5.04	334	-1.76	305	-5.28	285	-5.32	278	-4.14
Arosa (CH)	329	-7.58	313	-7.67	317	-1.55	284	-8.09	267	-8.87	268	-4.63
Hradec Kralove (CZ)	351	-4.88	333	-5.67	322	-4.17	296	-7.50	280	-6.98	281	-2.77
Uccle (B)	347	-3.61	340	-1.45	338	+2.42	311	-1.27	287	-2.05	283	-0.35

Von Mai bis Oktober 2011 weisen alle Stationen bis auf Uccle im Juli zeitweise beträchtliche Ozondefizite auf.