



Ozonbulletin des DWD

Nr. 139, 11. September 2020

Wolfgang Steinbrecht¹, Ulf Köhler¹, Antje Innes²
¹Met. Obs. Hohenpeißenberg, ²ECMWF
wolfgang.steinbrecht@dwd.de, ulf.koehler@dwd.de



Wenig Ozon in der Troposphäre: Arktisches Ozonloch 2020 oder COVID 19?

Seit April 2020 messen die Hohenpeißenberger Ozonsonden ungewöhnlich wenig Ozon in der freien Troposphäre, vom Boden bis rund 10 km Höhe. Die unabhängigen bodennahen Ozonmessungen rund um die Uhr zeigen ebenfalls wenig Ozon. Abbildung 1 zeigt diese niedrigen Ozonwerte als ausgeprägten blauen Bereich im Jahr 2020. Von Januar bis März traten Ozondefizite vor allem in der Stratosphäre auf, zwischen 10 und 20 km Höhe. Im April verstärkte sich das Ozondefizit und umfasste den gesamten Höhenbereich von 6 bis 20 km. Bei 10 km, im Bereich der Tropopause, erreichten die Ozonwerte nur etwa die Hälfte (50%) des langjährigen Mittelwerts. Im Mai, Juni und Juli 2020 verschob sich dann der blaue Bereich niedriger Ozonwerte in die Troposphäre und umfasste alle Höhen vom Boden bis 12 km. Im August waren nur noch Höhen unterhalb von 7 km betroffen. Im Mittel lag das troposphärische Ozon rund 15% unterhalb der üblichen Werte. So wenig Ozon über mehrere Monate in der gesamten Troposphäre ist in den letzten Jahrzehnten nicht vorgekommen! Durch wenig Ozon in Stratosphäre und Troposphäre waren auch die Gesamtozonwerte von April bis August sehr niedrig. Im Juli 2020 wurde sogar mit 310 DU der niedrigste Gesamtozonwert der gesamten Reihe seit 1968 gemessen!

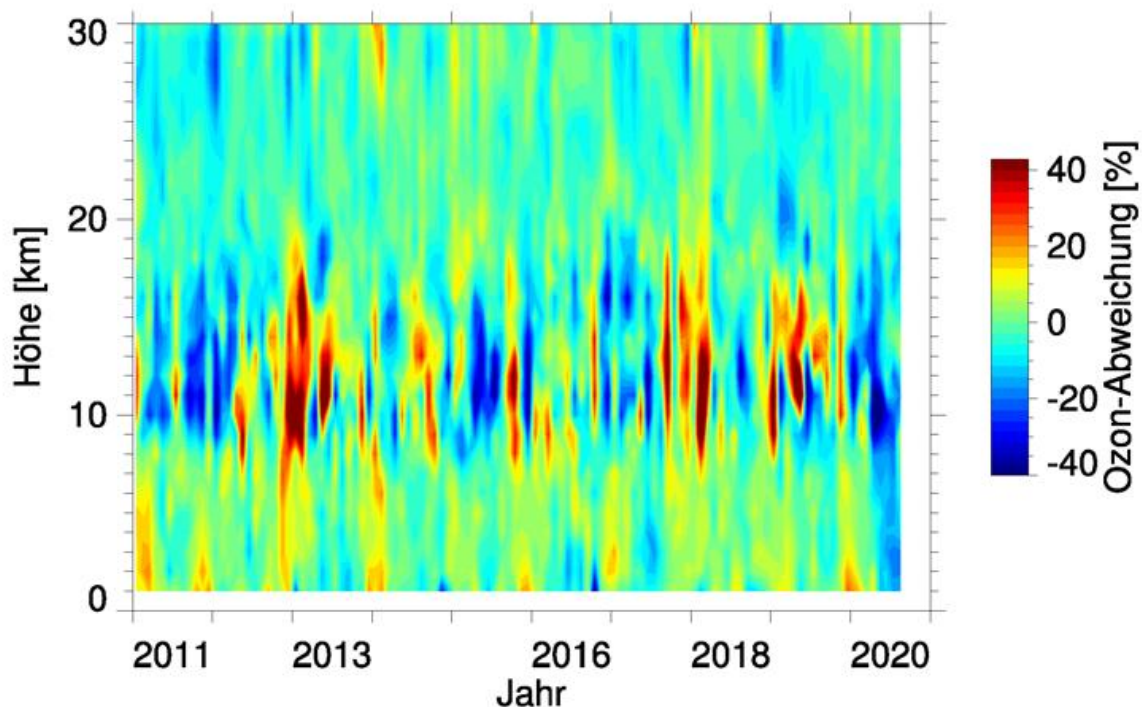


Abbildung 1: Falschfarbendarstellung des Ozons über Hohenpeißenberg von Januar 2011 bis August 2020. Gezeigt ist die Abweichung der Monatsmittel vom langjährigen (=klimatologisch normalen) Mittel des jeweiligen Kalendermonats. Rote Farben bedeuten mehr Ozon als normal, blaue Farben weniger Ozon als normal. Im Höhenbereich von 9 bis 20 km (= untere Stratosphäre) kommt je nach Jahr mehr oder weniger Ozon vor. In der Troposphäre (1 bis ~10 km) sticht dagegen das Jahr 2020 heraus, mit auffällig wenig Ozon seit April 2020.

Was kann 2020 zu außergewöhnlich wenig Ozon in der Troposphäre geführt haben? Troposphärisches Ozon stammt zum Teil aus der unteren Stratosphäre, zum Teil wird es durch photochemische Prozesse in der Troposphäre gebildet (z.B. Bulletins Nr. [55](#), [116](#)). Beide Quellen haben sich 2020 ganz ungewöhnlich verhalten:

- Der winterliche stratosphärische Polarwirbel 2019/2020 war so kalt und so stabil wie noch nie. Das führte im Frühjahr 2020 zum ersten „Arktischen Ozonloch“ (vgl. [Bulletin](#)

Nr. 138). Das meiste Ozon ging im Polarwirbel in Höhen zwischen 15 und 20 km verloren, bis zu 95% Verlust bei 18 km Höhe (GRL, 2020). Mit Aufbrechen des Polarwirbels verteilten sich diese Ozonverluste ab April auf die gesamte Nordhalbkugel. In der unteren Stratosphäre (10 bis 20 km Höhe) kann das die rund 20% niedrigen Ozonwerte über Hohenpeißenberg im April und Mai erklären (vgl. Bulletin Nr. 129). Wird dann ein kleiner Teil der ozon-armen Luft aus der Stratosphäre langsam in die Troposphäre transportiert (50% weniger Ozon im April im Bereich der Tropopause, ca. 10 km Höhe in Abb. 1), so trägt das möglicherweise zum beobachteten Ozondefizit in der Troposphäre bei.

- COVID-19 hat seit Anfang 2020 auf der ganzen Welt zu massiven Einschränkungen geführt. Von April bis Juni gingen z.B. der Flugverkehr und damit auch seine Emissionen um mehr als 60% zurück. In weiten Teilen der Welt nahmen auch die bodennahen Emissionen erheblich ab (vgl. GAW-Briefe Nr. 75, 76), in China bereits ab Ende Januar. Weniger Emissionen und weniger Vorläufersubstanzen (Stickoxide und Kohlenwasserstoffe) sollten 2020 zu weniger Bildung von Ozon in der freien Troposphäre geführt haben. Falls COVID-19 die Emissionen auf einen Stand wie vor 25 Jahren zurückgedreht hätte, so wäre ein Ozonrückgang um 10% oder 15% in der freien Troposphäre durchaus denkbar (vgl. Gaudel et al., Science Advances, 2020).

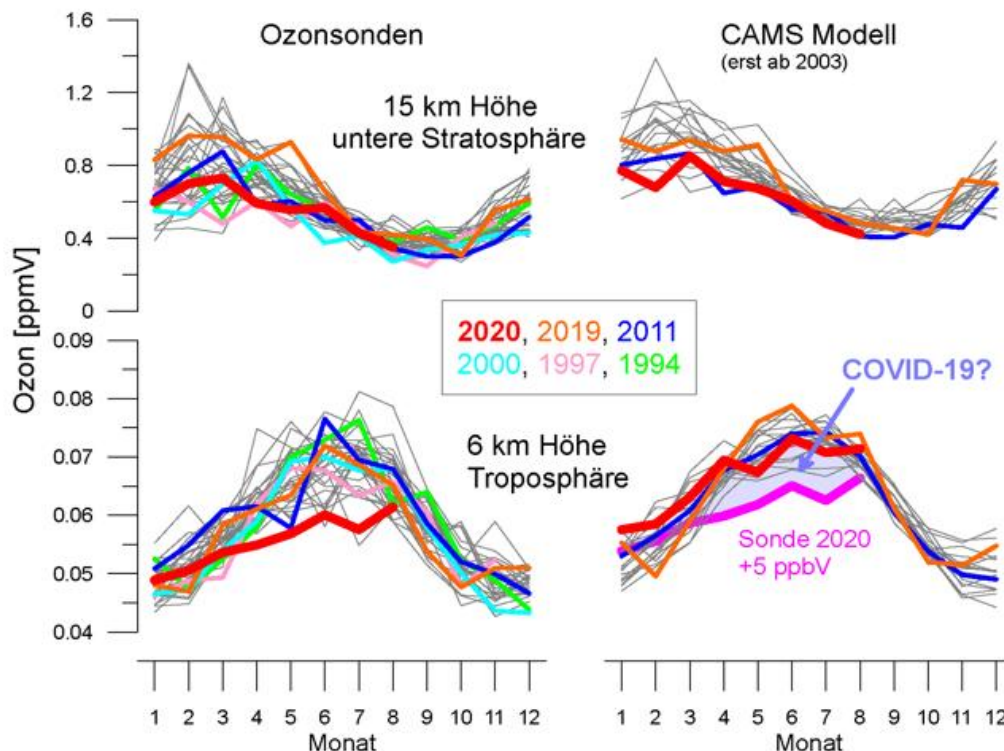


Abbildung 2 Verlauf der Ozon-Monatsmittel in 6 km Höhe (untere Plots, Troposphäre) und 15 km Höhe (obere Plots, untere Stratosphäre). Links: Hohenpeißenberger Ozonsondierungen, Jahre 1990 bis 2020. Rechts: Globale chemische Wettervorhersage des Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS), Jahre 2003 bis 2020 (<https://ads.atmosphere.copernicus.eu>). Rechts unten ist das Ergebnis der Sondierungen 2020 nochmal dargestellt (magenta Linie). Zum Vergleich mit den generell höheren CAMS Daten müssen die Sondierungswerte um 5 ppbV angehoben werden. Der Unterschied zwischen CAMS Rechnungen (ohne COVID-19 Emissionsreduktion) und Sonden-Messungen ergibt eine Abschätzung des COVID-19 Effekts. (blau schattierte Fläche).

Anhand der Hohenpeißenberger Sondierungen und der CAMS Modellrechnungen liefert Abbildung 2 eine mögliche Abschätzung für beide Effekte. Jahre mit starkem arktischen Ozonabbau (2020, 2011, 2000, 1997, 1994) sind farblich herausgehoben, ebenso das „normale“ Jahr 2019 (orange). Wie zu erwarten, liegen in der Stratosphäre (obere Plots) die Ozonwerte in Jahren mit starkem Ozonabbau von März bis Juli (Monate 3 bis 7) jeweils am unteren Rand. Sondierungen und CAMS Simulationen (erst ab 2003) stimmen gut überein.

In der Troposphäre (untere Plots) zeigen die Ozonwerte in den Jahren mit starkem polarem Ozonabbau (farbige Linien) keine großen Auffälligkeiten, mit Ausnahme vielleicht von Mai 2011 und Juli 1997, und mit Ausnahme der Sondendaten von April bis August 2020 (rote Linie im linken unteren Plot). Der stratosphärische Beitrag zu den niedrigen Ozonwerten in der Troposphäre dürfte also gering sein. Die CAMS Simulationen deuten das ebenfalls an. Die CAMS Jahresverläufe in der Troposphäre (rechter unterer Plot) stimmen in der Regel gut mit den Beobachtungen überein (z.B. 2011, 2019). Im Jahr 2020 kann dagegen CAMS den beobachteten Verlauf zwar qualitativ reproduzieren (rote Linie im rechten unteren Plot), nicht aber die ungewöhnlich niedrigen Werte der Sondierungen (trotz Anpassung, magenta Linie im rechten unteren Plot).

CAMS erfasst aufgrund der assimilierten Satelliten-Ozondaten das stratosphärische Ozon(loch) und seine Auswirkungen gut. Auch in der Troposphäre wird der Ozonverlauf von CAMS insgesamt gut wiedergegeben. Die Emissionsdaten in CAMS wurden aber im Jahr 2020 nicht an den Rückgang durch COVID 19 angepasst. Deswegen dürfte CAMS im Frühjahr und Sommer 2020 die chemische Ozonbildung in der (freien) Troposphäre deutlich überschätzen und „normale“ Ozonwerte liefern, die deutlich höher sind als beobachtet. Der Unterschied zwischen CAMS (ohne Emissionsrückgang) und den Sondierungen (mit COVID-19 Effekt) könnte also anzeigen, wie sehr das Ozon in der freien Troposphäre durch COVID-19 reduziert wurde (schattierter Bereich im rechten unteren Plot von Abb. 2).

Eine genauere Analyse erfordert natürlich wesentlich mehr Aufwand. Aber nach dem hier Gezeigten ist durchaus plausibel, dass weltweiter Emissionsrückgang durch die COVID-19 Krise zu 10 bis 15% weniger Ozon in der freien Troposphäre im Frühjahr und Sommer 2020 über Mitteleuropa geführt hat.

Im Gegensatz zur freien Troposphäre hat übrigens beim bodennahem Ozon der COVID-19 Emissionsrückgang in stark belasteten Regionen zu Ozon-Zunahmen geführt. Ozonchemie in der Troposphäre ist komplex und nicht linear! Die Auswirkung von Emissionsminderungen hängt stark von den Konzentrationen der verschiedenen Vorläufersubstanzen ab (vor allem Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, vgl. [Kroll et al., Nature Chemistry, 2020](#)). Bei geringen Konzentrationen, z.B. in der freien Troposphäre, führen emittierte Stickoxide meist zu Ozonbildung und mehr Ozon. Bei hohen Konzentrationen, z.B. in belasteter Stadtluft, zerstören emittierte Stickoxide Ozon (Tritration durch NO). Wenn also aufgrund der COVID-19 Pandemie Emissionen wegfallen, dann kann das sowohl Ozonrückgang bewirken (z.B. in Reinluft in der freien Troposphäre), als auch Ozonzunahmen (z.B. in belasteter „Stadtluft“)!