

## IMMISSIONSMESSUNGEN KANTON URI



Übersicht über die Immissionsmessungen  
im Kanton Uri mit Fokus auf das Jahr 2018

# Auszug des Kapitels 9 «Das meteorologische Extremjahr 2018 im Kanton Uri»

Altdorf, 29.5.2019

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeber:**

Amt für Umweltschutz  
Kanton Uri  
Klausenstrasse 4  
6460 Altdorf

### **Projektbearbeitung und Bericht:**

Hannah Wey  
Christian Ruckstuhl  
inNET Monitoring AG  
Dätwylerstrasse 15  
6460 Altdorf

### **Projektleitung:**

Niklas Joos  
Leiter Abteilung Immissionsschutz  
Amt für Umweltschutz

### **Titelfoto:**

Aufstieg zur Etzlihütte mit Blick Richtung Bristen im Hitzesommer 2018.  
Hannah Wey

## 9 Das meteorologische Extremjahr 2018 im Kanton Uri

Das Wetter 2018 war sowohl schweizweit als auch im Kanton Uri einerseits geprägt von hohen Temperaturen, andererseits aber auch von fehlenden Niederschlägen während der warmen Jahreszeit. Beides hatte grosse Auswirkungen auf das alltägliche Leben.

Bereits im Immissionsbericht 2016 war das Sonderkapitel dem Klimawandel gewidmet. Diese Ideen werden hier teilweise nochmals aufgenommen, um das meteorologische Extremjahr 2018 einzuordnen. Dabei ist es aber wichtig, zwischen Wetter und Klima zu unterscheiden. «Wetter» umfasst den Zustand (Luftdruck, Temperatur, Niederschlag etc.) der Erdatmosphäre zu einem spezifischen Zeitpunkt und Ort. «Klima» hingegen beschreibt die statistische Auswertung dieser Wetterparameter über einen längeren Zeitraum, sodass Mittelwerte und Wahrscheinlichkeiten zuverlässig angegeben werden können. Von der WMO (World Meteorological Organisation) wurde dieser Zeitraum als 30 Jahre definiert. Deshalb wurden «Normperioden» vereinbart, zum Beispiel die «Normperiode 1961-1990», für welche «Normwerte» wie z. B. die Durchschnittstemperatur berechnet werden können. Diese Normwerte werden auch in diesem Kapitel für einen Vergleich und die Einordnung des Wetters 2018 verwendet. Ende 2020 wird es die nächste Periode, nämlich 1991-2020, geben.

Im folgenden Kapitel werden die Wetterdaten 2018, spezifisch die Temperatur und der Niederschlag, zuerst präsentiert und als Vergleich zu der Normperiode 1961-1990 gestellt. Dann werden die Daten in den Kontext des Klimawandels eingebettet. Schliesslich wird konkret der Zusammenhang der Immissionsmessungen 2018 und der vorher erklärten Wetterlage eingegangen. Für alle Analysen werden die vorhandene Langzeitmessreihen für Temperatur und Niederschlag im Kanton Uri an den Stationen Altdorf, Andermatt, Göschenen und Gütsch verwendet, sowie die in den vorherigen Kapiteln präsentierten Immissionsmessungen seit 2000 (Ozon, PM10, NO<sub>2</sub>) bzw. 2010 (Ammoniak).

### 9.1 Temperatur und Niederschlag 2018

In Altdorf lag 2018 die Jahresmitteltemperatur 2.35 °C über dem Normwert 1961-1990 von 9.24 °C (Tabelle 6), was genau dem im selben Jahr schweizweit gemessenen Temperaturüberschuss entspricht.<sup>26</sup> In Andermatt lag die Jahresmitteltemperatur 2018 um 1.70 °C höher als jene der Normperiode 1961-1990, in Gütsch 1.98 °C. Ins Auge sticht allerdings auch der kalte Februar.

Bezüglich Regenmenge 2018 ist, wiederum im langjährigen Vergleich mit dem Normwert 1961-1990, einerseits eine leichte Abnahme ersichtlich, welche in Andermatt und Göschenen knapp 15 % entspricht, in Altdorf und Gütsch 4 %. Viel auffälliger ist aber die Umverteilung des Regenfalls über die Monate (Abbildung 31). Im Vergleich zum Normwert 1961-1990 sind im Jahr 2018 überdurchschnittlich grosse Regenmengen im

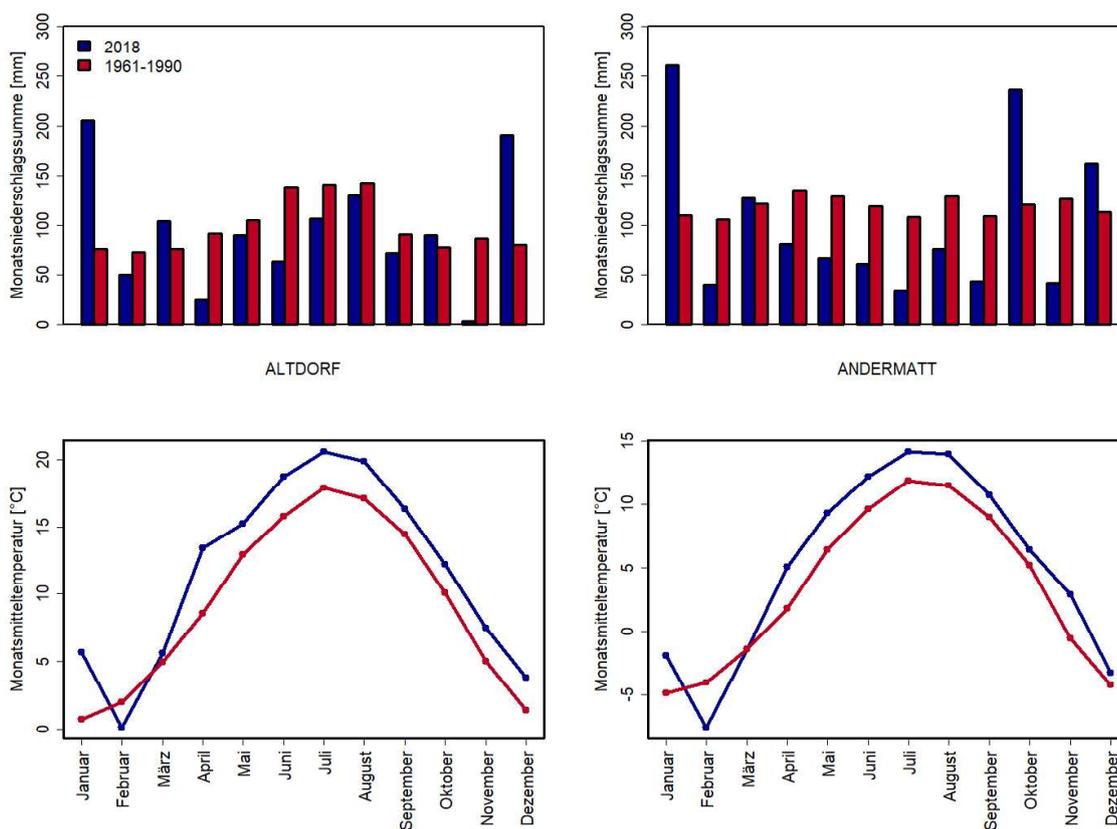
---

<sup>26</sup> <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimafakten.html>

Januar und Dezember gefallen, in Andermatt zusätzlich noch im Oktober. Hingegen fielen die Sommermonate im Vergleich deutlich trockener aus.

**Tabelle 6: Durchschnittstemperaturen und Niederschlagsjahressummen in Altdorf (ALT), Andermatt (ANT), Gütisch (GUE) und Göschenen (GOS) sowie die absolute Differenz zu den Werten der Normperiode 1961-1990. In Göschenen gibt es zwischen 1983 und 2016 eine Lücke in den Temperaturdaten, weshalb der Normwert 1961-1990 nicht berechnet wurde.**

		<b>Jahresdurchschnitts- temperatur 2018</b>	<b>Jahresniederschlag 2018</b>
<b>ALT</b>	Durchschnitt	11.58 [°C]	1126.9 [mm]
	abs. Abweichung zu Normwert 1961-1990	+2.35 [°C]	-45.7 [mm] (= -4 %)
<b>ANT</b>	Durchschnitt	5.05 [°C]	1227.8 [mm]
	abs. Abweichung zu Normwert 1961-1990	+1.70 [°C]	-194.5 [mm] (= -16 %)
<b>GUE</b>	Durchschnitt	1.67 [°C]	1484.4 [mm]
	abs. Abweichung zu Normwert 1961-1990	+1.98 [°C]	-59.1 [mm] (= -4 %)
<b>GOS</b>	Durchschnitt	9.53 [°C]	1266.7 [mm]
	abs. Abweichung zu Normwert 1961-1990	NA	-191.23 [mm] (= -15 %)



**Abbildung 31: Das Extremjahr 2018 (blau) bezüglich der Niederschlagsverteilung (oben) und der Temperaturen (unten), in Vergleich zu der Normperiode 1961-1990 (rot).**

## 9.2 Kantonale Auswirkungen der Wetterphänomene 2018

Das Wetter 2018 hatte kantonsweit Auswirkungen auf ganz unterschiedliche Lebensbereiche. So wurde Ende Juli wegen der anhaltenden Trockenheit, dem Föhneinfluss und der daraus resultierenden Waldbrandgefahr ein kantonales Feuerwerks- und Feuerverbot im Freien erlassen.<sup>27,28,29</sup> Dies hatte zur Folge, dass auch am Nationalfeiertag keine Feuerwerke und Feuer im Freien erlaubt waren.

In der Landwirtschaft kam es im Tal zu grossen Ernteausfällen.<sup>30</sup> Auf den Alpweiden in einigen Tälern war die Situation jedoch teilweise nicht ganz so schlimm wie in den Nachbarkantonen, da regelmässige Sommergewitter die Lage entschärften.<sup>31</sup> So konnte das Vieh an manchen Orten sogar länger in den Höhenlagen gelassen werden. Wo diese Sommergewitter vorüberzogen, zum Beispiel in der Region Seelisberg, litten jedoch Boden und Wiese.<sup>32</sup>

Das stark veränderte Niederschlagsmuster 2018 hatte Auswirkungen auf die Abflüsse und Wasserstände (Abbildung 32). Dies ist auch deutlich in den niedrigeren Abflüssen der Reuss zwischen Juli und Oktober zu erkennen. Der Wasserstand der Reuss fiel im Juni ein und verharrte bis Ende Oktober auf einem extrem tiefen Niveau. Spezifisch lag in 90% aller Fälle der beobachtete Abfluss zwischen 1904 und 2008 über diesem Niveau.<sup>33</sup> Die Situation wurde mit den Regenfällen im Spätherbst entschärft. Die aussergewöhnlich hohen Regenfälle im Januar (Abbildung 31) sind als kleine Peaks im Abfluss sichtbar.

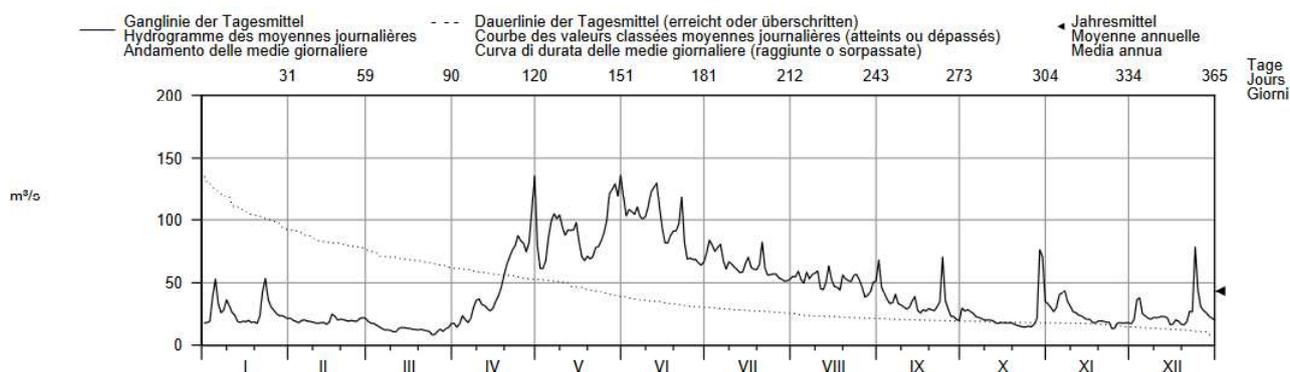


Abbildung 32: Abfluss 2018 an der Station Reuss-Seedorf.<sup>34</sup>

<sup>27</sup> <https://www.ur.ch/mmdirektionen/46558>

<sup>28</sup> <https://www.luzernerzeitung.ch/zentralschweiz/uri/in-uri-herrscht-erhebliche-waldbrandgefahr-ld.1062216?reduced=true>

<sup>29</sup> <https://radiocentral.ch/de/article/update-auch-in-uri-muss-auf-hoehenfeuer-und-feuerwerke-verzichtet-werden--119532>

<sup>30</sup> <https://www.luzernerzeitung.ch/zentralschweiz/uri/trockenheit-macht-bauern-sorge-ld.1100980>

<sup>31</sup> <https://www.schweizerbauer.ch/tiere/milchvieh/trockenheit-urner-haben-glueck-43935.html>

<sup>32</sup> Persönliche Kommunikation mit Landwirt, Seelisberg

<sup>33</sup> [http://www.drought.ch/Klima/Runoff/Abfluss/viewImage\\_DE?p=ext\\_images/2056.png](http://www.drought.ch/Klima/Runoff/Abfluss/viewImage_DE?p=ext_images/2056.png)

<sup>34</sup> BAFU (2019). Abflussdaten Reuss-Seedorf 2018. Provisorische Daten. [https://www.hydrodaten.admin.ch/lhg/sdi/jahrestabellen/2056Q\\_18.pdf](https://www.hydrodaten.admin.ch/lhg/sdi/jahrestabellen/2056Q_18.pdf)

### 9.3 Wetter 2018 angesichts des Klimawandels

Bereits im Immissionsbericht 2016 wurden die damals vorhandenen Temperatur- und Niederschlagsdaten analysiert. Dieses Thema soll auf Grund des aussergewöhnlich trockenen und warmen Jahres 2018 nochmals aufgegriffen werden. Damals wurden die Daten von Altdorf und Andermatt nach Jahreszeiten getrennt betrachtet. Die wichtigsten Erkenntnisse waren:

- Der Temperaturtrend in Altdorf und Andermatt ist in allen Jahreszeiten positiv und statistisch gesehen signifikant bis sehr signifikant.
- Bei den Niederschlagsdaten ist sowohl auf Jahres- wie auch Jahreszeitebene kein eindeutiger Trend bezüglich Quantität zu beobachten. Die gefallenen Schneemengen nehmen seit den 80er Jahren jedoch stark ab. Dieser Niederschlag tritt folglich als Regen auf. Es wird erwartet, dass es zukünftig mehr Abfluss in den Wintermonaten geben wird, da der Niederschlag nicht in Form von Schnee zwischengespeichert wird. Dafür verringern sich die Abflüsse im Frühling und im Sommer durch die fehlende Schneeschmelze.

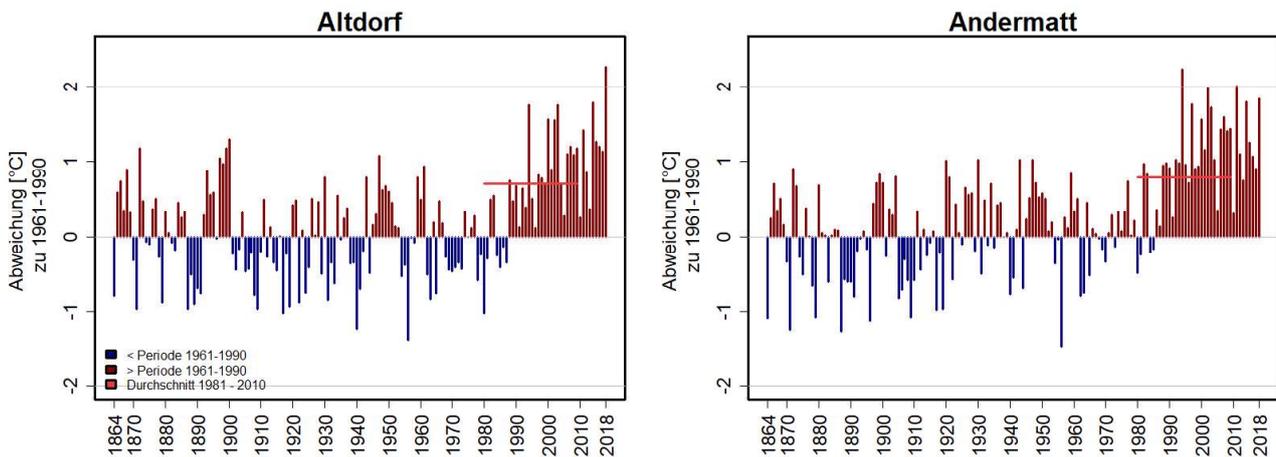


Abbildung 33: Die Temperaturverläufe an den zwei Messstationen Altdorf und Andermatt, dargestellt als Abweichung vom Normwert 1961-1990. Sowohl von der WMO als auch von MeteoSchweiz wird zusätzlich zur Normperiode 1961-1990 auch noch die überlappende Normperiode 1981-2010 verwendet<sup>35</sup>, die in den hier gezeigten Grafiken der Vollständigkeit halber ebenfalls eingezeichnet ist. Eine weitere Darstellungsart ist im Anhang in Abbildung 37 hinterlegt.

Die Wetterbeobachtungen 2018 reihen sich somit sowohl bezüglich Temperaturen als auch Niederschlagsverteilung ein in die Erkenntnisse über den Klimawandel der letzten Jahrzehnte. In Altdorf lag die Jahresmitteltemperatur das erste Mal mehr als 2 °C über dem Normwert 1961-1990.

<sup>35</sup> Begert M., Frei, Ch., Abbt, M. (2013). Einführung der Normperiode 1981-2010. Fachbericht MeteoSchweiz, 245. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/Ungebundene-Seiten/Publicationen/Fachberichte/doc/fb245begertetal.pdf>

## 9.4 Auswirkungen der Meteorologie auf Luftschadstoffe mit Ausblick in Bezug auf den Klimawandel

Im Kanton Uri werden seit knapp 20 Jahren Ozon, Feinstaub, Stickstoffdioxid und seit 2010 auch Ammoniakmissionen gemessen. Damit bilden die vorhandenen Daten zwar noch keine Langzeitmessreihe, wie sie für meteorologische Daten vorhanden sind. Qualitative Zusammenhänge mit Temperatur und Niederschlag können aber trotzdem beschrieben und diskutiert werden. Da sich der Emissionsverlauf und die Bildungsprozesse der vier Luftschadstoffe sowohl chemisch als auch in der zeitlichen und örtlichen Dimension stark unterscheiden, werden diese Überlegungen hier für jeden Luftschadstoff einzeln aufgezeigt. In Abbildung 34 sind die Prozesse, welche zu einer Immission führen, schematisch abgebildet. Dazu gehören die Emissionen aus den vier Sektoren Verkehr, Landwirtschaft, Industrie und Haushalt. Anschliessend werden die Schadstoffe transportiert, umgewandelt oder abgebaut, was allgemein unter dem Term «Transmission» beschrieben wird. Die meteorologischen Verhältnisse spielen dabei eine wichtige Rolle. Die Emissionen in Form von  $\text{NH}_3$  und  $\text{NO}_x$  haben über die sekundären Luftschadstoffe (Lachgas bzw. Ozon) zusätzlich Auswirkung auf den anthropogenen Strahlungsantrieb. Der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Niederschlag bzw. Temperatur wurden in den vorherigen Unterkapiteln erläutert. Der Einfluss des Klimawandels auf lokale Inversionslagen<sup>36</sup> ist jedoch noch nicht restlos geklärt. Dasselbe gilt für den Einfluss der Wolken auf den Klimawandel und umgekehrt, da es sich dabei um ein hochkomplexes System handelt, welches verschiedene physikalische und chemische Prozesse auf mehreren Grössenskalen umfasst.<sup>37,38</sup> Die Datenakquisition und -analyse ist Gegenstand aktueller Forschung.

Die Daten, welche aus dem Kanton Uri vorhanden sind, werden wie schon im Immissionsbericht 2016 nach Jahreszeiten getrennt dargestellt, wobei die Monate wie folgt aufgeteilt wurden:

Winter:	Dezember, Januar, Februar
Frühling:	März, April, Mai
Sommer:	Juni, Juli, August
Herbst:	September, Oktober, November

Für die statistische Analyse wurden lineare Zusammenhänge zwischen den saisonalen Immissionsdaten und den Parametern «Niederschlag» oder «Temperatur» bzw. «Globalstrahlung» gesucht. Dazu wurde die Pearson-Korrelation ermittelt, wobei cor-Werte von 1 (bzw. -1) auf einen perfekten positiven (bzw. negativen) linearen Zusammenhang zweier Variablen hinweist und 0 für keinerlei statistischen linearen Zusammenhang steht. Die statistische Signifikanz dieser Korrelationen wurde anhand von p-Tests ermittelt, wobei p-Werte unter 0.05 auf einen signifikanten Zusammenhang hinweisen.

---

<sup>36</sup> Thudium, C. Chélala, N. Joos-Widmer (2016). Atmosphärische Inversionen im Kanton Uri und ihr Einfluss auf die Luftschadstoffkonzentrationen. Ökoscience AG.

<sup>37</sup> IPCC (2007). Climate Change 2007. Working Group I: The Science of Climate Change, Chapter 2.4. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing – Aerosols.

<sup>38</sup> <https://www.spektrum.de/news/wolken-im-klimawandel/1074405>

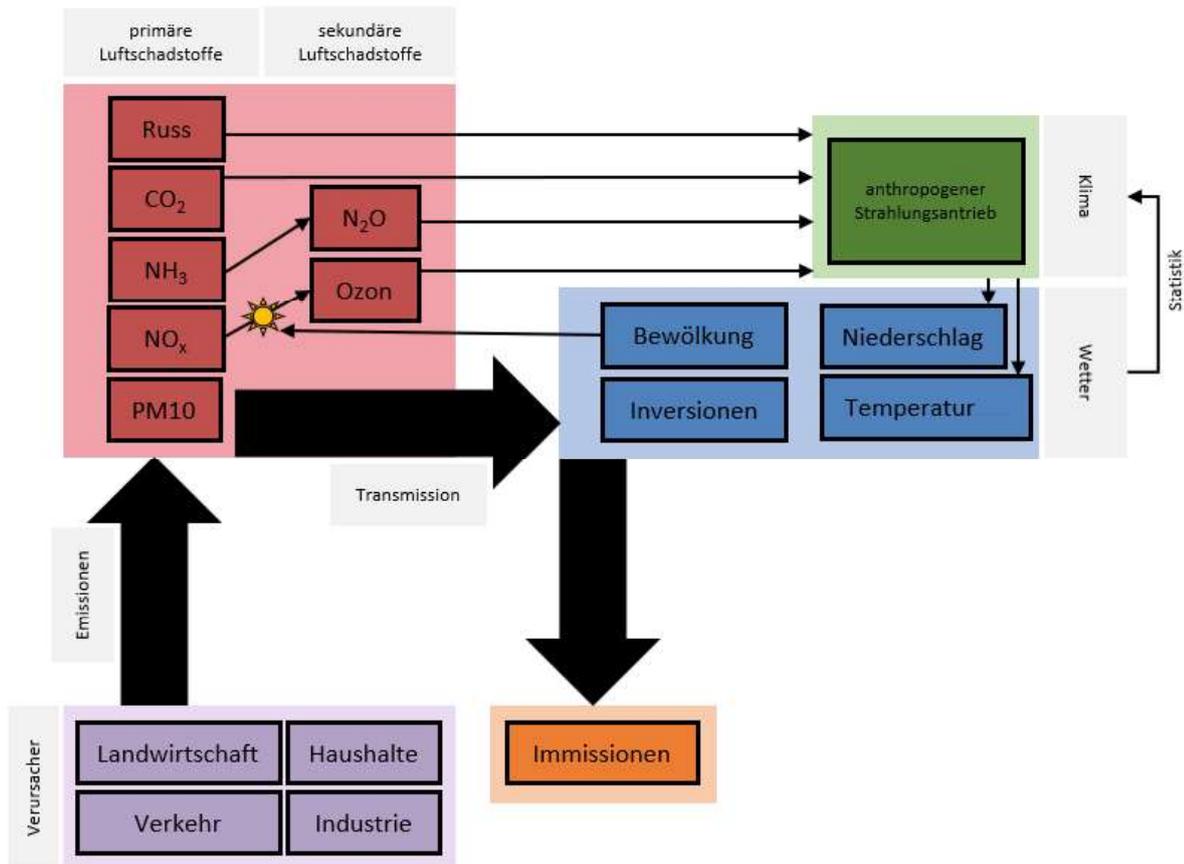


Abbildung 34: Schematische Darstellung der Prozesse «Emission», «Transmission», «Umwandlung» und «Immission» von verschiedenen Luftschadstoffen in Zusammenhang mit der Meteorologie.

**Ozon** in Bodennähe wird sekundär gebildet. Das heisst, dass die Verbindung mit Hilfe von Sonnenstrahlung aus einer Vorläufersubstanz, unter anderem NO<sub>x</sub>, entsteht. Dadurch werden die Grenzwerte grossflächig und vor allem in den Sommermonaten um die Mittagszeit und bei geringer Bewölkung überschritten. Allerdings treten hohe Ozonwerte vielfach nicht in den Städten auf, wo durch den Verkehr viel NO<sub>x</sub> gebildet wird, sondern in der Umgebung. Der Grund dafür ist der Transport der Vorläufersubstanzen des Ozons über die Luft und der rasche Abbau von Ozon durch NO an belasteten Standorten.<sup>39</sup>

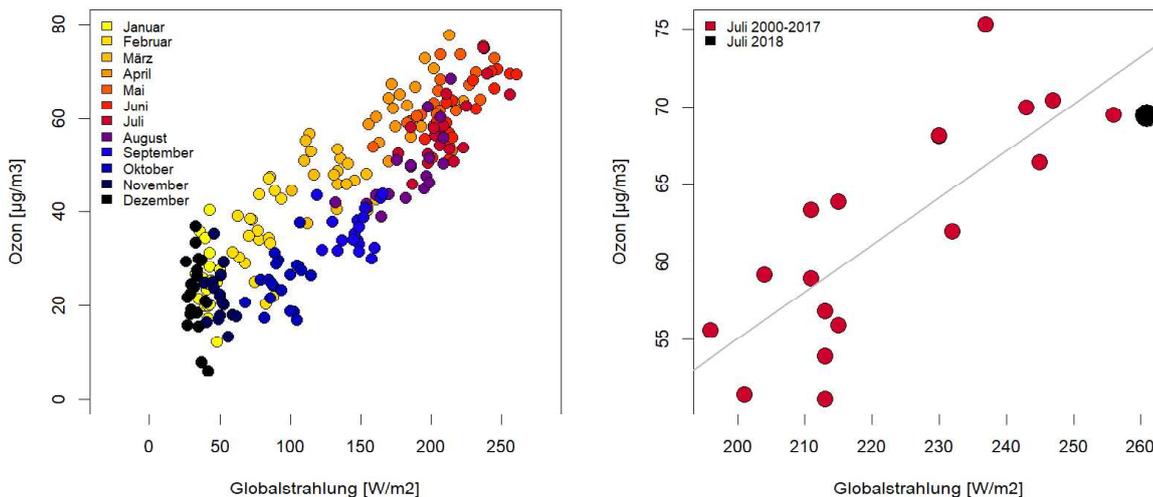
Als Grundregel kann gesagt werden, dass es bei hohen Sommertemperaturen auch zu hohen Ozonwerten kommt. Daher ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Ozonwerten im Sommer auch sehr hoch (cor = 0.80) im Herbst jedoch nicht mehr (cor = 0.43). Dies ist aber wissenschaftlich gesehen nicht ganz richtig, besteht doch kein kausaler Zusammenhang zwischen Temperatur und Ozonbildung. Vielmehr sind beide Parameter die Folge von hoher Sonneneinstrahlung. Diese sogenannte «Globalstrahlung», und die daraus resultierende bodennahe Lufttemperatur wie auch die Ozonbildung hängen von der lokalen Bewölkung ab.

Die in Altdorf gemessene Globalstrahlung ist in Abbildung 35 für 2000-2018 gegen die Ozonkonzentration geplottet, sowohl über den ganzen Jahresverlauf (links) als auch beispielhaft für den Sommermonat Juli (rechts). Die Korrelation zwischen der gemessenen Globalstrahlung und den Ozonwerten ist deutlich und mit

<sup>39</sup> [https://www.lunge-zuerich.ch/file/10\\_Shop/Merkblaetter/Merkblatt\\_Ozon.pdf](https://www.lunge-zuerich.ch/file/10_Shop/Merkblaetter/Merkblatt_Ozon.pdf)

ist der Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und Ozonwert in Altdorf für den Monat Juli auch statistisch gesehen hoch und signifikant ( $cor = 0.73$ ,  $p = 3.36 \cdot 10^{-5}$ ).

Kommt es im Sommer vermehrt zu langen warmen, wolkenarmen, windstillen und trockenen Perioden, wie dies 2018 der Fall war, wird das Ozon in Bodennähe einerseits vermehrt gebildet und zusätzlich weniger verdünnt, wodurch die Konzentrationen steigen. Es kann also erwartet werden, dass die Ozonwerte bei fortschreitendem Klimawandel und gleichbleibenden Emissionen in Altdorf zunehmen. Zusätzlich ist Ozon selbst ein klimawirksames Gas, auch wenn die Auswirkungen noch nicht restlos geklärt und in den Modellierungen implementiert sind.<sup>40</sup>



**Abbildung 35:** Die in Altdorf gemessenen Ozonkonzentrationen und die lokale Globalstrahlung für Daten zwischen 2000 und 2018. Links ist der Jahresverlauf der Ozonbildung zu sehen, mit Peaks in den warmen Sommermonaten. Als Beispiel für den positiven und signifikanten Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und Ozonbildung ist der Monat Juli rechts dargestellt, mit der linearen Regression in Grau.

**PM10** wird primär durch den Verkehr ausgestossen (60 %), wobei die ganzjährigen Emissionen aus diesem Sektor in den letzten Jahren durch technische Erneuerungen abgenommen haben.<sup>41</sup> Durch das Heizen während der kalten Monate werden die Emissionen von PM10 weiter erhöht. Insbesondere bei grossflächigen winterlichen Hochdrucklagen mit Trockenheit und starker Sonneneinstrahlung können die Tagesgrenzwerte überschritten werden.<sup>42</sup> Dann wird PM10 nämlich nicht durch Regen ausgewaschen. Zusätzlich löst Sonneneinstrahlung bei PM10 sekundäre Bildungsmechanismen aus und erhöht so zusätzlich flächendeckend die Belastung.

Durch das Feuerungsverbot im Sommer 2018 wurde mit grosser Wahrscheinlichkeit weniger PM10 emittiert. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass der landwirtschaftliche Betrieb und die Bauwirtschaft zu mehr Staubaufwirbelung geführt haben. Diese Emissionen sind aber nur kurzzeitige und lokale Spitzenwerte, welche nicht zu einer langfristigen Verschlechterung der Luftqualität führten. Im Sommer ist die Luftzirkulation genügend

<sup>40</sup> <https://www.nzz.ch/wissenschaft/klima/ozon-als-unterschaetzter-klimafaktor-1.18460347>

<sup>41</sup> INFRAS, 2017. Umweltmonitoring flankierende Maßnahmen (MFM-U): Aktualisierung der Verkehrsemissionen 2004-2016 und Prognose 2020.

<sup>42</sup> <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/luftqualitaet-und-luftreinhaltung/entwicklungen-luftqualitaet-und-luftreinhaltung.html>

gross, um den Schadstoff zu verdünnen. Während der winterlichen Inversionslagen hingegen werden Luftschadstoffe schlecht verdünnt<sup>43</sup>, weshalb vor allem die kalten Monate ein mögliches Problem darstellen.

Durch die verschiedenen Einflussfaktoren ergaben lineare Vergleiche der letztjährigen PM10 Immissionsdaten mit Temperatur und Niederschlag keine signifikanten Ergebnisse. Einzelne Monatsdatensätze weisen darauf hin, dass bei höheren Wintertemperaturen und höheren Winterniederschlägen die PM10 Belastung in den entsprechenden Monaten sinkt. Dies kann durch die verminderte Heizaktivität und höhere Auswaschung erklärt werden. Im Sommer zeigt sich teilweise eine schwach positive Korrelation mit der Temperatur, welche eventuell durch die sekundäre Bildung von PM10 Partikeln entsteht.

**NO<sub>x</sub>** wird zu 75 % im Verkehr gebildet und ist anschliessend in mehrere Abbau- und Umwandlungsprozesse involviert. Dabei nimmt die NO<sub>2</sub>-Konzentration mit der Distanz von der Emissionsquelle rasch ab, wodurch die Grenzwerte vorwiegend in der Nähe von stark befahrenen Strassen überschritten werden. Wie bei PM10 führen Inversionslagen im Winter zu erhöhten Immissionen. Bei den Vergleichen mit Temperatur und Niederschlag wurden keine Abhängigkeiten festgestellt. Für eine genauere Analyse der Abhängigkeiten müsste die Entwicklung der Emissionen als Inputparameter mitmodelliert werden. NO<sub>x</sub> ist weiter selber ein Antreiber des Klimawandels: Die sekundär gebildeten Verbindungen Lachgas und Ozon verstärken den Strahlungsantrieb.

**NH<sub>3</sub> (Ammoniak)** wird zu 93 % in der Landwirtschaft gebildet (Jahr 2015).<sup>44</sup> Dabei entstehen die Emissionen durch Tierhaltung hauptsächlich beim Ausbringen von Gülle und Mist (46 %), in Stall und Laufhof (34 %) sowie beim Lagern von Dünger (16 %). Die Ammoniakverluste bei Gülleausbringung nehmen mit steigenden Temperaturen stark zu. Deshalb wird generell empfohlen, Gülle bei kühlen und feuchten Bedingungen auszufahren.<sup>45,46</sup> Für die Daten aus Altdorf wurde allerdings kein linearer Zusammenhang mit Temperatur gefunden, mit Ausnahme des Monats September (cor=0.73). Anders sieht es für den Niederschlag aus (Abbildung 36): Im Frühling sind Niederschlag und Ammoniakimmissionen signifikant negativ korreliert (cor = -0.78, p=0.01). Das heisst, dass es bei feucht-nassem Wetter tatsächlich zu weniger Immissionen kommt. Dieselben Tendenzen sind für den Herbst sichtbar, allerdings ist die Korrelation knapp nicht signifikant (cor = -0.63, p = 0.07). Im Zusammenhang mit dem Klimawandel wurden bezüglich Niederschlagsverteilung im Frühling keine Tendenzen festgestellt. Zusätzlich wäre es spannend zu sehen, ob mit den beobachteten Regenmengen im Frühling mit sinkendem Stickstoffverlust über die Luft der Verlust über den Boden in Form von Nitrat ansteigt.

**CO<sub>2</sub>** ist in der Atmosphäre ein sehr langlebiges Gas, womit die Konzentrationen örtlich nur gering schwanken. Deshalb wird auf lokale Messungen im Kanton Uri verzichtet, obwohl dieses Gas entscheidend ist in den Wirkungsmechanismen des anthropogenen Klimawandels.

---

<sup>43</sup> AfU Uri (2018). Inversionswetterlagen und ihr Einfluss auf Luftschadstoffe im Kanton Uri. <https://www.ur.ch/publikationen/14206>

<sup>44</sup> Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Bonjour Engineering GmbH, METEOTEST, Oetiker+Partner AG (2013): Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990-2010 und Prognose bis 2020.

<sup>45</sup> Agridea (2011). Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft. Merkblatt.

<sup>46</sup> Richner W. & Sinaj S., 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 276 S.

**Russ** hat, im Gegensatz zu CO<sub>2</sub>, eine kurze Lebensdauer in der Atmosphäre, wodurch regionale Unterschiede messbar sind. Der Effekt von Russ auf den Klimawandel wurde lange unterschätzt.<sup>47</sup> Dabei muss aber zwischen mehreren Wirkmechanismen unterschieden werden. Einerseits führt Russ in der Troposphäre zu einer erhöhten Wolkenbildung, da die Partikel als Kondensationskerne wirken. Die Partikel selbst wärmen sich wegen ihrer dunklen Farbe auf, wodurch die Temperatur und der Sättigungsdampfdruck in den oberen Luftschichten steigt. Gleichzeitig gelangt so weniger Strahlung auf die Erdoberfläche, wodurch die Temperatur in Bodennähe abnimmt. Nach der Deposition, zum Beispiel in der Arktis oder auf anderen schneebedeckten Flächen, führt Russ zu einer verringerten Albedo, einem schnelleren Abschmelzen des Eises und generell zu einer schnelleren Erwärmung der Atmosphäre. Gesamthaft wird so geschätzt, dass eine höhere Russkonzentration in der Atmosphäre zu einem Antrieb des anthropogenen Strahlungsantriebs führt. Der Grossteil der Russemissionen im Kanton Uri stammen aus dem Verkehr, vor allem von Dieselfahrzeugen, und im Winter von Holzheizungen. Die Russemissionen wurden in den letzten 30 Jahren in der Schweiz bereits reduziert<sup>48</sup>, was sich auch in den Immissionswerten im Kanton Uri zeigt.

## 9.5 Diskussion

Die im Kanton Uri gemessenen meteorologischen Daten reihen sich gut ein in die langjährigen lokalen bis internationalen Beobachtungen bezüglich Klimawandel. In Altdorf war es im Jahresdurchschnitt 2.35 °C wärmer als die Normperiode 1961-1990. Das Niederschlagsregime zeigte das vorausgesehene Verhalten mit mehr Niederschlägen im Winter und einem trockenen Sommer, welcher zu tiefen Flusspegelständen führte.

Ob die Meteorologie und langfristig gesehen der Klimawandel Einfluss auf die Luftreinhaltung hat, muss wegen den unterschiedlichen Emissionsquellen und den chemisch-physikalischen Umwandlungs- und Abbauprozessen für jeden Luftschadstoff einzeln begutachtet werden.

Die Messungen zeigen, dass vor allem die Ozonwerte im Sommer weiterhin ein signifikantes Problem darstellen, welches durch den Klimawandel in Zukunft weiter verschärft werden kann. Diese Aussage deckt sich mit diversen nationalen und internationalen Berichten.<sup>49,50,51,52</sup>

Die Ammoniakimmissionen zeigen in den Übergangsmontaten eine negative Abhängigkeit vom Niederschlag, welcher aber im Frühling und Herbst bisher keine quantitativen Veränderungen bezüglich Klimawandel zeigt. Unklar ist in diesem Zusammenhang, inwiefern sich die Bevölkerung bereits angepasst hat – bzw. ob die

---

<sup>47</sup> IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Figure 5.

<sup>48</sup> <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-2416.html>

<sup>49</sup> Jacob, D.J., Winner, D.A. (2009). Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment, Volume 43, Issue 1, Pages 51-63. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008008571>

<sup>50</sup> Sanderson, M. G., Jones, C. D., Collins, W. J., Johnson, C. E., Derwent, R. G. (2003). Effect of Climate Change on Isoprene Emissions and Surface Ozone Levels. Geophysical Research Letters 30 18 0094-8276 <https://doi.org/10.1029/2003GL017642>

<sup>51</sup> G. Zeng, J. A. Pyle, P. J. Young. Impact of climate change on tropospheric ozone and its global budgets. Atmospheric Chemistry and Physics, European Geosciences Union, 2008, 8 (2), pp.369-387.

<sup>52</sup> Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016) Ozon und Sommersmog: Klimawandel gefährdet heutige Erfolge. Swiss Academies Factsheets 11 (5).

Landwirte in heissen Sommerperioden die ausgebrachte Güllemenge reduzieren, wie es bereits empfohlen ist.

Ebenfalls noch nicht restlos geklärt ist der Zusammenhang zwischen Inversionslagen und dem Klimawandel. Thudium (2017)<sup>53</sup> schreibt zwar, dass sich im Temperaturprofil Erstfeld in den Wintermonaten eine signifikante Abnahme der Inversionshäufigkeit von 2002 - 2014 zeigte, da in diesem Zeitrahmen die langanhaltenden winterlichen Hochdrucklagen fehlten. Für eine gesicherte Aussage zum Klimawandel sind aber weitere Beobachtungen nötig.

Für PM<sub>10</sub> und NO<sub>x</sub> konnten keine Korrelationen der Immissionen mit Temperatur oder Niederschlag gefunden werden. Für eine weitere Analyse der Immissionen kann ein Modell erarbeitet werden, welches die zeitliche Entwicklung der Emissionen miteinbezieht. Dadurch könnten meteorologische Einflussparameter genauer abgeschätzt werden. Klar ist, dass mit einem Rückgang der Emissionen insbesondere aus Verkehr (NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, Russ) und Landwirtschaft (NH<sub>3</sub>) sowohl die Luftreinhaltung verbessert als auch der anthropogene Klimaerwärmung verringert werden kann. Zum gleichen Vorschlag kommt auch das BAFU (2012) in Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel: «Bei der Luftqualität gilt es, die Vorläufersubstanzen von Ozon und die Emissionen anderer Schadstoffe weiter zu senken.»<sup>54</sup>

---

<sup>53</sup> Thudium, C. Chélala, N. Joos-Widmer (2016). Atmosphärische Inversionen im Kanton Uri und ihr Einfluss auf die Luftschadstoffkonzentrationen. Ökoscience AG.

<sup>54</sup> BAFU (2012). Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.