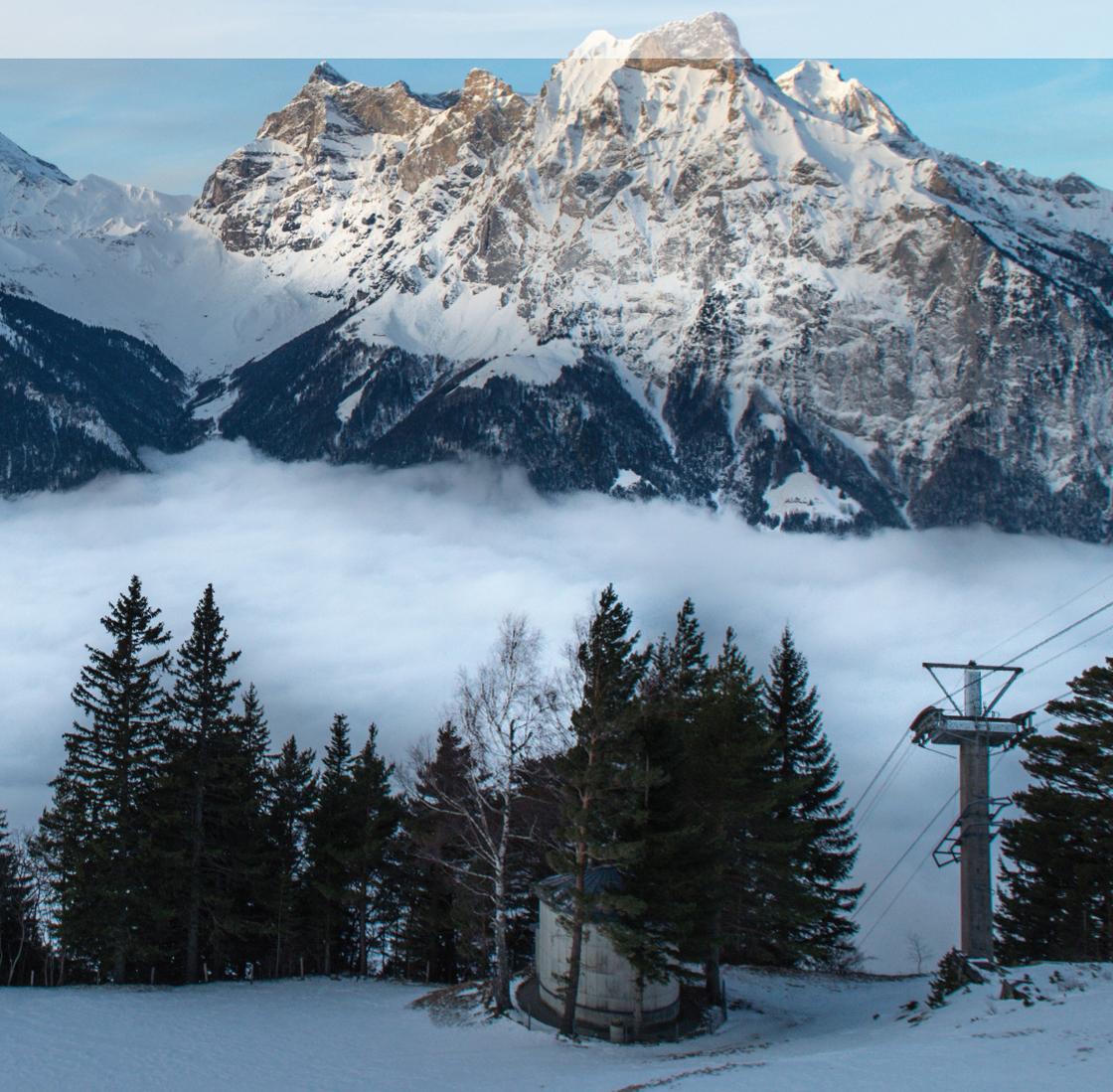
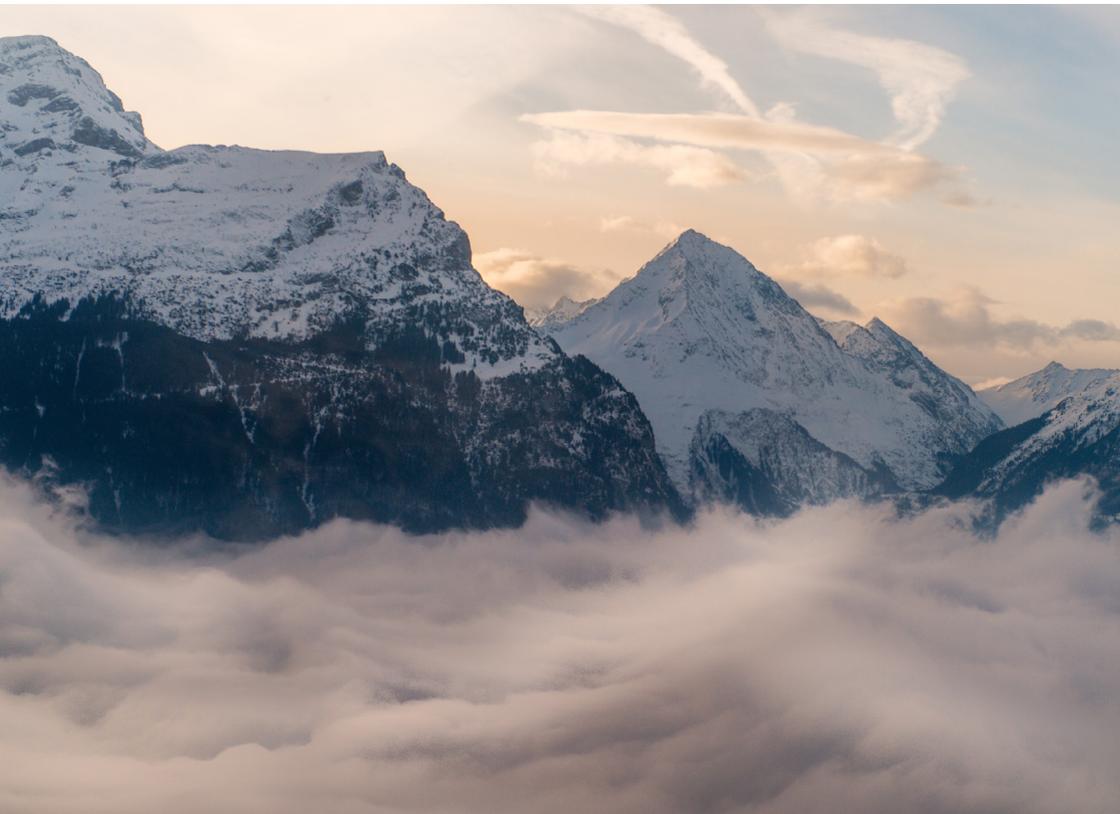


Inversionswetterlagen und ihr Einfluss auf Luftschadstoffe im



Einführung

Bei einer Inversion nimmt die Lufttemperatur mit der Höhe zu anstatt ab. Solche Temperaturumkehrungen, welche zu einer stabilen Luftschichtung führen, treten im Kanton Uri vor allem in den Morgenstunden und im Winter auf. Sie beeinflussen die Luftqualität beträchtlich, da eine Durchmischung der untersten Luftschicht unterbunden ist und so die Schadstoffe nicht verdünnt oder abtransportiert werden können. Inversionen treten in Alpentälern häufiger und ausgeprägter auf als im Flachland. Die Luft ist dann im Talboden gefangen und reichert sich mit Luftschadstoffen an. Daher führt belastete Abluft aus einem Kamin oder Auspuff in den Alpen zu einer etwa dreimal so grossen Luftbelastung wie im Mittelland. Es ist deshalb im Kanton Uri besonders wichtig, zur Luftqualität Sorge zu tragen. Um den wichtigen Einfluss der Temperaturinversionen auf die Luftqualität zu beurteilen, betreibt das Amt für Umweltschutz bei Erstfeld ein Temperaturprofil.



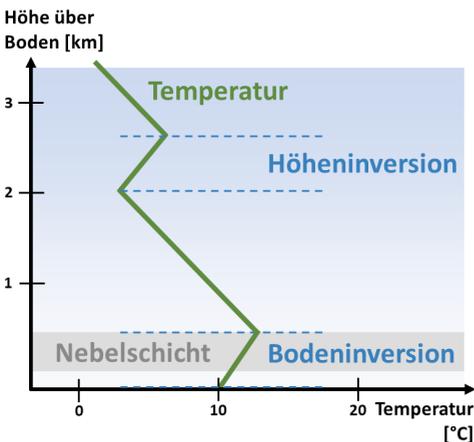
In einer Inversionsschicht nimmt die Lufttemperatur mit der Höhe zu

Normalerweise nimmt die Temperatur mit der Höhe um etwa 0.5 bis 1 Grad Celsius pro 100 Meter ab. Bei einer Inversion ist das jedoch nicht der Fall: Die Luft in Bodennähe ist kälter als in höheren Schichten. Da die kalte Luft schwerer ist als warme und somit absinkt, ist diese Luftschichtung sehr stabil. Die untere Luftschicht wird sozusagen von der oberen abgeschirmt und eine Durchmischung ist unterbunden. Eine Inversion ist also immer eine «Temperaturumkehrung» (von lat. *inversio* = Umkehrung).

Im Temperaturdiagramm erkennt man eine Inversion an der positiven Steigung der Temperaturkurve.

Je mehr die Temperatur mit der Höhe zunimmt, desto stabiler ist die Inversion. Generell wird je nach Lage zwischen der Boden- und Höheninversion unterschieden. In Erstfeld erstrecken sich die meisten Inversionen über beide Schichten.

Mit der starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht bildet sich unterhalb der beobachteten Inversion oft eine Nebelschicht. Kalte Luft kann weniger Wasser aufnehmen als warme. Bei genügend Feuchtigkeit in der Luft übersättigt diese und der überschüssige Wasserdampf kondensiert. Über der Nebelschicht herrscht meist schönes Wetter und gute Sicht.



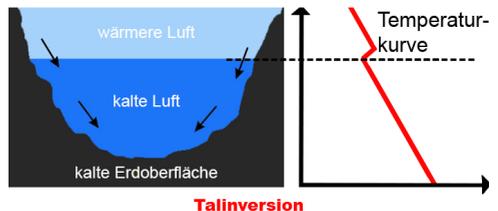
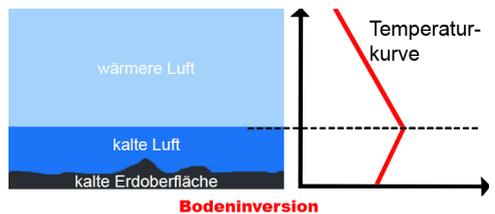
Normalerweise nimmt die Lufttemperatur mit der Höhe ab. Bei einer Inversionswetterlage jedoch nimmt sie zu. Unterschieden wird zwischen Bodeninversionen und Höheninversionen, je nach Höhenstufe, wo der positive Temperaturgradient gemessen wird. Unter der Bodeninversion ist manchmal eine Nebelschicht zu sehen.

Entstehung und Auflösung einer stabilen Inversionswetterlage

Inversionslagen entstehen vor allem in den Wintermonaten, da dann die Sonneneinstrahlung schwach ist und die unteren Luftschichten wenig erwärmt werden. Im Mittelland spielen ausserdem Hochdrucklagen eine wichtige Rolle. Während diesen Perioden hat es wenig Bewölkung und kaum Wind, was zum sogenannten «mittelländischen Kaltluftsee» führt. Zeitweise kann sich dieser Kaltluftsee hartnäckig halten und dann bis ins Urner Reusstal vordringen.

Inversionen in der Zentralschweiz bilden sich aber vor allem lokal: In einer klaren Nacht kann die bodennahe Luftmasse auskühlen (Bodeninversion). Zusätzlich kann die kalte Luft Hügel hinunterströmen und sich in Beckenlagen ansammeln, da sie schwerer ist als warme Luft (Talinversion). Diese Wetterlage mit lokalen Kaltluftseen ist typisch für den Kanton Uri. Die Auflösung erfolgt am Morgen durch genügend Sonneneinstrahlung und die dadurch verursachten Aufwärmung der bodennahen Luftschicht. Die Inversion löst sich so von unten nach oben auf.

Auch der Föhn kann eine Inversion beenden. Dann erfolgt die Auflösung jedoch von oben nach unten, wobei der Wind zuerst die höheren Inversionsschichten ausräumt und dann die bodennahe Kaltluftschicht durchbricht.





Die zwei Bilder zeigen eine normale Wetterlage (oben) verglichen mit einer Inversion (unten). Im oberen Foto nimmt die Temperatur mit der Höhe ab. Dies hat zur Folge, dass es im unteren Hang regnet, während es weiter oben schneit. Im unteren Foto jedoch ist der Schnee nur in den unteren Lagen liegen geblieben. Das heisst, dass es unten kälter ist als oben, was auf eine Inversion hindeutet.



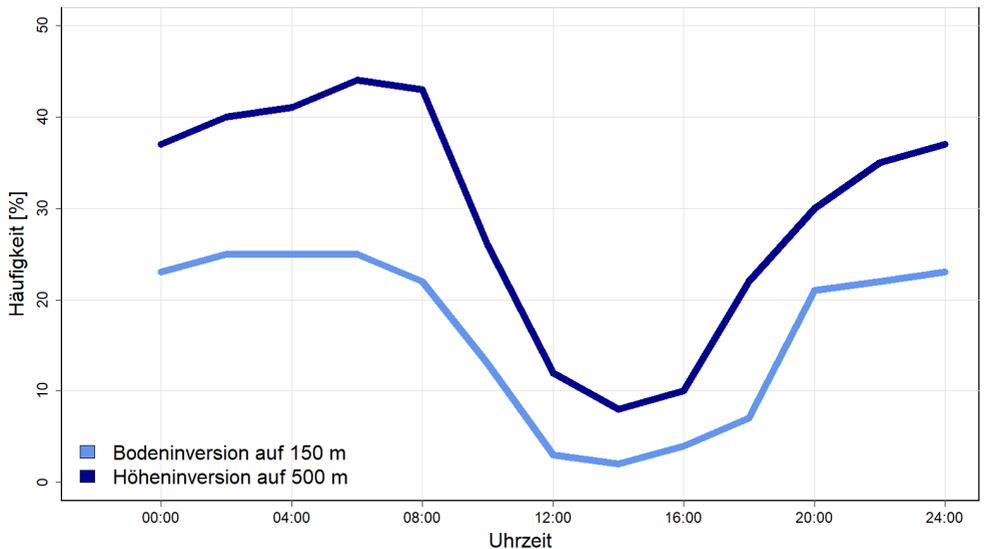
Eine Inversionslage in Unterschächen wird von einem Föhnsturm aufgelöst. Der trockene Schnee auf dem Asphalt zeigt, dass die Temperatur noch tief unter dem Gefrierpunkt liegt, während ein Föhnsturm mit Föhnmauer und Triebsschnee über den Gross Ruchen fegt. Die kalte, bodennahe Luftschicht wurde erst einige Stunden später ausgeräumt.

Inversionslagen im Kanton Uri

Um die thermische Schichtung der bodennahen Atmosphäre im Kanton Uri zu messen, wurde 2002 in Erstfeld ein Temperaturmessprofil eingerichtet. Dabei wird auf sieben Höhenstufen (0, 20, 40, 80, 120, 160 und 500 Meter über dem Talboden) von je einem Sensor sowohl Lufttemperatur als auch -feuchtigkeit erfasst. Temporär existierten auch Temperaturprofile in Andermatt und Unterschächen. Im Winter 2010/2011 und 2011/2012 wurden die Inversi-

onen an diesen drei Orten genauer untersucht: Die Inversionslagen sind vor allem in der Nacht, den Morgenstunden und während der Wintermonate ein häufiges Phänomen. In Andermatt und Erstfeld kam es in 15-35 % der Zeit zu einer Inversion. In Unterschächen liegt die Inversionshäufigkeit sogar noch höher (50 %), da das Dorf in einer Beckenlage in einem Seitental liegt. Dort wird die Inversion auch am Tag nur sehr schwer aufgelöst.





In Erstfeld wird die Lufttemperatur auf sieben verschiedenen Höhenstufen kontinuierlich gemessen. So ist es möglich, den Tagesgang einer Inversionsslage zu sehen, wie hier als Beispiel für einen Wintertag im Jahre 2016. In der Nacht bilden sich in dieser Jahreszeit in beiden Höhenlagen mit erhöhter Häufigkeit Inversionen, wobei das Phänomen in der Höhe sogar noch etwas mehr vorkommt als in Bodennähe. In den Morgenstunden verschwinden diese Temperaturumkehrungen in den meisten Fällen durch die Sonneneinstrahlung, bevor sie sich in den Abendstunden wieder bilden.

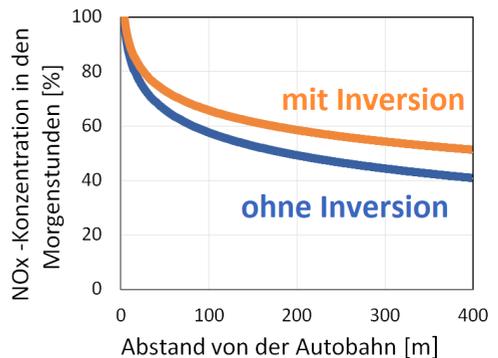
Auch in Andermatt (Foto links) bilden sich im Winter und in der Nacht häufig Inversionen. In der untersten Luftschicht kann Nebel entstehen.

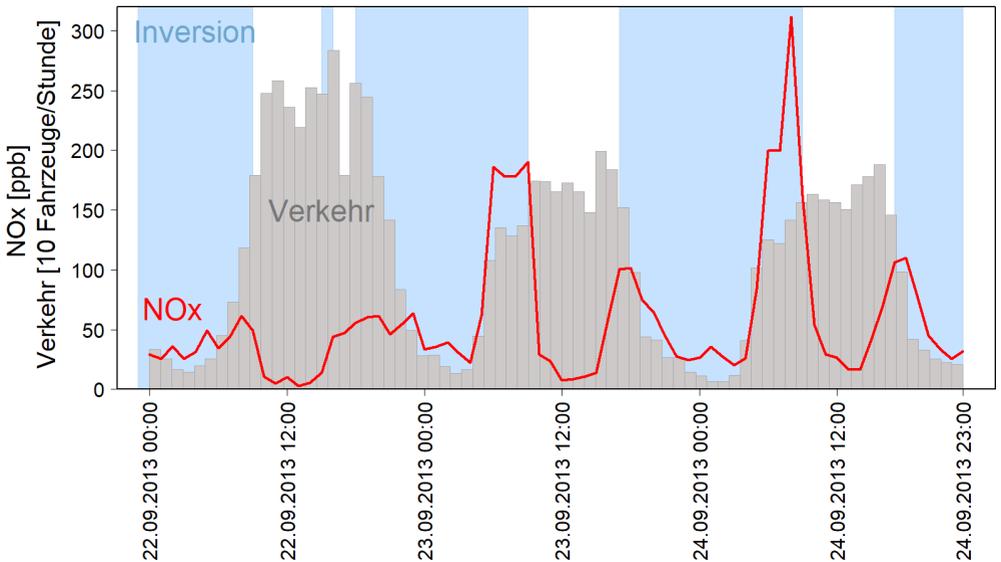
Verkehr und Inversionen verschlechtern die Luftqualität

Länger anhaltende Inversionen führen oft zu schlechter Luftqualität. Die Konzentration eines Luftschadstoffs an einem bestimmten Ort (Immission) hängt einerseits von seinen Quellen (Emissionen wie Strassenverkehr) und andererseits von den meteorologischen Bedingungen wie Temperatur, Wind und Wetterlage ab. Bei Wind werden die Schadstoffpartikel verteilt. Somit werden die Schadstoffe verdünnt und die Luftqualität steigt. Bei einer Inversion hingegen ist die Durchmischung der untersten Luftschicht verringert. Die Schadstoffe werden nicht mehr

verdünnt oder wegtransportiert, sondern sammeln sich in Bodennähe. Die Konzentrationen von Stickoxiden und Feinstaub steigen an. Es zeigte sich, dass die Inversionshäufigkeit der bodennahen Schicht in Erstfeld von 2002-2014 im Jahresmittel abgenommen hat. Gleichzeitig nahmen auch die Stickoxidimmissionen ab. Diese zwei Beobachtungen hängen stark zusammen. Dieser meteorologische Trend dauerte allerdings nur bis 2015 an. Die künftige Entwicklung der Inversionshäufigkeit muss weiter beobachtet werden.

Gut sichtbar ist die Verteilung der Luftschadstoffe in der Nähe der Autobahn A2 in Erstfeld: Mit zunehmendem Abstand von der Autobahn ist die Abnahme der Stickoxidkonzentration bei einer Inversionslage flacher als ohne Inversion. Das heisst, dass die Luftschadstoffe nicht wegtransportiert oder verdünnt werden. Inversionslagen sind also lufthygienisch ungünstig.





Die Luftqualität, hier spezifisch die Stickoxidwerte einer Messstation direkt neben der Autobahn A2 in Erstfeld (rote Kurve), hängt einerseits vom Verkehrsaufkommen ab (graue Balken), aber auch von der Inversionslage (blau hinterlegt). Das Maximum der Luftverschmutzung wird Mitte Vormittag erreicht, obwohl das Verkehrsaufkommen tagsüber konstant hoch ist. Der Grund dafür ist, dass sich kurz vor Mittag die Bodeninversion jeweils auflöst und die Schadstoffe verdünnt werden können. Am Abend ist das Verkehrsaufkommen rückläufig. Da sich aber gleichzeitig wieder eine Inversion bildet, bleiben die Stickoxidwerte konstant oder sinken nur langsam.

Der lufthygienische Alpenfaktor

Emissionen von Luftschadstoffen haben in Alpentälern eine grössere Immissionsbelastung zur Folge als im Mittelland. Der «lufthygienische Alpenfaktor» ist ein Mass dafür. Er beträgt im Kanton Uri für Stickoxide 1:3. Das heisst, dass eine bestimmte Menge emittierter Stickoxide im Alpental zu einer dreimal so grossen Immissionsbelastung führt wie über

flachem Land. Ein Grund dafür ist, dass im Alpental die Emissionen weniger verdünnt werden als im Mittelland, da die Talflanken die horizontale Ausbreitung verringern. Ausserdem erreicht die Sonne wegen des Reliefs den Talboden später und die Inversionslage wird erst gegen Mittag aufgelöst.

Alpental

Mittelland



=



Stickoxide (NO_x) entstehen vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle oder Öl (z. B. in Automotoren, Feuerungen). Während des Verbrennungsprozesses wird vorwiegend Stickstoffmonoxid (NO) gebildet, welches durch den Sauerstoff der Luft zu giftigem Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert wird. Stickoxide sind für die Entstehung von saurem Regen verantwortlich und können beim Menschen zu Lungenproblemen führen.

Feinstaubpartikel (PM₁₀) sind feinste Schwebestoffe mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern. Diese Staubteilchen können in tiefere Lungenabschnitte vordringen, wo sie zu Atemwegsbeschwerden führen können. PM₁₀ entstehen sowohl natürlich (Gesteinserosion, Pollenflug, Vulkanausbrüche, Waldbrände) als auch anthropogen, beispielsweise durch den Strassenverkehr oder Holzheizungen.

Impressum

Auftraggeber	Amt für Umweltschutz (AfU) Uri
Gestaltung	Kim Häcki, Umwelt und Energie (uwe) Luzern
Konzept und Text	inNET Monitoring AG mit Grundlagen vom Fachbericht „Atmosphärische Inversionen im Kanton Uri und ihr Einfluss auf die Luftschadstoffkonzentrationen“ von Ökoscience (2016)
Messdaten NOx	MfM-U (Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt) und AfU Uri
Messdaten Temperaturen	AfU Uri
Messdaten Verkehr	Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abbildungen S. 2/3	nach Hack (2016). Meteorologie für Piloten, 5. Auflage.
Abbildungen S. 6-9	inNET Monitoring AG
Fotos	Angel Sanchez (Umschlag, S. 1) Ökoscience (S. 4) inNET Monitoring AG (S. 5)

