



LUFTQUALITÄT IM WALLIS

■ BERICHT 2021



CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS

Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement
Service de l'environnement
Departement für Mobilität, Raumentwicklung und Umwelt
Dienststelle für Umwelt

VORWORT

Die Luftqualität in der Schweiz hat sich seit den 1980er-Jahren stetig verbessert, was vor allem auf den verbesserten gesetzlichen Rahmen und die Massnahmen in den Bereichen Verkehr, Heizung und Industrie zurückzuführen ist. Auch im Wallis bestätigt sich dieser Trend. Zudem ist die Luftqualität im gesamten Wallis ein Wert, der sowohl von der Walliser Bevölkerung als auch von Gästen sehr geschätzt wird.

In einer Gegend mit topografischen Besonderheiten und einer sehr aktiven Industrie- und Wirtschaftstätigkeit ist dieses Ergebnis jedoch nicht selbstverständlich. Es ist das Ergebnis grosser Anstrengungen, die über einen langen Zeitraum hinweg unternommen wurden und die ich an dieser Stelle würdigen möchte.

Nun steht uns ein neuer «Challenge» bevor: diese Ergebnisse, die zu einer guten Lebens- und Umweltqualität im Wallis beitragen, aufrechtzuerhalten. Erscheint Ihnen «Challenge» als zu starker Ausdruck? Der Begriff ist jedoch angebracht, denn er zeigt, dass wir uns mit der Klimaentwicklung auseinandersetzen müssen, dieser grossen Herausforderung, die von unserer Umwelt und unserer Gesellschaft verlangt, die besten Antworten zu finden. Der Kanton Wallis setzt sich im Rahmen seines Klimaplanes, der Bestandteil der vom Staatsrat verabschiedeten «Strategie der nachhaltigen Entwicklung 2030» ist, aktiv dafür ein.

Der Bericht, den Sie in Ihren Händen halten, spiegelt die Sorgfalt wider, die die tägliche Überwachung der Luftqualität erfordert.

Die Luftqualität hängt von unzähligen Faktoren ab: von den Launen oder Geschenken des Wetters über regionale und höhenbezogene Besonderheiten bis hin zur Art und Weise, wie wir unsere Infrastrukturen nutzen. Die Gewährleistung dieser Überwachung ist eine der Aufgaben der Dienststelle für Umwelt und soll vor allem dazu dienen, die Bevölkerung zu warnen und zu schützen, wenn ein besonderes Ereignis eintritt, das ihr schaden könnte. Das symbolträchtigste Ereignis im Jahr 2021 waren die Einfälle von Saharasaand, die - auch wenn das Phänomen nicht neu ist - für jedermann eines der beeindruckendsten bleiben werden. Zwei solche Episoden haben Anfang des Jahres die Gemüter erregt.

Viel weniger augenfällig, aber ebenso bedeutend steht die Ozonbelastung weiterhin an der Spitze der Liste der problematischsten Verschmutzungen für die Luftqualität im Wallis, obwohl die gesundheitlichen Auswirkungen dieses Schadstoffes weniger kritisch sind als die der Feinstaubpartikel. Wie in den Vorjahren wurden auch im Jahr 2021 die Grenzwerte für diesen Schadstoff von März bis September im gesamten Gebiet überschritten.

«Challenge» ist daher weiterhin die treffendste Bezeichnung für den Bereich der Luftreinhaltung. Meine Dienststelle wird ihre Arbeit in diesem Sinne fortsetzen, um dem Wallis, seinen Einwohnern, seinen Besuchern und seiner Umwelt dauerhaft eine möglichst bekömmliche und belebende Luft zu garantieren.

Christine Genolet-Leubin
Dienstchefin

INHALTSVERZEICHNIS

DAS WESENTLICHE	7
1. LUFTREINHALTUNG UND PRÄVENTIONSMASSNAHMEN	8
2. FAKTOR WETTER UND LUFTVERSCHMUTZUNG	10
2.1. Das Wetter im Jahresverlauf 2021	12
3. RESIVAL	15
4. OZON – O₃	16
4.1. Steckbrief	16
4.2. Ergebnisse 2021	17
4.3. Entwicklung der Immissionen	19
4.4. AOT 40	21
5. FEINSTAUB - PM₁₀	22
5.1. Steckbrief	22
5.2. Ergebnisse 2021	23
5.3. Entwicklung der Immissionen	24
6. FEINSTAUB - PM_{2.5}	28
6.1. Steckbrief	28
6.2. Ergebnisse 2021	29
6.3. Entwicklung der Immissionen	29
7. ELEMENTARER KOHLENSTOFF (RUSS)	31
8. STICKSTOFFDIOXID – NO₂	33
8.1. Steckbrief	33
8.2. Ergebnisse 2021	34
8.3. Entwicklung der Immissionen	35
9. AMMONIAK – NH₃	38
9.1. Steckbrief	38
9.2. Ammoniak- und Stickstoffimmissionen	39
9.3. Entwicklung der Immissionen	39
10. GROBSTAUBNIEDERSCHLAG	42
10.1. Steckbrief	42
10.2. Ergebnisse 2021	43
10.3. Entwicklung der Immissionen	44
11. FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN – VOC	47
11.1. Steckbrief	47
11.2. Ergebnisse 2021 und Entwicklung der Immissionen	48
11.3. Krebserregende VOC im Oberwallis	52
LITERATUR	54
ABKÜRZUNGEN, EINHEITEN UND SYMBOLE	55
ANHÄNGE	58

ABBILDUNGEN

ABBILDUNG 1 - Die Resival-Messstationen	15
ABBILDUNG 2 - O ₃ , Überschreitungen der Stundennorm	18
ABBILDUNG 3 - O ₃ , Anzahl Stunden >120 µg/m ³ pro Monat und monatliche 98-Perzentile	18
ABBILDUNG 4 - O ₃ , Anzahl Stunden über 120 µg/m ³ , regionaler Höchstwert	19
ABBILDUNG 5 - O ₃ , Anzahl Tage mit Stunden >120 µg/m ³ , regionale Mittelwerte	20
ABBILDUNG 6 - O ₃ , maximale Stundenspitzenwerte nach Jahren	20
ABBILDUNG 7 - AOT 40 für die Jahre 1990 bis 2020, regionale Mittelwerte	21
ABBILDUNG 8 - Primäre PM10-Emissionen im Wallis 2020	22
ABBILDUNG 9 - PM10, regionale Jahresmittelwerte 1999 bis 2021	25
ABBILDUNG 10 - PM10, Anzahl Tage > 50 µg/m ³ , regionale Höchstwerte (rote Linie, Toleranz von 3 T.)	25
ABBILDUNG 11 - Blei in ng/m ³ im PM10 von 2001 bis 2021, regionale Mittelwerte	26
ABBILDUNG 12 - Cadmium in ng/m ³ im PM10 von 2001 bis 2021, regionale Mittelwerte	27
ABBILDUNG 13 - Ergebnisse 2014 - 2020 für PAK und Benzo(a)pyren an der Nabel-Station in Sitten	27
ABBILDUNG 14 - Primäre PM2.5-Emissionen im Wallis 2020	28
ABBILDUNG 15 - PM2.5 2018-2021, regionale Jahresmittel in µg/m ³	30
ABBILDUNG 16 - EK, Jahresmittelwerte 2008 bis 2021 in µg/m ³	31
ABBILDUNG 17 - EK 2021 in Massongex	32
ABBILDUNG 18 - PM10, PM2.5 2021 in Massongex	32
ABBILDUNG 19 - NO _x , Emissionen 2020 im Wallis	33
ABBILDUNG 20 - NO ₂ , durchschnittliche Tageswerte in Sitten und Brigerbad 2021	35
ABBILDUNG 21 - NO ₂ ; regionale Jahresmittelwerte 1990 bis 2021	36
ABBILDUNG 22 - NO ₂ , Anzahl Überschreitungen der Tagesnorm 2000 bis 2021, regionaler Höchstwert	37
ABBILDUNG 23 - NH ₃ , Emissionen 2020 im Wallis	38
ABBILDUNG 24 - Karte der kritischen Werte für gasförmigen Ammoniak in der Schweiz 2015	40
ABBILDUNG 25 - Karte der kritischen Belastungen durch Stickstoffdepositionen in der Schweiz 2015	41
ABBILDUNG 26 - Staubbiederschlag 1991 bis 2021, regionale Jahresmittel	44
ABBILDUNG 27 - Blei im Staubbiederschlag 1991 bis 2021, regionale Mittelwerte	45
ABBILDUNG 28 - Cadmium im Staubbiederschlag 1991 bis 2021, regionale Mittelwerte	46
ABBILDUNG 29 - Zink im Staubbiederschlag 1991 bis 2021, regionale Mittelwerte	46
ABBILDUNG 30 - NMVOC-Emissionen (VOC ohne Methan) im Wallis 2020	47
ABBILDUNG 31 - Benzol, Jahresmittel	48
ABBILDUNG 32 - Benzol, Monatsmittel 2021	48
ABBILDUNG 33 - Tageswerte für Benzol 2021 an den 4 Stationen in der Ebene	49
ABBILDUNG 34 - Benzol-Immissionen an der Station Brigerbad 2021	50
ABBILDUNG 35 - Benzol-Immissionen an der Station Massongex 2021	50
ABBILDUNG 36 - Toluol, Jahresmittel	51
ABBILDUNG 37 - Toluol, Monatsmittel 2021	51
ABBILDUNG 38 - Krebserregende VOC-Immissionen in der Ebene im Oberwallis 2021	53

TABELLEN

TABELLE 1 - Auswirkung der Massnahmen auf die wichtigsten Luftschadstoffe	9
TABELLE 2 - Meteorologische Werte für Sitten	12
TABELLE 3 - O ₃ , Ergebnisse 2021	17
TABELLE 4 - PM ₁₀ , Ergebnisse 2021	23
TABELLE 5 - PM _{2.5} , Ergebnisse 2021	29
TABELLE 6 - Elementarer Kohlenstoff (EK), Ergebnisse 2021	31
TABELLE 7 - NO ₂ , Ergebnisse 2021	34
TABELLE 8 - Grobstaubniederschlag und Mettargehalte, in Jahresmitteln 2021	43
TABELLE 9 - Benzol und Toluol, Ergebnisse 2021	48

DAS WESENTLICHE

Ozon (O₃): Die Ozonbelastung greift nicht nur lebende Organismen, sondern auch unbelebte Materie an. Ausgedrückt wird sie vor allem durch die Zahl der Überschreitungen von Stundenbegrenzungen. Seit ihrem Rückgang von 1990 bis 2002 stagnieren ihre Werte, wobei es vereinzelt zu markanten jährlichen Anstiegen kommt, was namentlich in den Jahren 2003, 2015 und 2018 der Fall war. In diesen Jahren waren die Sommer sonnenreich, mit hohen bis sehr heissen Temperaturen. Das Jahr 2021 brachte hingegen, wie schon das Jahr 2020, niedrige Ozonwerte. Die Wetterbedingungen waren einer anhaltenden Entstehung dieses Schadstoffs, der sich aus Vorläufergasen in der Luft und unter Einwirkung der Sonneneinstrahlung bildet, nicht unbedingt förderlich.

Stickstoffdioxid (NO₂): Die Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) sind gegenüber 2006 schrittweise zurückgegangen, je nach Region um 42 bis 51%. Seit 2013 wird der Jahresgrenzwert von 30 µg/m³ an den Resival-Stationen deutlich eingehalten. An der eidgenössischen Nabel-Station «Sitten Flughafen-A9» wurde er seit 2019 zum dritten Mal eingehalten. Überschreitungen des Tagesgrenzwerts sind selten geworden. Zusammen mit den VOC sind Stickoxide (NO_x) Vorläuferstoffe für Ozon und tragen zu weiteren Formen der Belastung bei (Versauerung des Regens, Eutrophierung etc.).

Feinstaub (PM₁₀, PM_{2.5}): Feinstaub, PM₁₀ und dessen noch feinere PM_{2.5}-Fraktionen, ist der Schadstoff mit den gravierendsten Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit. Bei den PM₁₀ ist seit 2006 ein regelmässiger Rückgang der Jahresmittelwerte zu beobachten, mit einer Verringerung in allen Regionen zwischen 37 und 47% bis 2021. Die Werte stagnieren seit 2016 in Höhenlagen, und seit 2018 auch in der Ebene. In den letzten acht Jahren wurde der Jahresgrenzwert an allen Stationen des Walliser Resival-Netzes eingehalten. Die Überschreitungen der Tagesgrenzwerte in den Jahren 2020 und 2021 sind vor allem auf den bei uns niedergegangenen Sahara-Sand zurückzuführen. Kritischer stellt sich die Situation bei den PM_{2.5}-Jahreswerten dar. Für die ländliche Region in der Ebene lag sie im Jahr 2021 nahe am LRV-Grenzwert.

Staubniederschlag: Nach einer Ausnahmeerscheinung in den ländlichen Regionen in der Ebene im Jahr 2019 werden die Luftqualitätsnormen für Staubniederschlag wieder eingehalten.

DIE LUFTQUALITÄT AUF EINEN BLICK

Standort-Typ	Ozon (O ₃)	Feinstaub		Stickdioxid (NO ₂)	Staubniederschlag
		PM ₁₀	PM _{2.5}		
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE					
LÄNDLICHE REGION IN D. EBENE					
URBANES ZENTRUM					
NÄHE VON INDUSTRIEN					

Obige Tabelle zeigt, dass die Situation der Luftqualität im Wallis 2021, in Bezug auf die LRV-Langzeitbelastungsgrenzen gut war, mit Ausnahme des Ozons im ganzen Kanton und des Feinstaubs PM 2.5. Diese Begrenzungen werden festgesetzt, um zu verhindern, dass die Luftverschmutzung zu chronischen Belastungszuständen führt. Deren Auswirkungen auf die Gesundheit sind problematischer als jene einer kurzzeitigen, punktuellen Exposition.

Mit Ausnahme von O₃ und PM_{2.5} sind übermässige Immissionen seit 2014 selten geworden, auch wenn es manchmal zu lokalen Beeinträchtigungen kommt. Die unternommenen Anstrengungen müssen fortgesetzt werden, um der gesamten Walliser Bevölkerung **jederzeit und dauerhaft** eine optimale Luftqualität zu gewährleisten.

1. LUFTREINHALTUNG UND PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Um gegen Immissionen vorzugehen, die über die in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1) festgelegten Begrenzungen hinausgehen, verlangt die Verordnung, dass ein Massnahmenplan erstellt und umgesetzt wird. Die Absicht ist, die Schadstoffniveaus zu senken, indem man auf die Quellen einwirkt, von denen die Schadstoffe ausgestossen werden. Der Plan bleibt so lange in Kraft, wie die Grenzwerte in Anhang 7 LRV nicht eingehalten werden. Als der Plan 2009 verabschiedet wurde, lagen die jährlichen PM₁₀- und NO₂-Werte im Wallis über den in der Verordnung festgelegten Höchstwerten. Auch beim Ozon wurden während der Belastungsspitzen im Frühling und Sommer Überschreitungen der Begrenzungen festgestellt. Tabelle 1 auf der nächsten Seite zeigt die vom Walliser Plan 2009 angestrebten Wirkungen und den Hauptschwerpunkt, der auf der Verringerung der Belastung mit NO_x, O₃ und vor allem PM₁₀ liegt. Elf Massnahmen zielen vor allem auf den letztgenannten Schadstoff ab. Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2.5}) ist nämlich der Schadstoff mit den grössten Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit. Im Jahr 2013 stufte die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) die Luftverschmutzung vor allem aufgrund des Feinstaubvorkommens als krebserregend ein.

Die Ziele des kantonalen Plans für Stickstoffdioxid (NO₂) und PM₁₀ werden seit 2014 erreicht. Beim Ozon kommt es weiterhin zu Überschreitungen der LRV-Begrenzungen.

Diese Belastung ist jedoch in Bezug auf die Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit weit weniger kritisch als die Feinstaubbelastung. Zudem tritt sie sporadisch in Abhängigkeit von den Wetterbedingungen auf und ist auf den Zeitraum von März bis September beschränkt.

Im Übrigen stellen die neuen Zielwerte, die 2021 von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erlassen wurden, die erreichten Ziele für PM₁₀ und NO₂ im Wallis in Frage. Die Höchstwerte, die nicht überschritten werden dürfen, wären im Jahresdurchschnitt von 20 auf 15 µg/m³ für Feinstaub PM₁₀ und von 30 auf 10 µg/m³ für NO₂ zu senken. Die Ergebnisse für 2021 zeigen, dass diese neue Obergrenze für PM₁₀ eingehalten wird, man in Stadtzentren jedoch an die Grenze stösst, während sie für NO₂ nur an Resival-Stationen ländliche Region in der Höhe nicht überschritten wird. Beim Feinstaub PM_{2.5} möchte die WHO die jährliche Begrenzung von 10 auf 5 µg/m³ senken. Im Jahr 2021 erfüllte keine der Resival-Stationen dieses Alternativziel.

TABELLE 1 - AUSWIRKUNG DER MASSNAHMEN AUF DIE WICHTIGSTEN LUFTSCHADSTOFFE

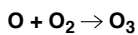
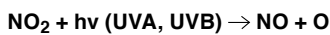
MASSNAHME GEMÄSS KANTONALEM LRV-PLAN	LUFTSCHADSTOFF				
	O ₃	PM10	NO _x	SO ₂	COV
5.1.1 Sensibilisierung und allgemeine Information		+	+	+	+
5.1.2 Themenpfade, sonstige Veranstaltungen zum Thema Luft	+	+	+	+	+
5.1.3 Information der Gemeinden über Massnahmen in ihrer Zuständigkeit	+	+	+	+	+
5.1.4 Kantonale Kommission für Reinhaltung der Luft	+	+	+	+	+
5.2.1 Bekämpfung der Abfallverbrennung im Freien		+++	+		
5.2.2 Informations- und Interventionsmassnahmen bei Wintersmog		+++	+		
5.2.3 Informationsmassnahmen bei Sommersmog	+		+		+
5.3.1 Verschärfte Kontrollen	+	+++	+++	+++	+++
5.3.2 Strengere Grenzwerte für grosse Emittenten	+	+++	+++	+++	
5.3.3 Überprüfung der Umweltverträglichkeit eines Unternehmens vor Gewährung einer Steuererleichterung	+	+	+	+	+
5.4.1 Ausrüstung neuer Fahrzeuge und anderer Dieselmotoren des Staats mit einem Partikelfilter und einem System zur Reduktion der Stickoxidemissionen	+	+++	+++		
5.4.2 Kraftfahrzeugsteuer	+	+++	+++		
5.4.3 Fahrkurse des Typs Eco-Drive	+	+++	+++		+
5.4.4 Subventionierung von Partikelfiltern bei land- und forstwirtschaftlichen Dieselmotoren		+++			
5.5.1 Sanierungen der Heizungen und Wärmeisolierung der Gebäude		+	+++		
5.5.2 Subventionen gemäss Energiegesetz für die umweltverträglichsten Anlagen		+++	+		
5.5.3 Verkürzung der Sanierungsfristen und strengere Normen für die Holzheizungen		+++			
5.5.4 Subventionierung von Partikelfilter in Holzheizungen		+++			

+++ Schadstoff, der durch die Massnahme hauptsächlich bekämpft wird

+ Schadstoff, zu dessen Verringerung die Massnahme beiträgt.

2. FAKTOR WETTER UND LUFTVERSCHMUTZUNG

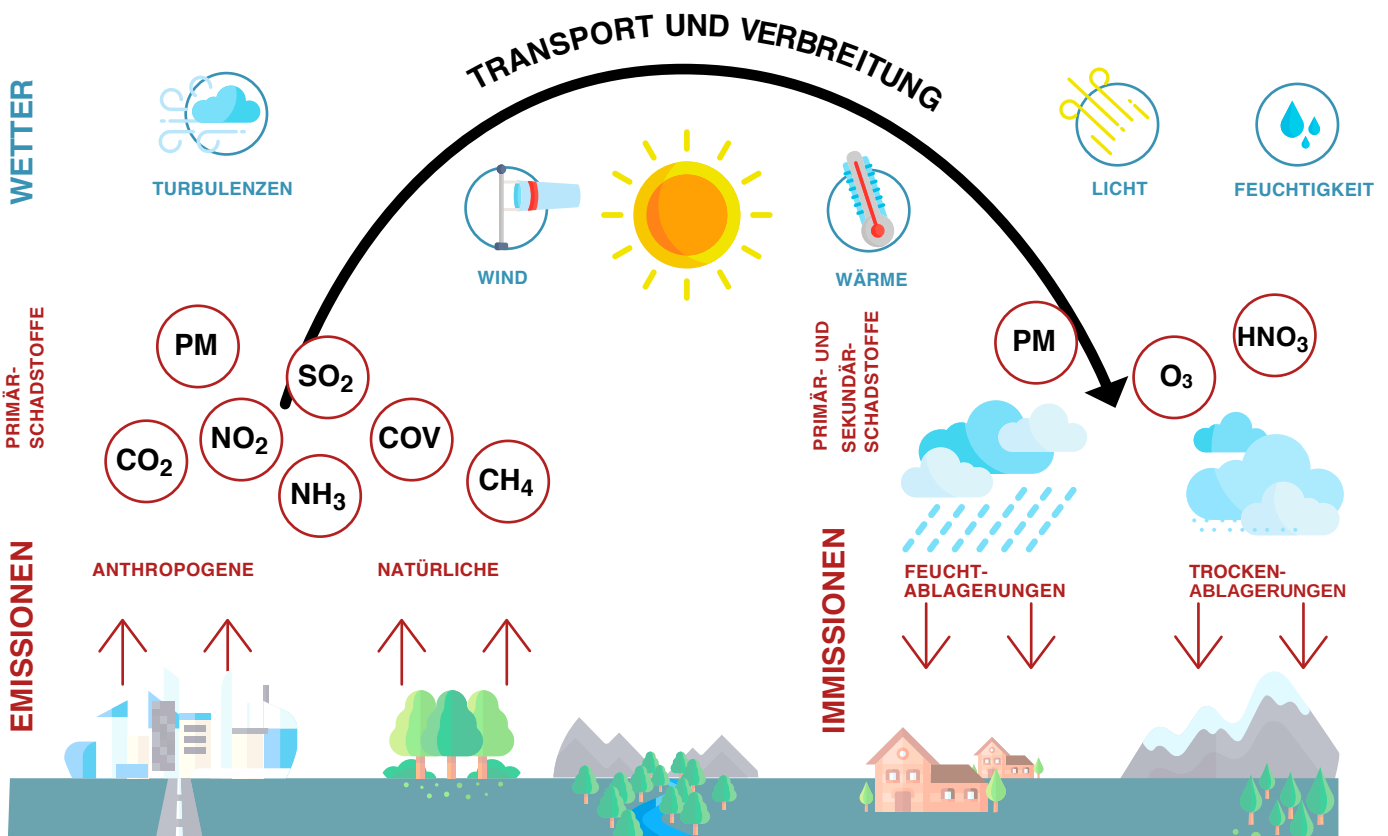
In die Luft ausgestossene Schadstoffe (Emissionen) und deren Konzentration werden von einer ganzen Reihe von Faktoren beeinflusst, bis sie an einem gegebenen Ort als Immissionen ihre Wirkung entfalten. Ihr Transport und ihre Verbreitung sind von den meteorologischen Bedingungen abhängig, von Windstärke und -richtung, von Luftfeuchtigkeit und Niederschlag, von Lufttemperatur und Luftdruckverhältnissen. Andere Faktoren beeinflussen die chemischen Prozesse in der Luft direkt. Insbesondere die Sonneneinstrahlung (symbolisiert durch $h\nu$) ist durch die Photolyse von Stickstoffdioxid (NO_2) für die Entstehung des Ozons (O_3) am Tage verantwortlich. Die dabei ausschlaggebenden Reaktionen sind:



Die Gesamtreaktion $\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$ besteht aus einem ersten Schritt der Fotodissoziation von NO_2 durch ultraviolette (UV) Sonnenstrahlung, unmittelbar gefolgt von einem zweiten Schritt,

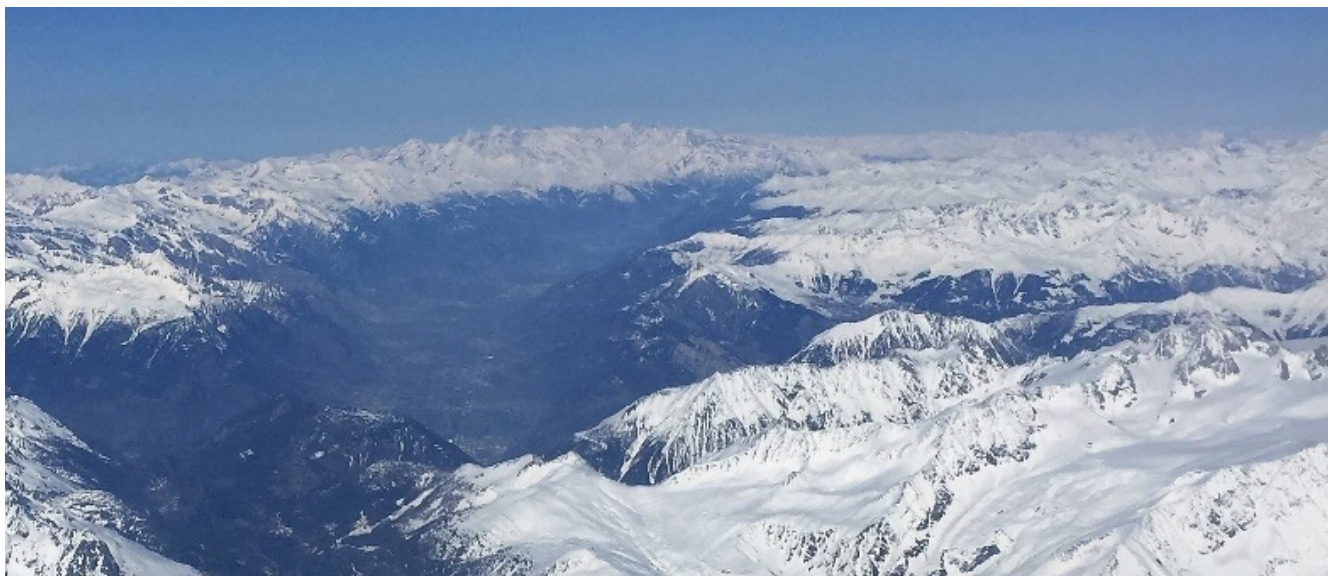
der Bindung des freigesetzten atomaren Sauerstoffs (O) an den molekularen Sauerstoff (O_2) in der Atmosphäre, um Ozon zu erzeugen. Beide Schadstoffe werden in der LRV behandelt. Der eine hält die Grenzwerte gut ein (NO_2), der andere nicht (O_3). Dies ist namentlich auf die katalytische Aktion von NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) bei der Bildung von O_3 in Gegenwart von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) zurückzuführen. Da NO_2 nach der Dissoziation regeneriert wird, ohne Ozon zu verbrauchen, reichen relativ geringe Konzentrationen in der Luft aus, um diesen sekundären Schadstoff effizient zu produzieren. Aufgrund des photochemischen Prozesses spielt auch die Sonneneinstrahlung eine wichtige Rolle bei der Produktion. Bei gutem Wetter und langen Episoden heisser Sommertage werden die höchsten O_3 -Werte gefördert. Dieser Prozess erklärt, warum die Ozongrenzwerte der LRV seit vielen Jahren immer wieder überschritten werden.

Die folgende Abbildung zeigt die wichtigsten Einflüsse der Wetterbedingungen auf die Luftverschmutzung.



Das geografische Wallis besteht aus einem grossen, geknickten Mitteltal, das von hohen Bergen bis über 3000 m Höhe umgeben ist, die von Seitentälern durchschnitten werden. Durch dieses Relief ziehen Winde mit veränderlicher und manchmal sehr lokaler Dynamik. Die Meteorologie unterscheidet zwei Föhntäler im Kanton. Das erste reicht ungefähr von Brig bis Siders, das zweite von Martigny bis Le Bouveret. Bei schwachen Winden wird das Wallis zum Kessel, in dem die Luftverschmutzung vor allem von regionalen Quellen und der Atmosphärenchemie bestimmt wird. Bei starken Winden kommt es jedoch zu erheblichen Einträgen kontinentaler und transalpiner Schadstoffe. In Fällen mit sehr grosser Reichweite sind sie transkontinental. Zu diesen Phänomenen gehören die Einträge von Ozon und seinen Vorläufersubstanzen von der anderen Seite des Atlantiks und der Saharasaand, der in Form von atmosphärischem Staub in grossen Höhen von Nordafrika aus transportiert wird. Die globale Erwärmung kann die Intensität solcher Ereignisse erhöhen, da die Luftmassen durch die grössere Energie im atmosphärischen System leichter und stärker in Bewegung geraten.

Die Resival-Stationen bewerten die Luftqualität in der atmosphärischen Grenzschicht (AGS). Diese reicht vom Boden bis in eine Höhe von ca. 1500 m.



Von der Stabilität der AGS hängt es stark ab, ob die Schadstoffakkumulation begünstigt wird oder im Gegenteil die Zerstreung und Verdünnung überwiegen. Lagen, die zu Temperaturinversionen führen, erzeugen eine sehr stabile Grenzschicht ab der Inversionsbasis. Ab dieser Höhe nimmt die Temperatur mit der Höhe zu. In einer gewissen Höhe schwenkt die Temperatur dann auf einen normalen negativen Gradienten ein und nimmt mit der Höhe wieder ab. Im Wallis liegen die Inversionsbasen typischerweise zwischen 700 und 1000 m ü. M. Die stärksten Luftstabilisierungseffekte treten während winterlichen Hochdruckphasen auf. Die in die Luft abgegebenen Schadstoffe akkumulieren sich leicht, und an

Darüber liegt die freie Atmosphäre, genauer gesagt, die freie Troposphäre, die sich bis zur Tropopause in 10'000 bis 12'000 m Höhe erstreckt. In der freien Atmosphäre ist die Temperatur in einer Luftmasse unter gegebenen meteorologischen Umständen fast konstant, während sie in der AGS im Tag-Nacht-Rhythmus spürbar schwanken kann. Es sind hauptsächlich die Turbulenzen im Wärmestrom auf Bodenhöhe, die grossen Tagesschwankungen der Temperatur in der Grenzschicht bewirken. Am Tage werden die Böden von der Sonnenstrahlung erwärmt, und diese Wärme überträgt sich auf die AGS. In der Nacht kühlt der Boden sich durch die Abgabe von Infrarotstrahlung ab, die Wärmeübertragung geht stark zurück und die Temperatur in den unteren Luftschichten sinkt in Kontakt mit dem kälteren Relief. Die nächtliche Abkühlung ist in trockenen klaren Nächten ohne Wind am stärksten. Nachstehendes Luftbild, aufgenommen im April 2019 ungefähr oberhalb Chamonix, Frankreich, zeigt die AGS, in der das Resival-Netz die Luftverschmutzung misst. In jenem Monat begann die Schneedecke auf ca. 1800 m ü. M. Der gesamte schneefreie Raum unterhalb dieser Höhe ist die AGS, in der die kantonalen Stationen die Luftqualität messen.

solchen Tagen werden in der Regel die höchsten Konzentrationen von Luftschadstoffen beobachtet.

Turbulenzen spielen bei der Vermischung von Luftschadstoffen eine wichtige Rolle. Die trockene Luft im Wallis begünstigt stabile Atmosphären. Gestört werden diese von zwei Arten der Turbulenzen, der weiter oben erwähnten thermischen Turbulenz, der vom Boden aufsteigenden Wärmeströmung, und der dynamischen Turbulenz, die in enger Verbindung mit den Windverhältnissen steht. Wenn die Wärmeerzeugung durch Turbulenzen negativ ist, stabilisiert sie die AGS, z. B. bei Inversionen in der unteren Luft-

schicht. Der Wind hingegen erzeugt immer Turbulenzen, die eine horizontale und vertikale Streuung der Schadstoffe bewirken. Diese kombinierten Effekte bestimmen die Mischungshöhe, d. h. die Höhe, die das Volumen begrenzt, in dem die am Boden emittierten Schadstoffe effektiv vermengt werden. Sie verändert sich im Verlaufe des Tages und kann von 100, 200 bis zu 2000 m über dem Boden liegen. Die Resival-Stationen in der Ebene befinden sich permanent innerhalb des Mischbereichs, die Stationen in der Höhe nur zeitweise. Wenn dies nicht der Fall ist, sind sie hauptsächlich der Verschmutzung ausgesetzt, die vom geostrophischen Wind herangezogen wird. Dieser zirkuliert in der freien Atmosphäre, ohne von den Oberflächeneffekten und den Turbulenzen, die in der Mischungsschicht herrschen, gestört zu werden. Im Wesentlichen wird er durch das Gleichgewicht aus Druckgefälle und Corioliskraft definiert.

Untersucht man die meteorologischen Faktoren, kann man daraus schliessen, in welcher Richtung eine Schadstoffkonzentration sich entwickeln, also ob sie zu- oder abnehmen wird. Aber wie gross dieser Einfluss sein wird, lässt sich daran nicht ablesen. Dazu und um die kumulierten Effekte dieser Faktoren zu bewerten, bedarf es hochleistungsfähiger Informatiksysteme und Modellierungen der komplexen Phänomene in der Atmosphäre. Der folgende Rückblick auf das Wetter im vergangenen Jahr erörtert die wichtigsten meteorologischen Parameter und kommentiert qualitativ ihre wichtigsten Auswirkungen auf die Luftverschmutzung.

TABELLE 2 - METEOROLOGISCHE WERTE FÜR SITTEN*

Meteorologischer Parameter	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Mittlere Temperatur [°C]	11.4	11.0	10.5	11.8	11.5	11.2	11.4	12.5	11.8	11.6	10.3
Sonnenscheindauer [h]	2427	2212	2067	2022	2249	2086	2231	2271	2174	2279	2181
Niederschläge [mm]	485	615	568	530	500	587	567	633	608	545	696

* Von der MeteoSchweiz-Station in Sitten (482 m ü. M.) gemessene Jahreswerte, die als Richtwerte für die Ebene im Mittelwallis dienen (Quelle: Jährliches Klimabulletin MeteoSchweiz)

2.1. Das Wetter im Jahresverlauf 2021

2.1.1 ÜBER DAS GANZE JAHR

Gemäss dem Klimabulletin von MeteoSchweiz für das Jahr 2021 lag die mittlere landesweite Jahrestemperatur von 5.6°C 0.3°C über der Norm 1981-2010 (Durchschnitt aus 30 Jahren). Seit Beginn der Messungen im Jahr 1864 wurden die sechs wärmsten Jahre nach 2010 gemessen: 2011 6.6°C, 2014 6.5°C, 2015 6.6°C, 2018 6.9°C, 2019 6.5°C, 2020 6.9°C.

Das Klimawandelphänomen hat in Bezug auf die nationalen Temperaturen im Jahr 2021 eine Pause eingelegt. Im Vergleich zur Norm 1991-2020, die ab 2022 verwendet werden wird, wies der Jahresdurchschnitt des Vorjahres eine leicht negative Anomalie von -0.2°C auf. Der Jahresdurchschnitt in Sitten lag zwischen 4 und 6°C über dem nationalen Wert. Diese Beobachtung ist durch die geografische Lage bedingt. Nicht die Temperaturen sondern die vielen Niederschläge waren das entscheidende Wetterelement in der Schweiz im Jahr 2021. In den Alpen lagen die Werte generell zwischen 90 und 115% der Norm, was der Reduktion der Luftverschmutzung durch feuchte Deposition (Auswaschung) nicht besonders förderlich war.

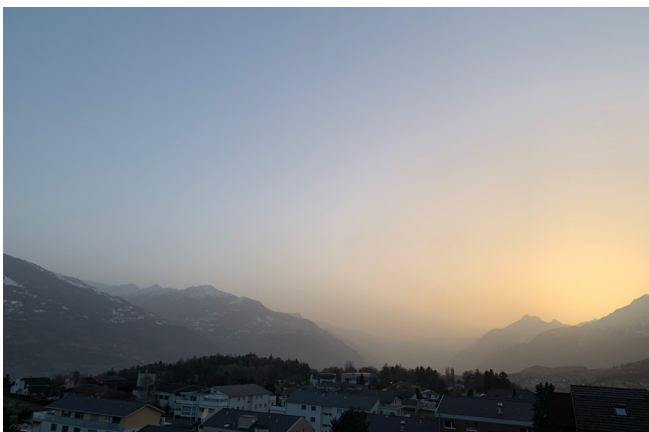
In Sitten betrugen die Niederschläge im Jahr 2021 jedoch 121% des Durchschnitts der letzten 11 Jahre. Die Sonnenscheindauer lag im ganzen Land häufig zwischen 100 und 110% der Norm 1981-2010, während sie in Sitten 99% des Durchschnitts 2011-2021 betrug.

2.1.2 JANUAR BIS MÄRZ

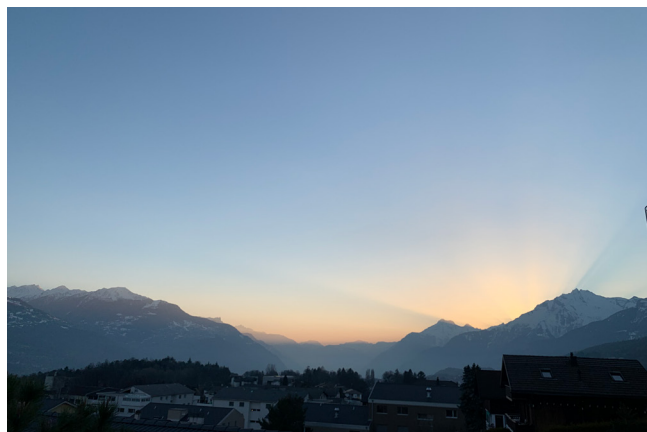
Der Januar erwies sich an vielen Orten des Landes als der nasseste Monat seit mindestens 60 Jahren. Im Wallis war der Februar der viertmildeste Monat seit Beginn der Messungen im Jahr 1864. Viele Tage mit weit überdurchschnittlichen Temperaturen wurden durch einen kurzen Kälteeinbruch ausgeglichen. In diesem Monat wurde Staub aus der Sahara in zwei Wellen in die Schweiz transportiert, die erste am 6. Februar und die zweite vom 22. bis 25. Februar. Sie führten zu einer ungewöhnlichen Trübung der Atmosphäre, die in der ersten Episode sogar massiv war, wie die folgenden Fotos belegen.



Saharastaub über dem Wallis am 6. Februar vormittags (DR)



Trübung der Atmosphäre am 23. Februar um 17.50 Uhr, Blick von Grimisuat in Richtung Martigny, Mittelwallis (DR)



Dieselbe Perspektive am 28. Februar um 17.55 Uhr (DR)

Diese Sandeinträge ereigneten sich vom 3. bis 4. März in einer dritten Welle. Am 6. Februar wurde der höchste PM₁₀-Tageswert von Resival in Les Giettes mit 59 µg/m³ registriert. Die eidgenössische Messstation Jungfrauoch in 3580 m Höhe erreichte da einen Rekordwert von 215 µg/m³. Die zweite Welle dauerte vier Tage und fiel in eine der vier Perioden mit winterlichen Hochdruckwetterlagen, begleitet von mässigen bis starken thermischen Inversionen, die im ersten Quartal in der Romandie auftraten. Sie führte zu den höchsten Feinstaubwerten, die von den Resival-Stationen gemessen wurden. Am 24. Februar wiesen sie alle eine Überschreitung der LRV-Begrenzung auf, mit Werten zwischen 68 µg/m³ (Les Giettes) und 126 µg/m³ (Brigerbad). Am Tag der Fotoaufnahme, dem 23. Februar, verzeichneten die Stationen im Mittelwallis 60 bis 80 µg/m³ PM₁₀. Am 28. Februar lagen sie bei 19 bis 27 µg/m³. Diese Episode war Teil einer aussergewöhnlichen Wetterlage. Ein sehr stabiles Hochdruckzentrum mit grosser Amplitude über Westeuropa schob eine Staubbahn aus der Sahara in unsere Regionen, und zwar durch die Dynamik, die von dem Tiefdruckzentrum erzeugt wurde, das seinen westlichen Rand flankierte. Die thermische

Inversion hielt die Sandpartikel bis zum 25. Februar in der Walliser AGS gefangen. Während der zweiten Welle erreichte der höchste Tageswert auf dem Jungfrauoch einen Spitzenwert von 63 µg/m³. In der dritten Episode überschritt nur der Tageswert vom 4. März in Brigerbad die Tagesbegrenzung von 50 µg/m³ im Resival-Netz, während sie in der eidgenössischen Hochgebirgsstation an beiden Tagen 79 µg/m³ betrug. Alle Überschreitungen der LRV-Tagesbegrenzung für PM₁₀ (siehe Tabelle 4, Ergebnisse 2021) waren auf die drei Sandwellen aus der Sahara zurückzuführen, mit Ausnahme der Überschreitung am 21. März in Saxon. An diesem Tag lagen die Werte an den anderen Resival-Stationen deutlich unter 20 µg/m³, während vom 20. bis 22. März die Werte auf dem Jungfrauoch bei maximal 1 µg/m³ blieben, was ein Zeichen dafür ist, dass keine Staubbekämpfung in die Höhe getragen wurde. Die Quelle der Verschmutzung in Saxon war auf Bodenaktivitäten zurückzuführen. In der Nacht vom 20. auf den 21. März wurden bei der Frostbekämpfung im Obstbau im Mittelwallis Paraffin-Frostschutzkerzen eingesetzt. Die Immissionen von Verbrennungsruss in Form von PM₁₀ konnten der ländlichen Resival-Station in der Ebene, die von Obstbaumkulturen umgeben ist, nicht entgehen.

2.1.3 APRIL BIS JUNI

Nach einem März, der etwas milder als normal war, kam die Kälte im April, der auf nationaler Ebene der kälteste der letzten 20 Jahre war, und hielt sich bis in den Mai. Dieser Monat läutete den Beginn einer dreimonatigen, aussergewöhnlich regenreichen Periode ein. Die regionale Ozonproduktion wird an bewölkten Tagen mit Niederschlägen verhindert. Nach einigen Tagen mit gutem Wetter erholte sich die Ozonproduktion jedoch schnell wieder. Ab April wurden daher deutliche Überschreitungen der monatlichen 98%-Perzentile für Ozon (Abbildung 3 zum Schwellenwert bei 50 ppb) sowie der stündlichen Begrenzung von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb, siehe Abbildung 2) beobachtet. Am sonnigen 24. April wurde an allen Resival-Stationen von 15 bis 17 Uhr die Stundenbegrenzung von 60 ppb überschritten. Die Ozonkonzentrationen waren an den vier vorangegangenen Tagen allmählich angestiegen. Die deutlich niedrigeren Überschreitungswerte im Mai spiegelten jedoch die deutlich überdurchschnittlichen Niederschläge im gesamten Wallis wider. Im Juni stiegen die Überschreitungen wieder an, aber es gab keinen Tag mehr, an dem die Überschreitungen im ganzen Kanton auftraten.

2.1.4 JULI BIS SEPTEMBER

Die Temperaturen im Juli und August blieben unter der Norm 1981-2010. Während die sehr heissen Sommer 2015, 2017, 2018 und 2019 in der Schweiz zwischen 20 und über 30 Tropentage brachten, damit aber nicht mit dem Sommer 2003 konkurrierten konnten, der den Regionen des Wallis wie auch anderswo im Land 40 bis 50 Tropentage bescherte, waren es im Sommer 2021 deutlich weniger als 10. Diese Beobachtungen spiegeln sich in den Spitzenwerten von 2003, 2015 und von 2017 bis 2019 in den Abbildungen 4, 5 und 7 wider. Die langen Tage von Mitte Mai bis Mitte August, wenn die Sonne scheint, eignen sich am besten für die photochemische Ozonproduktion. Die Tatsache, dass die Grenzwerte im Juli bis zum 21. Juli nicht überschritten wurden, ist auf die überdurchschnittlich hohen Niederschlagsmengen zurückzuführen, die in diesem Monat im ganzen Wallis auftraten. Im September herrschte allgemein mildes, sonniges und regenarmes Wetter, wodurch die monatlichen 98%-Perzentilwerte für Ozon auf einem ähnlichen Niveau wie in den Vormonaten gehalten werden konnten (Abbildung 3), obwohl die Tagesstunden der täglichen Sonneneinstrahlung mit dem Überschreiten der Herbst-Tagundnachtgleiche stark zurückgingen. Spitzenwerte über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ traten noch vom 2. bis 9. September auf, einer Zeit mit viel Sonnenschein und praktisch keinem Niederschlag.

2.1.5 OKTOBER BIS DEZEMBER

Der sonnige Oktober und der oft von Stratuswolken bedeckte November waren niederschlagsarm. Die PM10-Werte überschritten im letzten Quartal jedoch nicht die Tagesgrenzwerte, auch nicht während des Hochdruckeinbruchs vom 13. bis 24. Dezember, der die Ansammlung von Schadstoffen in der Luft förderte. Die täglichen PM10-Konzentrationen in der Ebene waren zu diesem Zeitpunkt durchschnittlich 2,4-mal höher als im Rest des letzten Monats. Die Schadstoffansammlung führte am 13. Dezember auch zu einer kritischen Situation im Sinne von Art. 30 LRV für krebserregende VOC. Das Messgerät an der Station Brigerbad mass damals eine Konzentration von Vinylchlorid und 1,4-Dichlorbenzol, die den geforderten Höchstwert von $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritt.

3. RESIVAL

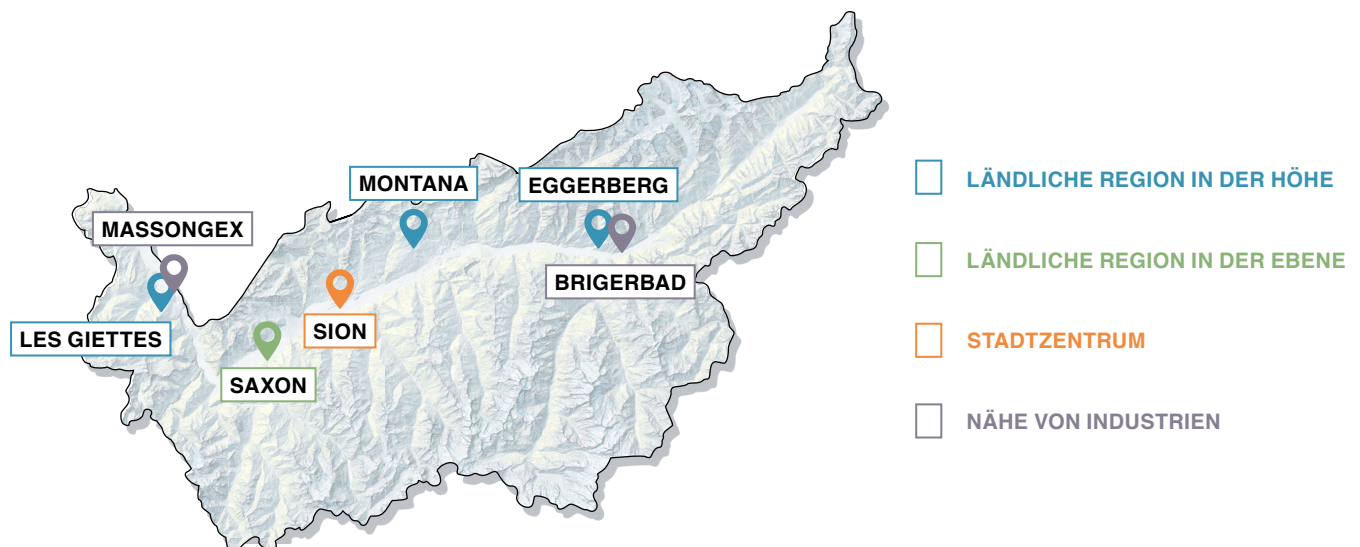
Das Resival-Messnetz (Abb. 1) soll eine objektive Bewertung der Schadstoffbelastung im gesamten Kantonsgebiet ermöglichen. Die Messstation Montana wurde ursprünglich speziell für die nationale Sapaldia-Untersuchung eingerichtet. Im Einvernehmen mit den Leitern dieser Untersuchung beschloss der Kanton 2015 die Messstation und deren Messwerte offiziell in das kantonale Messnetz zu integrieren.

Jede Messstation repräsentiert einen Walliser Standort-Typ: ländlich in der Höhe, ländlich in der Ebene, Nähe von Industrien und Stadtzentrum. Das Messnetz will das Belastungsniveau von Referenzgebieten abbilden. Diese Überwachung erfolgt im Sinne des Auftrags von Art. 27 LRV im öffentlichen und allgemeinen Interesse. Die grösste Aufgabe in diesem Sinne kommt der Messstation Saxon zu, die aufgrund einer Redundanzanalyse zwischen den

vorherigen Stationen für die ländlichen Regionen in der Ebene nun alle diese Regionen im Kanton repräsentiert. Die ländlichen Regionen im Wallis sind sehr weitläufig, und einige Ergebnisse zeigen die Grenzen dieser Messmethode auf. Sie stellen jedoch ihre Gültigkeit nicht in Frage. Wenn die Daten von Saxon vor allem eine lokale Situation darstellen, müssen sie mit Vorsicht bewertet und im Vergleich zu anderen ländlichen Regionen der Rhoneebene relativiert werden. Die nachfolgenden Kapitel über die Luftqualität informieren den Leser bei Bedarf darüber.

Jedes Jahr werden die Daten aus dem Wallis, aus den Kantonen Genf und Waadt sowie aus dem Aostatal und dem grenznahen Frankreich (Hochsavoyen, Savoyen und Ain) gesammelt und analysiert. Diese Daten sind vom Internetportal Transalpair abrufbar (transalpair.eu).

ABBILDUNG 1 - DIE RESIVAL-MESSSTATIONEN



4. OZON – O₃

4.1. Steckbrief

Die Problematik des Ozons in unserer Umwelt zeigt sich auf zwei unterschiedliche Arten:

- In der Stratosphäre, in einer Höhe von über 10-12 km, wird Ozon durch die Absorption der Sonnenstrahlung gebildet. Diese Schicht schützt uns vor der aggressivsten UV-Strahlung und wird durch die Emission ozonschichtabbauender chlor- oder bromhaltiger Stoffe bedroht. Folge davon sind die seit 1979 beobachteten Ozonlöcher über den Polen und ein global mässiger Rückgang.
- In der Umgebungsluft, die wir atmen, und bei Tageslicht bildet sich Ozon aus Stickstoffoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Und um dieses bodennahe Ozon, das als Hauptbestandteil des Sommersmogs schädlich ist, geht es in diesem Kapitel.

Wegen seiner oxidierenden Eigenschaften schadet Ozon menschlichem, tierischem und pflanzlichem Gewebe. Es beeinträchtigt die Atemwege und das Herz-Kreislaufsystem. Das irritierende Gas dringt bis tief in unsere Lungen (in die Lungenbläschen) ein, wo es Entzündungsreaktionen auslösen kann. Die deutlichsten Symptome beim Menschen treten bei Konzentrationen von über 120 µg/m³ auf und äussern sich bekanntermassen als Husten, Asthmaanfälle und Beschwerden bei anhaltenden körperlichen Anstrengungen. Auch Materialien werden von ihm angegriffen, mit Entfärbung als Folge.

Vorläufer von Ozon sind die VOC, die zum einen auf den Menschen, zum anderen auf natürliche Quellen zurückzuführen sind. Massgebend sind im Wallis letztere (s. Abb. 30).

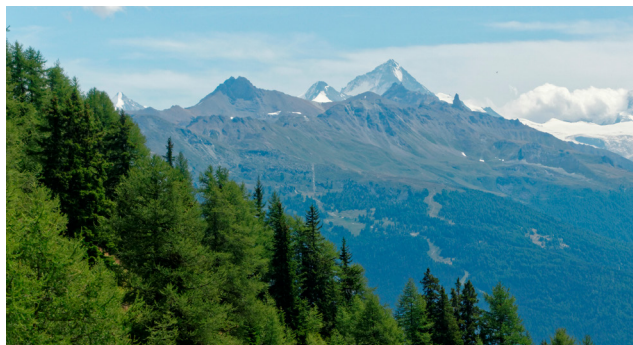
Ozon ist ein Sekundärschadstoff, der sich aus Vorläuferstoffen bildet, die hauptsächlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind, insbesondere NO_x-Emissionen aus Verbrennungsprozessen. Der Ort, wo es seine Wirkung entfaltet, kann sich in beträchtlicher Entfernung zum Ort der verursachenden Luftschadstoffquelle befinden. An Tagen mit starker Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen sind die O₃-Konzentrationen am höchsten. Eine drastische Senkung der NO_x könnte im Wallis das Einhalten der LRV-Grenzwerte gewährleisten.

Die Problematik des Ozons ist kontinentaler bzw. transkontinentaler Natur. Auf dieser Ebene spielen auch das Kohlenmonoxid (CO) und das Methan (CH₄) eine Rolle bei seiner Entstehung.

In Bodennähe löst sich Ozon wieder auf, vor allem durch Absetzung oder durch Titrationsreaktionen mit NO aus lokalen Quellen. Es bildet sich NO₂ (NO + O₃ -> NO₂ + O₂). Unter Einwirkung von Sonnenlicht und durch NO₂-Photolyse ist diese Reaktion generell reversibel. Das Gleichgewicht, das sich bei einer gegebenen Sonneneinstrahlung zwischen NO, NO₂ und O₃ einstellt, nennt man den photostatischen Zustand.

OZON - DIE LUFTQUALITÄT AUF EINEN BLICK

LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	 schlecht
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	 schlecht
STADTZENTRUM	 schlecht
NÄHE VON INDUSTRIEN	 schlecht



Im Wallis sind die natürlichen, von Pflanzen abgegebenen VOC die wichtigsten Vorläufer von O₃.

4.2. ERGEBNISSE 2021

Ozon-Immissionen belasten das gesamte Kantonsgebiet, und die Grenzwerte werden sowohl in der Stadt als auch auf dem Land, in der Ebene wie in den Höhenlagen, überschritten.

Die LRV legt als Obergrenze für Ozonhöchstwerte fest, dass der Stundengrenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb) nur einmal pro Jahr überschritten werden darf und dass 98% der Halbstundenmittelwerte eines Monats (P98) nicht über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 ppb) liegen dürfen. Die monatliche P98-Schwelle ist überschritten, wenn die Konzentrationen während knapp 15 Stunden, aufeinander folgenden oder nicht, in einem Monat über dem Grenzwert liegen. Dieses Ergebnis ist ein guter Indikator für wiederholte Ozonbelastungen. Mit über 2 Monaten (2021: 4 bis 8) und über 10 Stunden (2021: 16 bis 140) pro Jahr, in denen die LRV-Begrenzungen in allen Regionen überschritten werden (Tab. 3), **ist die Luftqualität im Wallis in Bezug auf Ozon klar ungenügend**, insbesondere mit Bezug auf das monatliche 98%-Perzentil.

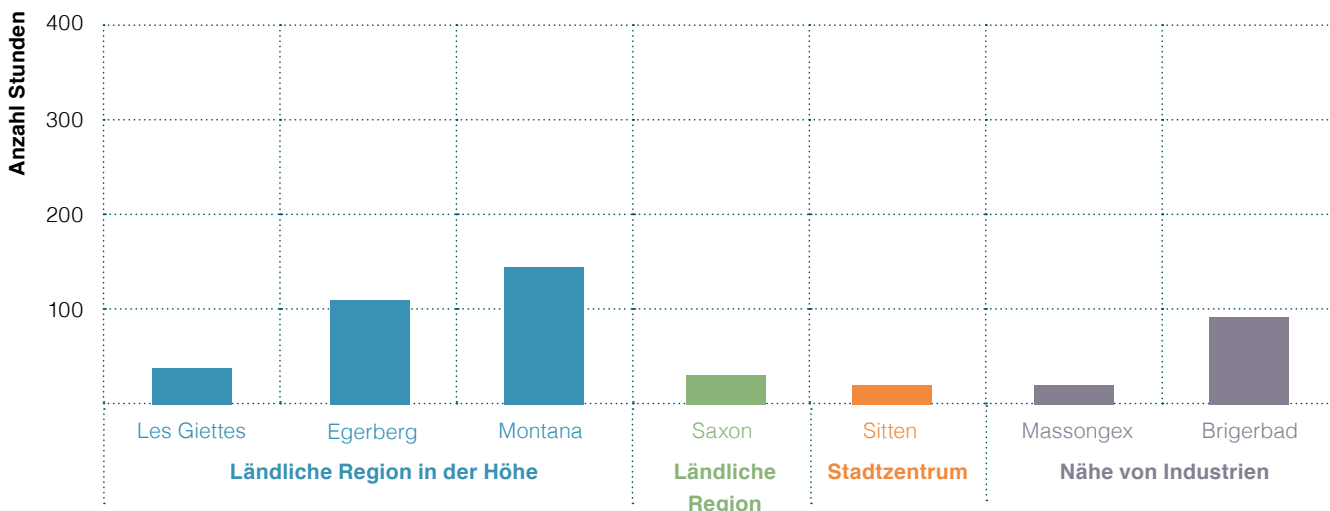
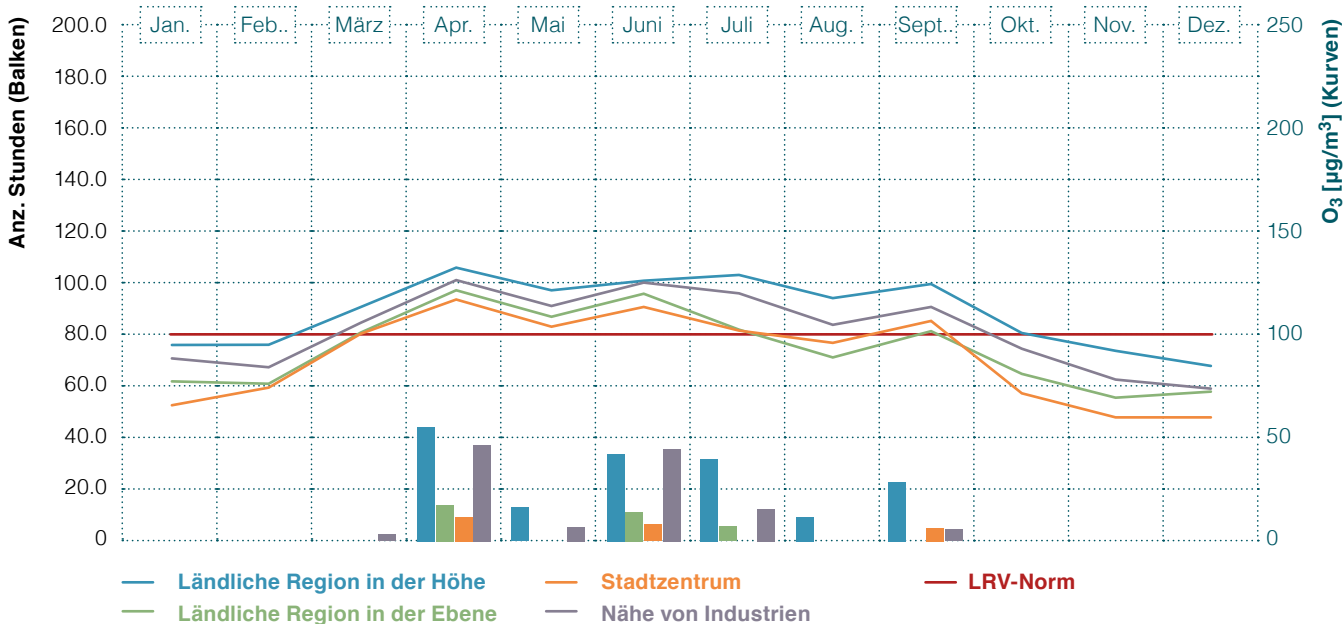
Die Anzahl der Überschreitungen des Stundengrenzwerts ist in den ländlichen Regionen in der Höhe mit 140 Überschreitungen in Montana und 105 Überschreitungen in Eggerberg am höchsten. Da die Stationen in der Ebene näher an grossen NO-Quellen wie dem Strassenverkehr und Grossheizungen liegen, werden die Ozonkonzentrationen aufgrund der Titrationsreaktion typischer-

weise gesenkt. Je nach Wetterlage werden die Werte von Eggerberg manchmal durch NO-Aufstiege aus dem Industriegebiet und der 200 m tiefer gelegenen Ortschaft Visp beeinflusst. 2021 lagen die Stundenwerte, bei denen die LRV-Begrenzung überschritten wurde, zwischen 120 und $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit Ausnahme von Montana, wo 4 Werte zwischen 140 und $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen (Abbildung 2).

Es ist wichtig zu betonen, dass Ozonergebnisse für Konzentrationen auf Meereshöhe bei einem Luftdruck von 1013 mbar angegeben werden. Je höher die Station bei einer gegebenen Temperatur liegt, desto höher ist die auf diese Höhe bezogene Massenkonzentration. Die erste Überschreitung der Stundenbegrenzung trat im März in Massongex auf (Abbildung 3). Im April wurden an allen Stationen und in allen Regionen Überschreitungen festgestellt, ebenso im Juni. In den regenreichen Monaten Mai und Juli gab es an der Station Sitten keine Überschreitungen. Ab Oktober mit der deutlichen Verkürzung der Tageslänge gab es keine Überschreitung des Wertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mehr. Der höchste Stundenwert erreichte $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und wurde am 23. Juli 2021 von 17:00 bis 18:00 Uhr in Montana gemessen. Obwohl der Monat allgemein regnerisch war, gab es im Mittelwallis vom 18. bis 24. Juli warme und sonnige Tage.

TABELLE 3 - O₃, ERGEBNISSE 2021

REGIONEN	STATIONEN	O ₃				
		Anz. Stunden > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anz. Tage mit Std. > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximaler Stundenwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anz. Monate mit P98 > 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P98% Monatshöchstwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	Les Giettes	36	10	140	4	125
	Eggerberg	105	26	136	8	128
	Montana	140	30	145	8	131
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	Saxon	27	8	133	5	121
STADTZENTRUM	Sitten	16	4	129	6	117
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	17	8	130	4	120
	Brigerbad	88	19	137	7	125
LRV-NORM		1		120	0	100

ABBILDUNG 2 - O₃, ÜBERSCHREITUNGEN DER STUNDENNORM

ABBILDUNG 3 - O₃, ANZAHL STUNDEN >120 µg/m³ PRO MONAT UND MONATLICHE 98 PERZENTILE


Die monatlichen 98%-Perzentile liegen von März bis September deutlich über den gesetzlichen Anforderungen (Abbildung 3). Die höchsten Werte wurden im April verzeichnet, mit Ausnahme der beiden Stationen im Chablais, wo sie im Juni gemessen wurden (Les Giettes, Massongex). In dieser Region gab es nur vier Monate mit Überschreitungen, während im Ober- und Mittelwallis 5 bis 8 Monate mit Überschreitungen zu verzeichnen waren. Die P98-Werte halten die LRV-Begrenzung in den ersten beiden Monaten und im vierten Quartal ein, wenn die Sonneneinstrahlung, die für die photochemische Bildung des Schadstoffs notwendig ist, am geringsten ist. Der Jahresverlauf von Ozon ist demjenigen anderer Luftschadstoffe entgegengesetzt, deren Konzentrationen im Win-

ter normalerweise höher sind als im Sommer. Der abrupte Anstieg der Ozonwerte im April wurde durch Föhnereignisse verstärkt. Im ersten Quartal brachten sie in Bodennähe die höchsten Konzentrationen, die in der Höhe insbesondere durch den stratosphärischen Transport von O₃ von den Tropen in unsere Breitengrade (Brewer-Dobson-Zirkulation) vorherrschen. Dessen Einfälle in die Troposphäre erhöhen die Schadstoffgehalte in den Luftmassen des Frühlings. MeteoSchweiz meldete für Aigle keinen einzigen Föhntag im April, während die Walliser Stationen 4 bis 12 Föhn-tage meldeten. Diese Beobachtung deutet auf eine geringere Über-schreitung der Grenzwerte im Chablais hin.

4.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Die Ergebnisse für 2021 sind ungefähr gleich wie die für 2020. An der Station Saxon wurden seit Beginn der Messungen im Jahr 1990 die niedrigsten Werte für Überschreitungen des Stunden-grenzwertes in einer ländlichen Region in der Ebene gemessen. Im Stadtzentrum von Sitten ist es die geringste Anzahl von Tagen mit solchen Überschreitungen in den vergangenen 32 Jahren.

Die Anzahl der Stunden über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt im Bereich derjenigen von 2020, die einen deutlichen Rückgang im Vergleich zu den Jahren 2018 und 2019 zeigte (Abbildung 4). Im Gegensatz zu den anderen Regionen setzt sich in der ländlichen in der Höhe ein leichter Aufwärtstrend fort. Dieser ist auf die Station Montana zurückzuführen, schwächt sich aber im Vergleich zu den Vorjahren deutlich ab.

Eine ähnliche Entwicklung ist bei der Anzahl Tage mit Stunden-werten über $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu beobachten, die 2021 bei den Stationen Saxon und Sitten für die ländliche Region in der Ebene und das Stadtzentrum einen historischen Tiefpunkt erreicht (Abbildung 5). Seit 2005 gehören die städtischen Gebiete zwar immer noch zu den Gebieten mit den niedrigsten Ozonwerten, aber die Werte haben sich denen anderer Regionen angeglichen. Die Station im Stadtzentrum verzeichnet jedoch die höchsten NO_2 -Werte (Abbildung 21), die hauptsächlich durch die Reaktion von O_3 und NO verursacht werden. Nur in der ländlichen Region in der Höhe ist die Anzahl Tage mit Überschreitungen der Stundengrenzwerte weiterhin steigend. Wie Abbildung 4 zeigt, wird sie hauptsächlich

von der Station Montana beeinflusst und schwächt sich seit 2020 deutlich ab.

Mit Ausnahme des Stadtzentrums, wo früher mehr NO als O_3 freigesetzt wurde, sind die im Jahr 2003 mit seiner aussergewöhnlich langen sommerlichen Hitzewelle erreichten Werte immer noch die höchsten der letzten 20 Jahre, was die Anzahl der Tage und Stunden mit Überschreitungen der stündlichen Grenzwerte anbelangt.

Bei den Stundenhöchstwerten für Ozon (Abbildung 6) brachte das Jahr 2021 historische Rekorde für Regionen in der Nähe von Industrien und ländliche in der Ebene. Mit 137 bzw. $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind ihre Werte die niedrigsten seit 1990. In ländlichen Regionen in der Höhe stammt der niedrigste Wert von $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus dem Jahr 2020, und er blieb auch 2021 in der Nähe. Im Stadtzentrum entspricht der Wert von $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fast dem 1997 erreichten Tiefstwert von $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Seit 2019 ist in allen Regionen eine rückläufige Tendenz der Stundenhöchstwerte für Ozon zu beobachten.

Die Zunahme der hohen Konzentrationen in der oberen Troposphäre, die mit ihrem Transport und dem Transport von Vorläufergasen aus Nordamerika oder sogar Südostasien zusammenhängt, könnte jedoch die Luftverschmutzung in Bodennähe verstärken, aufgrund des Ozonaustauschs zwischen niedrigen und hohen Luftschichten, der durch die Berge des Alpenbogens begünstigt wird.

ABBILDUNG 4 - O_3 , ANZAHL STUNDEN ÜBER $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, REGIONALER HÖCHSTWERT

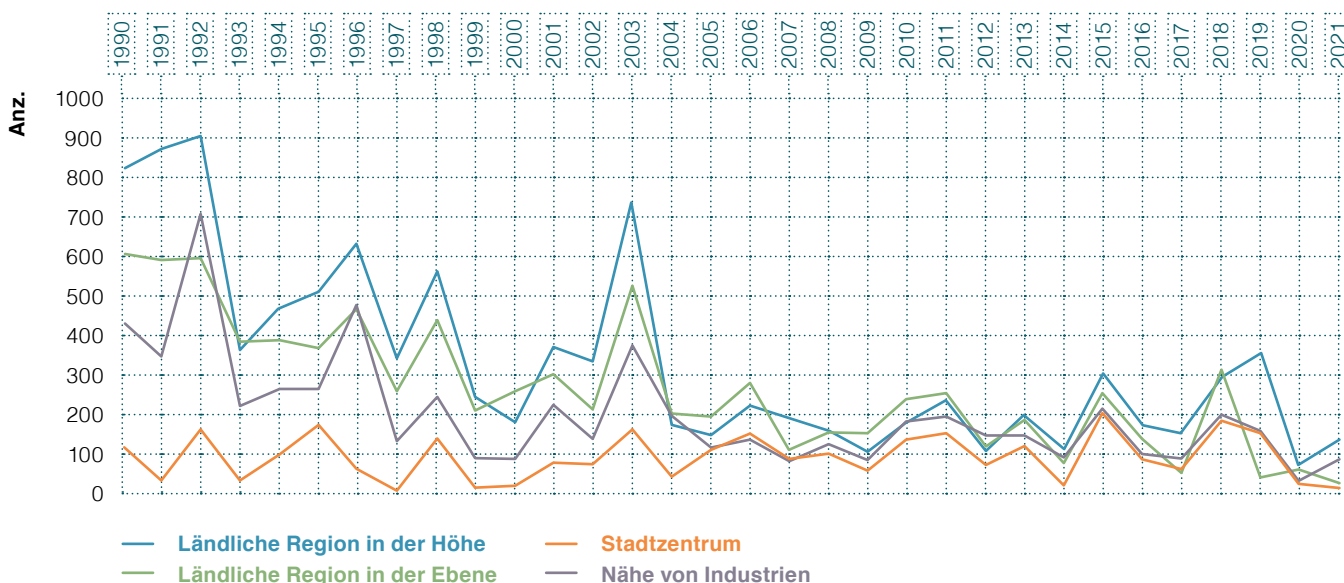
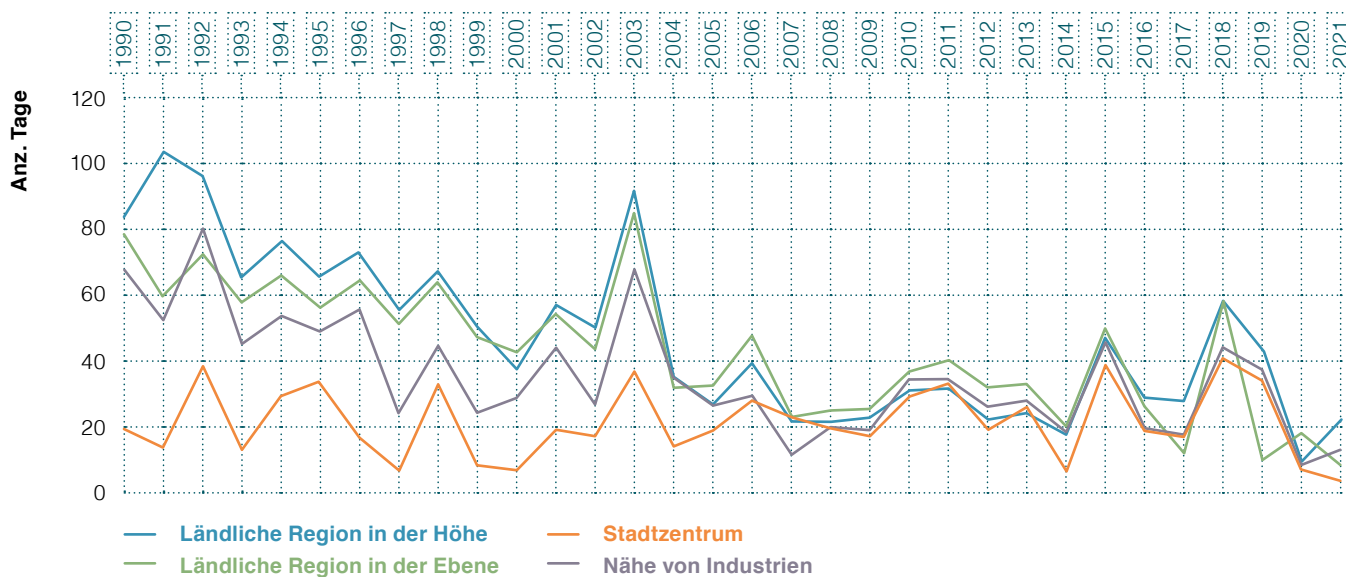
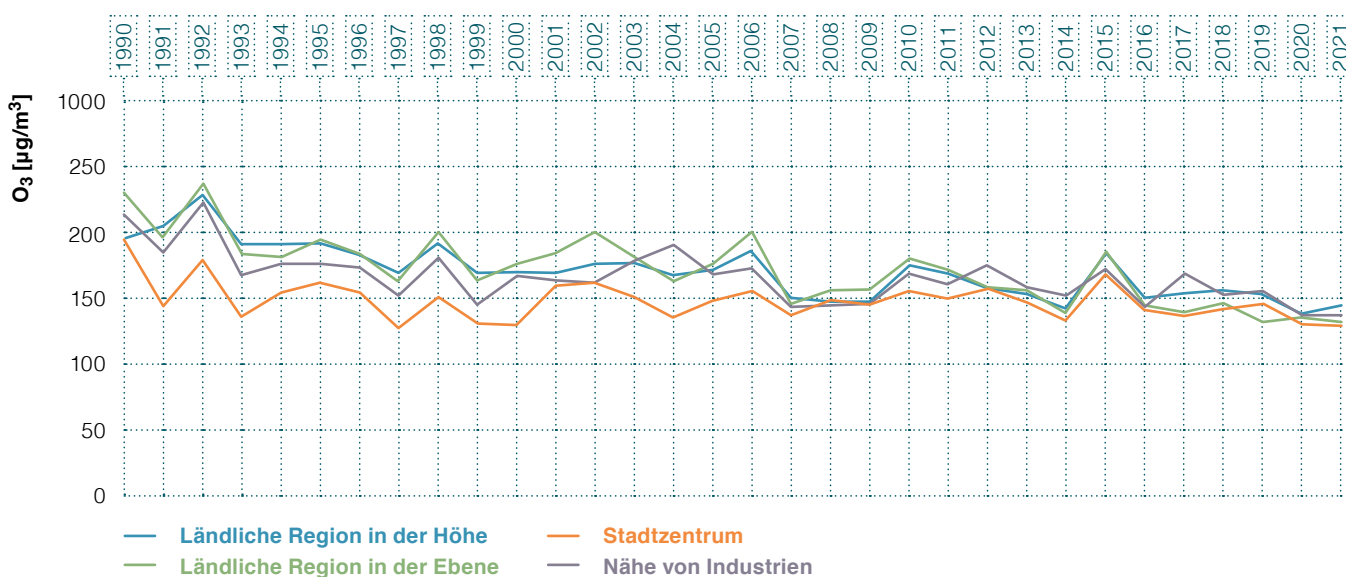


ABBILDUNG 5 - O₃, ANZAHL TAGE MIT STUNDEN ÜBER 120 µg/m³, REGIONALE MITTELWERTE

ABBILDUNG 6 - O₃, MAXIMALE STUNDENSPITZENWERTE NACH JAHRENNACH JAHREN


Ozon ist ebenfalls ein Treibhausgas. Seine Fähigkeit, Infrarotstrahlen in der Troposphäre zu absorbieren, trägt zu diesem Phänomen bei. Aufgrund seiner relativ kurzen Lebensdauer beeinflusst es das Klima nur sporadisch, wenn seine Konzentrationen in der Luft hoch sind.

4.4. AOT 40

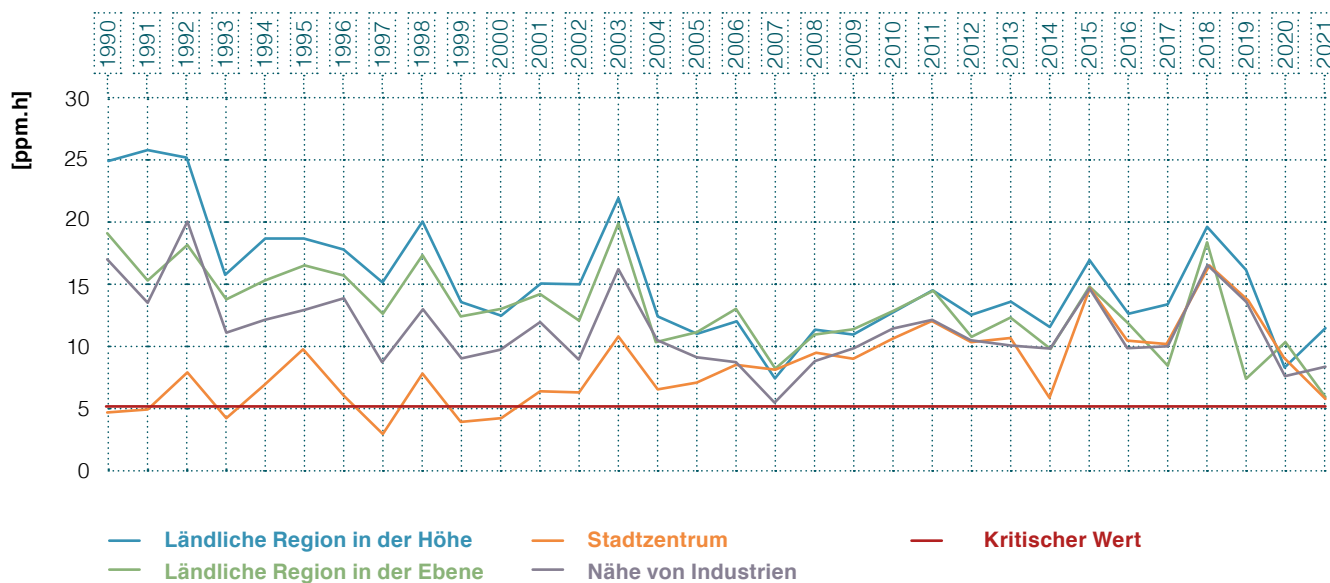
Die Auswirkung von Ozon auf die Vegetation hängt von der Konzentration dieses Schadstoffs während der Wachstumsperiode von Frühlingsbeginn bis Sommerende ab. Sie wird mithilfe des AOT 40 geschätzt, der der kumulativen Exposition über dem Schwellenwert von 40 ppb im Zeitraum von April bis September entspricht.

Der kritische Wert für den Schutz von Wald und Kulturland liegt bei 5 ppb*h. Bei höheren Konzentrationen leidet die Vegetation: Nekrose auf den Blättern, geringerer Ernteertrag, Schwächung der Wälder. Ozon ist neben Ammoniak und Stickoxiden der schädlichste Luftschadstoff für Ökosysteme. Die Ozonbelastung führt zu Ertragseinbußen in der Landwirtschaft. Das BAFU schätzte die Ertragseinbußen im Jahr 2019 je nach Region und Kultur auf 5% bis 15%. Für Weizen gab das Bundesamt, basierend auf einer Studie von Agroscope, eine durchschnittliche

Ertragsminderung von 3% für die Schweiz an [1]. Hohe Ozonwerte beeinträchtigen auch die Biodiversität. Sie wirken sich auf die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften aus und verändern die Blütezeit und die Samenproduktion.

Im Jahr 2021 lagen die Werte zwischen 5,6 und 11,4 ppmxh (Abbildung 7). Der allgemeine Rückgang im Jahr 2020, der in der ländlichen Region in der Ebene bereits 2019 zu verzeichnen war, bestätigt sich. Die Werte für 2020 und 2021 liegen etwa bei der Hälfte der Werte von 2018 und 2019. Der kritische Wert wurde an allen Standort-Typen überschritten, wie jedes Jahr seit 2001. Aber in der ländlichen Region in der Ebene und im Stadtzentrum stiegen die Werte 2021 fast an die Grenze. Die Kulturen in der Ebene im Wallis litten somit deutlich weniger unter dem Ozon als in den Vorjahren.

ABBILDUNG 7 - AOT 40 IN DEN JAHREN 1990 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE



Die höchsten Werte resultieren aus Episoden mit ausgeprägter Ozonbelastung, die in sehr sonnigen und warmen Sommern oder bei starken und langanhaltenden Hitzewellen auftraten, d.h. 2003, 2015, 2018 und 2019. Für die ländliche Region in der Ebene ist der Wert 2021 mit 5,6 ppmxh der niedrigste seit Beginn der Mes-

sungen. Der Wert für die ländliche Region in der Höhe liegt wieder auf demselben Niveau wie früher, als sie die Regionen mit der am stärksten beeinträchtigten Vegetation anführte. Insgesamt war die Beeinträchtigung im vergangenen Jahr die schwächste seit 2008.

5. 5. FEINSTAUB - PM10

5.1. Steckbrief

Feinstaub bleibt dauerhaft in der Luft schweben und ist ein Hauptproblem für die Luftreinhaltung. Als PM10 werden Feinpartikel mit einem Durchmesser von weniger als zehn Mikrometer ($<10\text{ }\mu\text{m}$) bezeichnet. Es gibt primäre Partikel, die direkt aus Quellen wie Verbrennung oder Abrieb stammen, und sekundäre Partikel, die in der Luft aus Vorläufergasen durch Nukleations-, Kondensations- und Koagulationsprozesse gebildet werden. Dieser Staub kann wegen seiner geringen Grösse bis tief in die Atemwege eindringen. Diejenigen mit einem Durchmesser von 2,5 bis $10\text{ }\mu\text{m}$ gelangen bis in die Bronchien.

Die Liste der gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch diese Luftverschmutzung ist lang. Bronchitis, Husten, Kurzatmigkeit und Asthma gehören zu den Atemwegserkrankungen, die sie verursacht. Hohe PM10-Konzentrationen erhöhen die Sterblichkeitsrate durch Krebs und Herzkrankungen. 2013 zeigte eine Schweizer Studie, dass ihr Anstieg um $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ für durchschnittlich 2 bis 4 Tage zu Notfallkrankhauseinweisungen wegen Herz-Kreislauf-Störungen und allgemeinmedizinischen Problemen führt. Sie treten mit einer Verzögerung von mindestens 2 Tagen auf, was Lungenkrankungen betrifft.

Im Wallis betrugen die Emissionen von primären PM10-Partikeln im Jahr 2020 459 Tonnen. 22% der Emissionen stammen aus dem motorisierten Verkehr, 10% aus Heizungen, 9% aus Industrie und Gewerbe und 7% aus der Natur und der Tierhaltung. Andere Quellen, vor allem die Land- und Forstwirtschaft, das Baugewerbe und der Schienenverkehr, tragen 52% bei (Abbildung 8).

FEINSTAUB PM10 - AUF EINEN BLICK

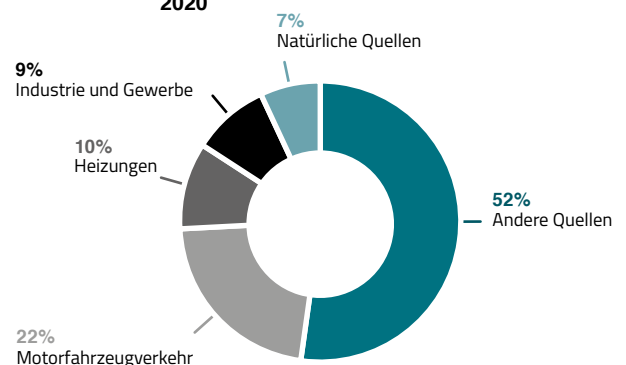
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	👍	gut
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	👍	gut
STADTZENTRUM	👍	gut
NÄHE VON INDUSTRIEN	👍	gut

Fast die Hälfte der PM10-Belastung in der Luft besteht aus sekundären Feinstaubpartikeln, die auch als sekundäre Aerosole bezeichnet werden [1]. Feinstaub enthält zahlreiche chemische Komponenten: anorganische Salze (Sulfate, Nitrate, Ammonium, Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^-), organisches Material und elementaren Kohlenstoff - darunter krebserregende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Metalle (krebserregendes Cd, chronisch neurotoxisches Pb, Fe, Cr, Zn usw.) und viele andere.



Bei den Aktivitäten im Offroad-Sektor wird Staub aus Dieselmotoren und Abrieb freigesetzt.

ABBILDUNG 8 - PRIMÄRE PM10-EMISSIONEN IM WALLIS 2020



Offroad-Sektor (z. B. Baumaschinen, motorisierte Maschinen und Geräte in der Land- und Forstwirtschaft, Luft- und Bahnverkehr), Grastrocknung, Feuer im Freien, Feuerwerk, Lösungsmittel, illegale Abfallverbrennungen. Daten: Kantonales Emissionskatalog (Cadero).

5.2. ERGEBNISSE 2021

Zur Messung der PM₁₀-Konzentrationen in der Umgebungsluft im Wallis werden unterschiedliche Analyse-Methoden angewendet: die Gravimetrie «High Volume» (HVS), die Beta-Absorption und optische Partikelzählungen (s. Anhang 2 Tab. 3 und 4). Um den Jahresvergleich der Zahlen zu gewährleisten, werden die Ergebnisse der kontinuierlichen Messung (Beta-Absorption, optische Partikelzählung) mit den täglichen Proben aus der Gravimetrie HVS abgeglichen. Hierbei handelt es sich um ein von der EMPA bewilligtes Berichterungsverfahren.

Der Jahresgrenzwert von 20 µg/m³ wurde an allen Standort-Typen klar eingehalten (Tabelle 4). Hingegen wurde der Tagesgrenzwert

von 50 µg/m³ 2021 mehrmals überschritten. Die Überschreitungen waren alle mit Saharasand-Ereignissen verbunden, ausser eine von vier in Saxon. An dieser Station und an der Station Brigerbad und somit für die ländlichen Regionen in der Ebene und in der Nähe von Industrien war **die LRV-Situation nicht mit den Begrenzungen konform**. An der Station Saxon ist die Überschreitung am 21. März der Grund dafür. Sie stammt nicht vom Saharasand. Während der Frostepisode in der Nacht vom 20. auf den 21. März wurden Paraffin-Frostkerzen eingesetzt, um die Obstbäume vor den eisigen Nachttemperaturen zu schützen, woraus sich Russ bildete, welcher zu übermässigen Feinstaubkonzentrationen führte, die über den Tag in der Ebene des Mittelwallis zu messen waren.

TABELLE 4 - PM₁₀, ERGEBNISSE 2021

REGIONEN	STATIONEN	PM ₁₀			Blei Jahresmittel Pb [ng/m ³]	Cadmium Jahresmittel Cd [ng/m ³]
		Jahresmittel [µg/m ³]	Anzahl Tage > 50 µg/m ³	Tageshöchstwert [µg/m ³]		
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	Les Giettes	7.2	3	68	1	0.04
	Eggerberg	11	3	103	2	0.04
	Montana	10	3	95	1	0.02
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	Saxon	14	4	75	2	0.05
STADTZENTRUM	Sitten	15	3	82	2	0.05
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	14	3	79	3	0.06
	Brigerbad	13	4	117	3	0.07
LRV-NORM		20	3	50	500	1.5

Die niedrigsten Jahresmittelwerte weisen die Stationen in der Höhe auf, die sich oberhalb der Temperaturumkehr befinden, welche die Verschmutzung einfangen und im Winter bis auf ca. 1000 m ü. M. liegen. Jener von Les Giettes ist regelmässig der tiefste. Die ländliche Station auf 1140 m Höhe liegt abseits wichtiger lokaler Feinstaubquellen und repräsentiert die Grundqualität der Luft in Höhenlage. Die Mittelwerte von 10 und 11 µg/m³ für Montana und Eggerberg sind etwas höher. Die erste Station grenzt an einen Tourismusort mit einer bedeutenden Anzahl von Verschmutzungsquellen, die insbesondere Feinstaub erzeugen. Die andere liegt im Oberwallis auf 840 m ü. M. und bleibt daher nicht immer von den Auswirkungen der Schadstoffakkumulation bei Inversionslagen

verschont. Sie weist einen leicht höheren

Wert als Montana auf. 2021 kann die Feinstaubbelastung in den ländlichen Regionen in der Höhe als gering eingestuft werden, während sie in den übrigen Regionen des Wallis mässig ist.

Die Darstellung der PM₁₀-Belastung weicht von den obigen Schlussfolgerungen ab, wenn man die Tageswerte betrachtet. Die Bandbreite der Höchstwerte reicht von 68 bis 103 µg/m³ in der Höhe und von 75 bis 117 µg/m³ in der Ebene. Die Anzahl der Tage, an denen die Tageshöchstwerte überschritten wurden, lag in allen Regionen zwischen drei und vier. Bei dieser Betrachtungsweise ist

die Luftqualität in den Bergen nicht eindeutig besser. Diese Beobachtung lässt sich durch den Ursprung der grenzüberschreitenden Werte erklären.

Sie sind alle mit Saharasand-Ereignissen verbunden. Von den 23 Tagesüberschreitungen, die im Jahr 2021 an den Resival-Stationen festgestellt wurden, sind 22 auf sie zurückzuführen. Diese Verschmutzung kommt von oben aus der freien Atmosphäre und die höher gelegenen Regionen sind nicht besser davor geschützt.

Seit 2014 gab es nur 2018 eine Pause im Kampf gegen den für die Obstproduktion im Wallis schädlichen Frühlingsfrost. Die Wetterbedingungen, die es erlaubten, diese Schutzmassnahmen im März und April zu vermeiden, waren nur in einem von acht Jahren günstig. Im Jahr 2021 führten zwei Nächte zu einer ausgeprägten PM10-Belastung, die von Resival aufgezeichnet wurde: die Nächte vom 20. auf den 21. März und vom 7. auf den 8. April. Nur die Station Saxon, welche die ländlichen Regionen in der Ebene qualifiziert, wies in diesen Nächten Werte auf, die einen LRV-Verstoss darstellten. Der Temperaturfühler der Station, der sich 2 m über dem Boden befindet, mass am 21. März um 6.30 Uhr morgens $-4,2^{\circ}\text{C}$ und am 8. April zur gleichen Zeit -2°C . Während des stärksten Frostes wurden die höchsten Feinstaubkonzentrationen gemessen, mit einem Spitzenwert von $510\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ um 5 Uhr morgens. Am 8. April erreichte ihr Maximum $193\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Frostkerzen, die im März während der für eine extensive Bewässerung ungünstigen Blütezeit vor allem an den Hängen mobilisiert wurden, führten zu einer Nichtkonformität, die sich schliesslich am Ende des Son-

tags, dem 21. März, in einem Tageswert der PM10-Belastung von $64\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ niederschlug.

Der Rauch von Frostkerzen ist dafür bekannt, dass er krebserregenden Russ enthält. Aus diesem Grund und um die Schadstoffemissionen zu reduzieren, entwickelte die kantonale Dienststelle für Landwirtschaft einen Prototypen für einen Pellet-Frostofen. Sie beauftragte die DUW mit der Durchführung von Messungen. Die Studie ermittelte insbesondere einen Massenstrom der Staubemissionen pro Heizgerät von 1 g pro Stunde im besten Fall (Holzpelletrohr) und bis zu 7 g pro Stunde im schlechtesten Fall (Paraffin-Frostkerzen aus Erdölfraktionen, aber auch aus handelsüblichem Kerzenwachs). Wenn man von einem strikten Minimum von 200 Frostschutzkerzen pro Hektar ausgeht, um den Frost mit einiger Wahrscheinlichkeit erfolgreich zu bekämpfen, belaufen sich die Staubemissionen auf mindestens 200 g pro Stunde und Hektar. Dieses Emissionsniveau ist vergleichbar mit dem stündlichen PM10-Ausstoss von 2 bis 4 grossen modernen Holzheizanlagen mit einer Leistung von jeweils 3 bis 6 MW. Während die weitaus grössere Wärme, die von diesen Anlagen erzeugt wird, mit minimalen Wärmeverlusten zu den Nutzniessern gelangt, weist die Wärme aus den Frostöfen auf dem Feld enorme Verluste auf. Angesichts der unzuverlässigen Effizienz von Frostkerzen und des schlechten Verhältnisses zwischen Nutzen und Umweltauswirkungen bleibt eine bessere Luftqualität bei der Bekämpfung von Frühjahrsfrost ein Ziel, das es zu erreichen gilt.

5.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Alle Werte seit 1999 wurden mittels der Gravimetrie-Referenzmethode (s. oben) ermittelt und sind daher direkt vergleichbar. Insgesamt haben sich die PM10-Konzentrationen zwischen 1999 und 2006 nur geringfügig verändert. Seit 2006 lässt sich an allen Standort-Typen im Jahresmittel eine klar rückläufige Entwicklung beobachten (Abb. 9), was auch der landesweiten Tendenz (s. Ergebnisse NABEL [1]) entspricht. Der deutliche Rückgang von 2021 gegenüber 2006 reicht von 37% in den ländlichen Regionen in der Höhe bis zu 47% in Industrienähe. Im Jahr 2021 und seit 2014 wurde die Jahresbegrenzung, d.h. der Langzeit-Grenzwert, im gesamten Kanton zum achten Mal in Folge eingehalten. Allerdings stagnieren die Werte seit 2016 in der Höhe und seit 2018 auch in der Ebene. Ausgenommen in Industrienähe zeigen die jüngsten Werte einen leichten Anstieg im Vergleich zum Vorjahr. Die sehr hohen Werte im Februar, die mit dem Saharasand-Ereignis zusammenhängen, sind eine Hauptursache für diesen Anstieg, der im Jahr 2021 im Vergleich zu 2020 von $+0,5$ bis $+1,5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Jahresmittelwerte nach Region reicht.

Die Anzahl der Tageswert-Überschreitungen hatte 2017 aufgrund häufiger Inversionswetterlagen im Januar und Februar wieder an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 2019, und zum ersten Mal seit Beginn der Messungen im Jahr 1999, wies keine der Resival-Stationen einen Tageswert auf, der die Norm überschritt.

2020 konnte dieses hervorragende Ergebnis nicht wiederholt werden, aber die Anzahl der Überschreitungen pro Station und Standort-Typ lag innerhalb der seit der LRV 2018 bestehenden Toleranz von maximal 3 Tagen. Im Jahr 2021 wurden die Tagesgrenzwerte der Verordnung wieder nicht eingehalten, da an den beiden Stationen Saxon und Brigerbad 4 Überschreitungstage verzeichnet wurden (Abbildung 10). Obwohl die Saharasand-Einträge natürlichen Ursprungs sind, stellen sie im Übermass eine greifbare Verschmutzung dar. Sie bestehen aus halbkropischen Quarzkörnern und setzen sich hauptsächlich aus Silizium und Sauerstoff zusammen. Sie verursachen Gesundheitsschäden durch Entzündungen der Atemwege. Diese Partikel weisen Grössen auf, die den Grenzwert von $10\text{ }\mu\text{m}$ für PM10 überschreiten. Sie reichen bis zu $100\text{ }\mu\text{m}$ für feinen Sand und verursachen eine starke sichtbare Trübung der Atmosphäre, da das menschliche Auge Aerosole ab einem Durchmesser von 10 bis $40\text{ }\mu\text{m}$ erkennt. Die drei Wellen im Februar und März 2021 stellen ein wahrscheinlich aussergewöhnliches Ereignis dar. Die Häufigkeit starker Einbrüche von Saharasand könnte jedoch mit der globalen Erwärmung zunehmen, da interkontinentale Staubtransporte durch die höhere Energie in der Atmosphäre begünstigt werden. Die Emissionen aus anthropogenen Treibhausgasquellen sind der Beitrag der menschlichen Aktivitäten zu diesem Phänomen.

ABBILDUNG 9 - PM10, REGIONALE JAHRESMITTELWERTE VON 1999 BIS 2021

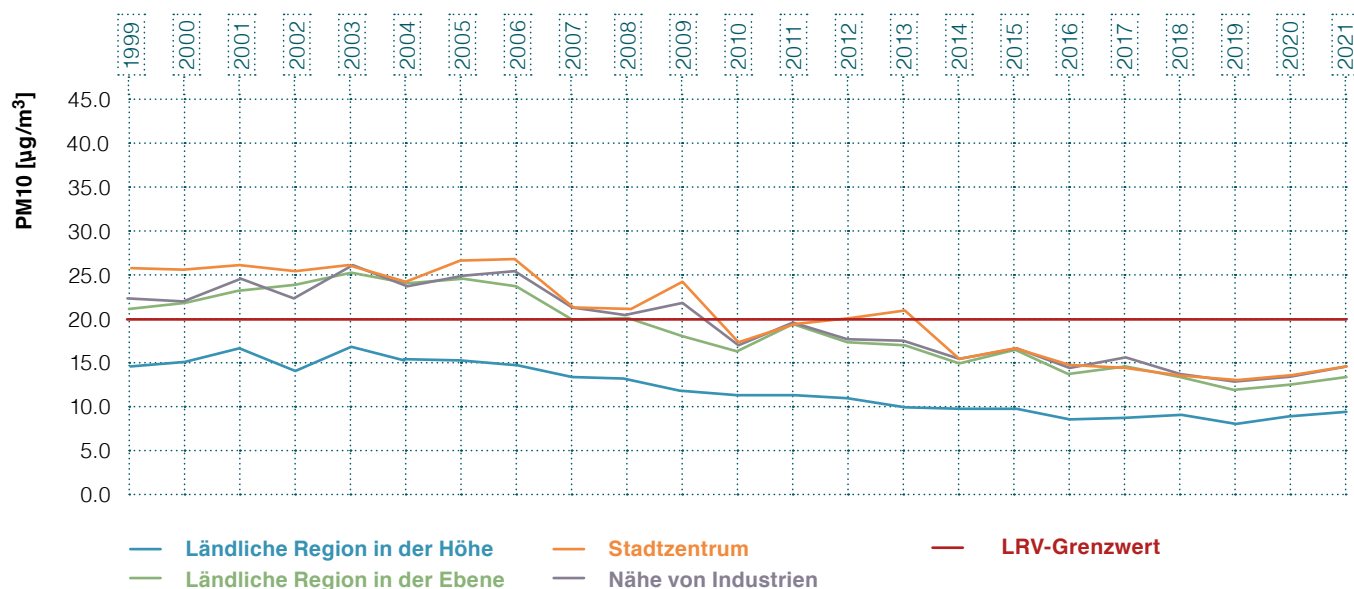
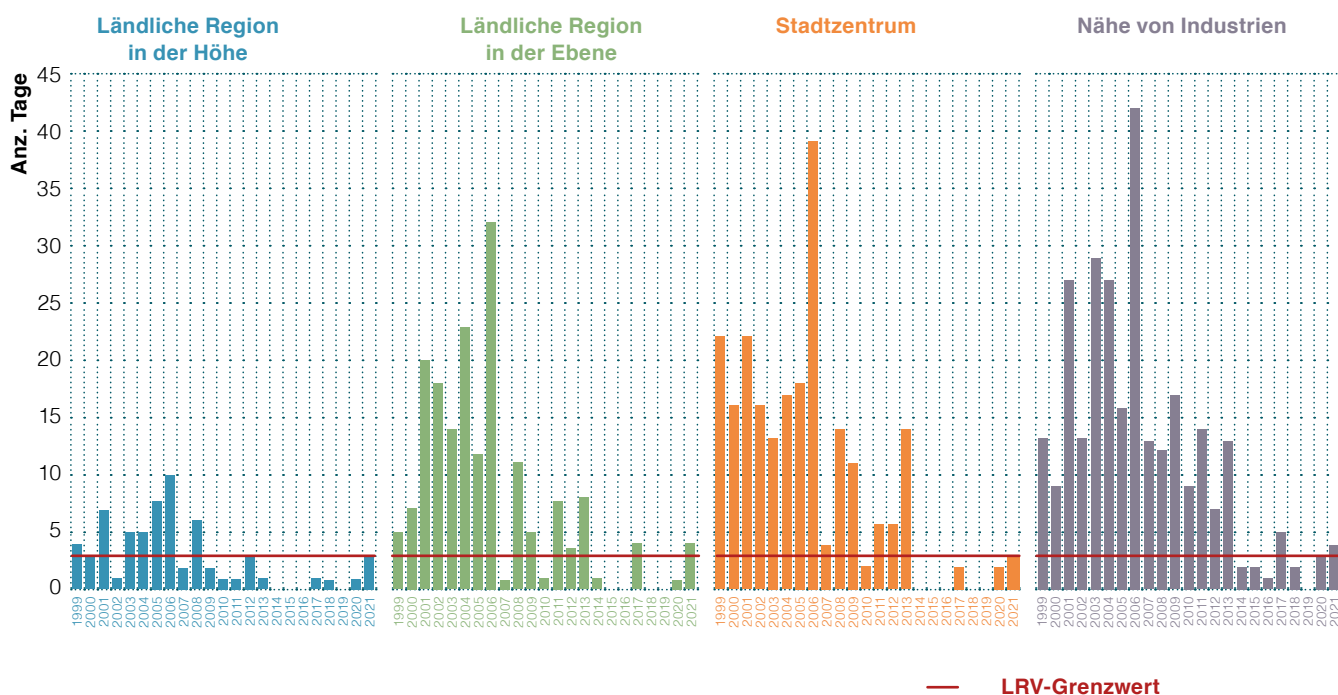


ABBILDUNG 10 - PM10, ANZAHL TAGE > 50 MG/M3, REGIONALE HÖCHSTWERTE (ROTE LINIE: TOLERANZ VON 3 T.)



Gemäss Emissionskataster stammen 41% der 2020 im Kanton ausgestossenen primären Feinstaubmengen von Maschinen des Offroad-Bereichs, die z. B. auf Baustellen, in der Land- und Forstwirtschaft sowie in Steinbrüchen und Kieswerken zum Einsatz kommen. Sie sind in Abbildung 8 unter «andere Quellen» enthalten. Zu einem überwiegenden Teil (58%) stammt primärer Feinstaub allerdings aus Emissionen verschiedener Arten von Abriebprozessen, wie Brems- und Reifenabrieb. Daran sind zwei Bereiche, der Strassenverkehr und der Offroad- Bereich, beteiligt, mit 67 und 33% an den insgesamt ausgestossenen Abriebpartikeln. Im Jahr 2020 waren die wichtigsten primären PM10-Quellen ohne Abriebprozesse Heizungen (24%), wobei 97% der Emissionen auf Holzfeuerungen entfielen, Industrie (22%), Natur und Tierhaltung (16%), während der Rest (25%) hauptsächlich aus verschiedenen Lösungsmitteln, dem Trocknen von Gras und auch aus verbotenen Feuern stammte. Der Hauptgrund für die Notwendigkeit, die Emissionen von Holzheizungen in die Luft so gering wie möglich zu halten, ist der krebserregende Russ, der durch die unverbrannten Partikel, die bei der normalen Verbrennung von Holz entstehen, mittransportiert wird.

Die sekundären PM10-Partikel werden aus Vorläufergasen gebildet, vor allem aus Schwefel (SO_x) und Stickoxiden (NO_x) sowie Ammoniak (NH_3). Sie reagieren in der Atmosphäre zu Sulfat-, Nitrat- und Ammoniumverbindungen, d. h. zu sekundären anorganischen Aerosolen. Die Oxidation von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) führt zu weniger flüchtigen Verbindungen, d. h. zu sekundären organischen Aerosolen. In der Ebene liegen die Werte der Luftverschmutzung zwischen Stadt und Land bei PM10 (Abbildung 9) näher beieinander als bei Stickstoffdioxid (Abbildung 21). Dies ist auf die sekundären Partikel zurückzuführen, die sich langsamer und in grösserer Entfernung von den Quellen bilden als NO_2 und sich dann aufgrund ihrer längeren Lebensdauer weiter verbreiten.

Der Rückgang der PM10-Werte in den letzten 15 Jahren ist in erster Linie auf Verbesserungen des Stands der Technik bei den Prozessen zurückzuführen, die Luftpartikel erzeugen. So werden beispielsweise Fahrzeuge und Maschinen mit Verbrennungsmotoren nach strengeren Normen hergestellt, um die Abgase zu reduzieren. Die Luftreinhalte-Verordnung hat diese Fortschritte seit 2007 durch schrittweise restriktivere Bestimmungen gefördert und wenn nötig erzwungen. Dabei wurden alle Schadstoffquellen anvisiert, insbesondere Holzheizungen, stationäre Motoren, mobile Dieselmotoren auf Baustellen oder in anderen Betrieben. Wenn die Massnahmen die Staubemissionen an einer Feuerungsanlage oder an einem Motor nicht ausreichend reduzieren, stehen verschiedene Abgasreinigungstechniken zur Verfügung, z. B. die gesamte Palette der auf dem Markt erhältlichen Partikelfilter.

Die grössten Reduktionen der PM10-Komponenten in den letzten 20 Jahren wurden bei Sulfaten und krebserregendem Russ, der aus elementarem Kohlenstoff besteht, verzeichnet [2]. Sie sind auf den geringeren Schwefelgehalt in Kraft- und Brennstoffen, die Einführung von Partikelfiltern bei Dieselmotoren und die geringeren Emissionen von Holzheizungen zurückzuführen. Umgekehrt haben die relativen Anteile von organischem Feinstaub sowie von mineralischen Partikeln zugenommen. Letztere haben ihren Ursprung in den Staubaufwirbelungen, die durch den Strassenverkehr und den Verschleiss von Bremsen und Strassen verursacht werden, aber auch in der Natur durch den Windabrieb von Gestein.

Die Schwermetall-Anteile von Blei und Cadmium im Feinstaub liegen weit unter den Jahresgrenzwerten (Abb. 11 und 12). Mit Ausnahme einiger Anstiege, wie z. B. beim Cadmium im Jahre 2010, schwanken die Konzentrationen von Jahr zu Jahr nur leicht.

ABBILDUNG 11 - BLEI IN ng/m^3 IM PM10 VON 2001 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE

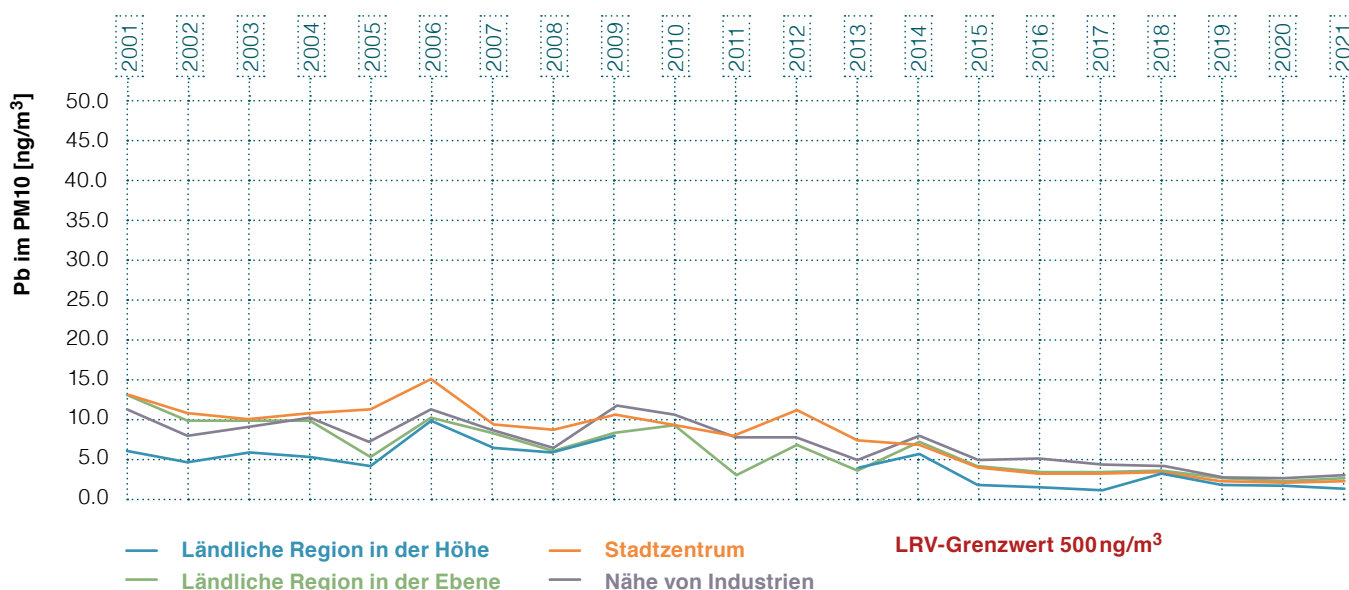
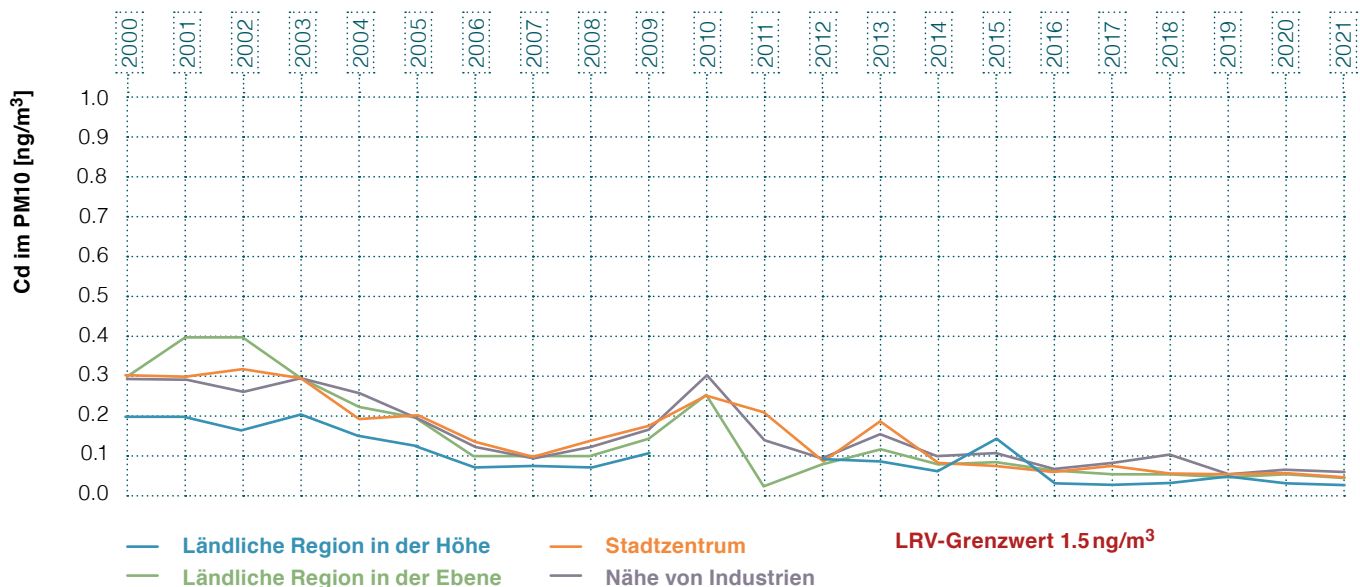


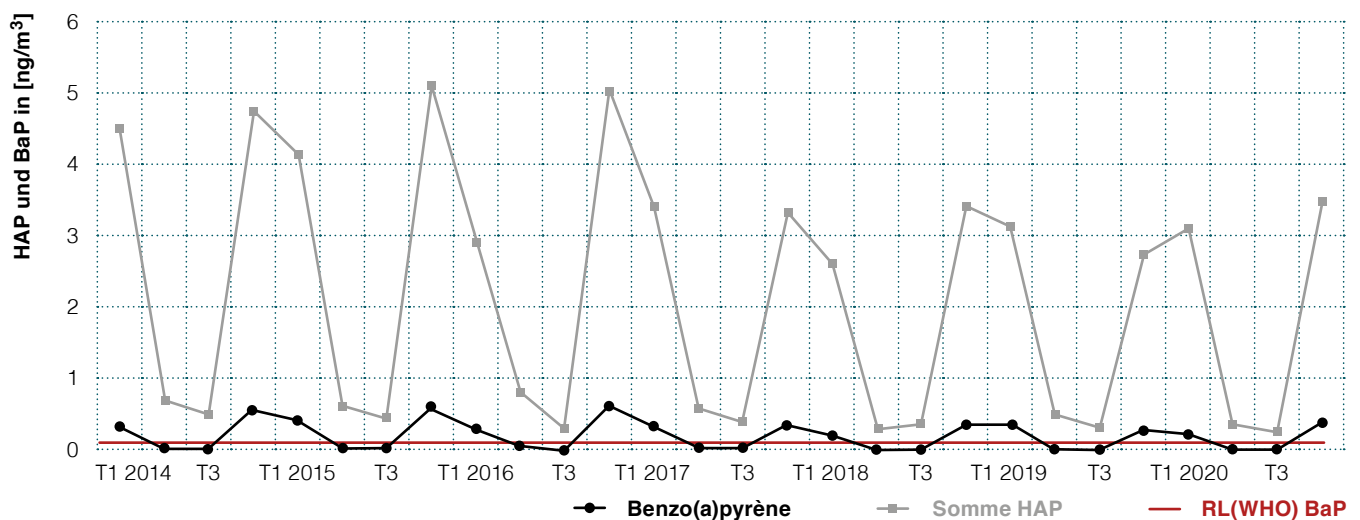
ABBILDUNG 12 - CADMIUM IN ng/m^3 IM PM10 VON 2001 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE



Im Feinstaub sind Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) enthalten, die hauptsächlich bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials (Holz, Benzin, Diesel, Heizöl) entstehen. Die EMPA beschreibt seit 2006 jährlich 11 einzelne PAK an der eidgenössischen Messstation in Sitten [3]. Die beiden in der LRV der krebserzeugenden Klasse zugeordneten PAK, Di-Benzo(a,h)anthracen (DahA) und vor allem Benzo(a)pyren (BaP), tragen 65% bis 70% zur Gesamtoxität der PAK in PM10 bei. Für BaP wird ein Jahresgrenzwert von 1 ng/m^3 empfohlen (europäische Richtlinie 2004/107/EG). Er wird seit Beginn der Messungen eingehalten.

Die WHO hat das Referenzniveau (RL, reference level) für BaP auf 0.12 ng/m^3 im Jahr festgesetzt. Der RL ist als Schwellenwert definiert, ab dem die erhöhte Gefahr einer Krebserkrankung besteht, bei einer Standard-Lebenserwartung und einer tolerierbaren Zahl von 1 Krebserkrankung auf 100'000. Seit 2017 wird dieser Wert in Sitten mässig überschritten. Die Ergebnisse stagnieren zwischen 25% und 50% über der Norm. Im Jahr 2020 wird der Wert mit 0.16 ng/m^3 um 33% überschritten. Abbildung 13 zeigt, dass es die winterlichen Gehalte von Oktober bis März sind, welche zur Überschreitung führen. Die jährliche PAK-Konzentration im Feinstaub betrug 1.78 ng/m^3 bei einem Jahresdurchschnitt von 15 µg/m^3 PM10 an der NABEL-Station (Resival Sitten 2020: 13 µg PM10/m^3). Es gibt also 0,012 Massenprozent PAK in PM10. Dieser Anteil ist in den letzten Jahren ungefähr konstant.

ABBILDUNG 13 - ERGEBNISSE 2014 - 2020 FÜR PAK UND BENZO(A)PYREN AN DER NABEL-MESSSTATION IN SITTEN



6. FEINSTAUB - PM2.5

6.1. Steckbrief

Feinstaub PM2.5 hat einen Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern ($< 2,5 \mu\text{m}$). Da er kleiner ist als PM10 bei ähnlicher Dichte, unterliegt dieser Schadstoff weniger der Erdanziehungskraft und bleibt daher leichter in der Luft schweben. Er besteht ebenfalls aus primären Partikeln, die direkt in die Luft abgegeben werden, und aus sekundären Partikeln, die aus Vorläufergasen gebildet werden. Er steht am ehesten für Verbrennungsquellen, da diese Partikel erzeugen, die kaum grösser als $1 \mu\text{m}$ sind.

PM2.5 stellen ein grösseres gesundheitliches Problem dar als PM10. Neben Entzündungsreaktionen werden sie in der Schweiz ab einer Konzentration zwischen 7.5 und $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für schätzungsweise 3500 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verantwortlich gemacht. Im Wallis sind es rund 100 Fälle pro Jahr. Ohne diese Belastung schätzen die Gesundheitsbehörden die durchschnittliche Lebenszeitverlängerung auf 13 bis 14 Jahre. PM2.5 wirkt sich stärker auf das Herz-Kreislauf-System aus und dringt tiefer in die Lunge, bis in die Alveolen, ein. Die Fraktion der ultrafeinen Partikel ($< 0.1 \mu\text{m}$) kann die Luft-Gewebe-Schranke durchdringen und in das Blut gelangen. Wenn sie die Blut-Hirn-Schranke zwischen dem Blutssystem und dem Gehirn überwinden, kann es zu Hirnschäden kommen.

Im Wallis beliefen sich die primären PM2.5-Emissionen im Jahr 2020 auf 154 Tonnen, was 34% der PM10-Emissionen entspricht. Der motorisierte Verkehr trägt 29% zu den Emissionen bei, Heizungen 20% und andere Quellen 49% (Abbildung 14). In diesen Bereichen gibt es Anlagen, Maschinen und Fahrzeuge, die mithilfe von Verbrennungsprozessen betrieben werden. Das Fehlen des Industriesektors bedeutet nicht, dass er frei von Emissionen ist; seine Staubemissionen werden aber als PM10 -Lasten verbucht.

FEINSTAUB PM2.5 - AUF EINEN BLICK

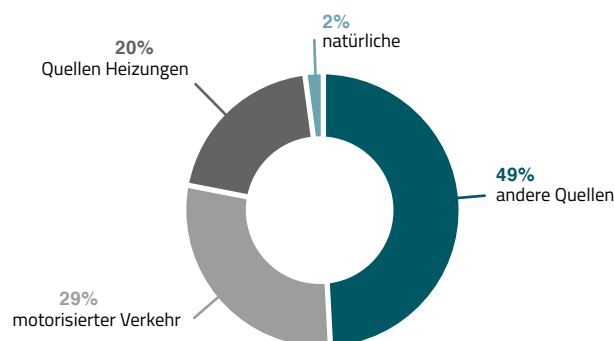
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE		gut
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE		mittel
STADTZENTRUM		mittel
NÄHE VON INDUSTRIEN		gut

Die chemische Zusammensetzung von PM2.5 ist ähnlich wie die von PM10, aber der relative Anteil des Sekundärstaubs ist höher, da er sich stärker an die feinere Fraktion der Partikel bindet. Dagegen ist der relative Beitrag des Mineralstaubs in PM10 höher. Par contre, la contribution relative des poussières minérales est plus importante dans les PM10.



Feuer im Freien, und hauptsächlich mit Stückholz betriebene Klein-Holzheizungen, stossen grosse Mengen PM2.5 aus.

ABBILDUNG 14 - PRIMÄRE PM2.5-EMISSIONEN IM WALLIS 2020



Offroad-Sektor (z. B. Baumaschinen, motorisierte Maschinen und Geräte in der Land- und Forstwirtschaft, Luft- und Bahnverkehr), Grastrocknung, Feuer im Freien, Feuerwerk, Lösungsmittel, illegale Abfallverbrennungen. Daten: Kantonales Emissionskatalog (Cadero).

6.2. ERGEBNISSE 2021

Von 2015 bis 2017 wurden die Feinpartikel PM_{2.5} an der Station Montana mit der HVS.-Gravimetriemethode gemessen. Seit Juni 2018 ist in der LRV ein jährlicher Immissionsgrenzwert (IGW) für diesen Schadstoff in Kraft. Dieser übernimmt den von der WHO vorgegebenen Wert und wurde auf 10 µg/m³ festgesetzt. Die WHO schreibt ausserdem einen Tagesgrenzwert von 25 µg/m³ vor, der höchstens an drei Tagen pro Jahr überschritten werden darf. Nach einer Übergangsphase im Jahr 2018 werden die PM_{2.5}-Messungen seit 2019 mit Hilfe von HVS-Gravimetrie und kontinuierlichen Analysegeräten an den ortsfesten Resival-Stationen durchgeführt,

ausser an jenen von Les Giettes und Eggerberg. Letztere hatten bis August 2021 keine HVS-Sammler für PM_{2.5}, und die kontinuierlichen Messungen erfolgten nur für PM₁₀. In diesen beiden Fällen ist der Jahresmittelwert eine indikative Bewertung, die mithilfe anderer Resival-Ergebnisse gewonnen wurde (siehe Kommentar zu Tabelle 5). Die LRV-Begrenzung wurde im Jahr 2020 an allen Stationen eingehalten, **wobei die Station in Saxon** welche die ländliche Region in der Ebene qualifiziert, an die Grenze stösst (Tabelle 5). Bei den Tageswerten werden die WHO-Richtwerte überall überschritten.

TABELLE 5 - PM_{2.5}, ERGEBNISSE 2021

REGIONEN	STATIONEN	PM _{2.5}		
		Jahresmittel [µg/m ³]	Anzahl Tage > 25 µg/m ³	Tageshöchstwert [µg/m ³]
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	Les Giettes	4.3*	-	-
	Eggerberg	6.3*	-	-
	Montana	6.1	6	37
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	Saxon	10	15	83
STADTZENTRUM	Sitten	9.3	8	42
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	8.5	5	34
	Brigerbad	8.9	14	47
LRV-NORM		10		
WHO-NORM		10	3	25

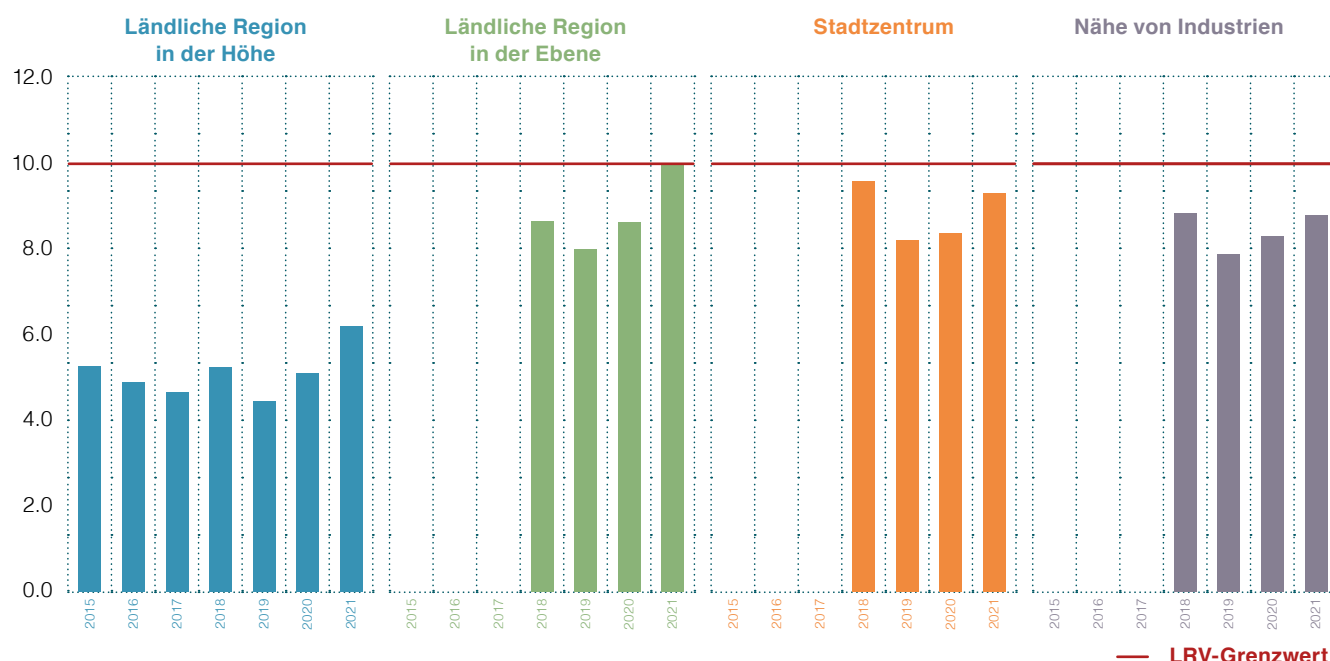
* Geschätzter Wert, basierend auf dem Jahreswert für PM₁₀ und auf einer Einschätzung des Verhältnisses PM_{2.5}/PM₁₀, in Abhängigkeit der durch die Referenzmethode für die Stationen Montana, Massongex und Brigerbad ermittelten Ergebnisse.

6.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Während die im Hinblick auf die 2018 neu eingeführte Jahresbegrenzung der LRV vorgenommenen Vormessungen in Montana auf eine sichere Einhaltung der Werte hinwiesen, stellen sich die Ergebnisse für 2018 und 2021 auf das ganze Kantonsgebiet gesehen weniger erfreulich dar (Abb. 15). Die Jahresbegrenzung wird in allen Regionen eingehalten, wobei die Luftverschmutzung nur in den Höhenlagen mässig ist. In städtischen und ländlichen Gebieten in der Ebene sowie in der Nähe von Industrien ist die Luftverschmutzung erheblich. Im Jahr 2018 lag die Belastung in Massongex am LRV-Grenzwert, 2021 in Saxon.

Die WHO-Tagesnormen wurden 2021 ebenso wie 2018 und 2020 an den Stationen in der Ebene nicht eingehalten. Im Jahr 2019 waren sie hingegen überall konform, unter Berücksichtigung der Toleranz von 3 Tagen pro Jahr, an denen der Grenzwert von 25 µg/m³ überschritten wurde. Dieses Jahr war das Jahr mit der geringsten PM_{2.5}-Belastung seit 2018. Die Ergebnisse der letzten vier Jahre deuten darauf hin, dass die PM_{2.5}-Werte relativ beständig sind. In der Ebene ist die Belastung immer noch signifikant, und 2021 war sie es auch an einigen Tagen in der Höhe.

ABBILDUNG 15 - PM_{2.5} 2018-2021, REGIONALE JAHRESMITTEL IN µg/m³



Die Einschätzung der Jahres-Verhältniszahl $[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$ wurde 2021 fortgesetzt. Dazu wurde die «HVS»-Gravimetrie mit zwei Geräten pro Station, jedes mit einem Filter der jeweils erwünschten Durchlässigkeit (PM_{2.5} oder PM₁₀) bestückt und dann die Fraktionen gleichzeitig ermittelt. In Montana beträgt die Verhältniszahl im Jahresmittel: 0.51 (± 0.04), 0.58 (± 0.04), 0.62 (± 0.05), 0.60 (± 0.05), 0.52 (± 0.04), 0.60 (± 0.04), 0.61 (± 0.05) von 2015 bis 2021. Die erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse gilt für ein Konfidenzintervall von 99 %. Sie liegt immer unter $\pm 10\%$. Mit derselben Methode wurden die jährlichen $[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$ -Verhältnisse in Massongex, Sitten, Saxon und Brigerbad seit 2017, 2018 bzw. 2019 bestimmt.

Pro Jahr reichen sie von 0.58 bis 0.73 und reichen im Durchschnitt über die Messperioden von 0.61 bis 0.69. Das allgemeine Verhältnis, das sich für die 5 Walliser Stationen ergibt, ist $[PM_{2.5}] / [PM_{10}] = 0.63$. Zum Vergleich: Ein durchschnittliches Jahresverhältnis von 0.71 gilt für die Messungen an den Nabel-Stationen in der Schweiz zwischen 1998 und 2011. Eine mineralische Umgebung, die regelmässig dem Windabrieb ausgesetzt ist und im Wallis vorherrscht, sowie trockenere Bedingungen als anderswo in der Schweiz begünstigen den Anteil des Grobstaubs zwischen 2.5 und 10 µm Durchmesser noch mehr (37% gegenüber 29% im gesamten Land).

7. ELEMENTARER KOHLENSTOFF (RUSS)

Der bei einer unvollständigen Verbrennung gebildete Russ besteht im Wesentlichen aus elementarem Kohlenstoff (EK), oder «black carbon» (BC). BC wird optisch definiert und umfasst vor allem EK, aber auch schweres organisches Material. Grosse BC-Quellen sind Dieselmotoren. Im vergangenen Jahrhundert war deren Rauch schwarz und undurchsichtig. Seit Beginn der Nullerjahre wurde diese Verschmutzung durch verbesserte Verbrennung und Gasreinigungssysteme (Partikelfilter) stark reduziert. Mikroskopische Russpartikel dringen tief in unsere Lunge ein und gelangen auch in unseren Blutkreislauf. Sie verursachen Erkrankungen der Atemwege und Beeinträchtigungen des Herz-Kreislaufsystems. In Agglomerationen ist Dieselmuss, aufgrund der organischen Moleküle, namentlich der PAK, die er mittransportiert, der Hauptrisikofaktor für Krebs.

Die im Bericht 2017 veröffentlichten EK-Werte basierten, angesichts der gewählten Analyseverfahren, auf BC-Ergebnissen. Der BC im PM₁ wurde kontinuierlich mit Hilfe eines Mehrwinkel-Absorptions-Photometers (MAAP) bestimmt und dann mittels eines Konversionskoeffizienten in EK-Werte umgerechnet. Dazu wurden in regelmässigen Abständen mit einem PM₁₀-Filter die EK-Konzentrationen während 24 Std. herausgefiltert und dann in einem thermo-optischen Verfahren (TOT-Methode) analysiert. Diese Methode wurde aufgegeben, weil der MAAP im Herbst 2017 einen irreparablen Schaden erlitt. Sie hatte den Vorteil, dass sie Tageswerte lieferte, aber den Nachteil, dass eine direkte Kalibrierung nicht möglich und eine unzuverlässige Umrechnung erforderlich war. Da der lufthygienische Zielwert ein Jahresmittelwert ist, wird seit 2018 eine geeignetere Methode angewandt. Sie kombiniert die kontinuierliche Probenahme von Schwebstaub auf Quarzfiltern mit

hilfe des optischen Analysegeräts zur Messung von Feinstaub mit der Bestimmung des EK, die mithilfe der TOT-Methode von einem Speziallabor durchgeführt wird. Dieses Verfahren liefert etwa zweiwöchige Mittelwerte und einen Jahresmittelwert. Die entsprechenden Ergebnisse flossen in die nachstehende Tabelle 6 ein.

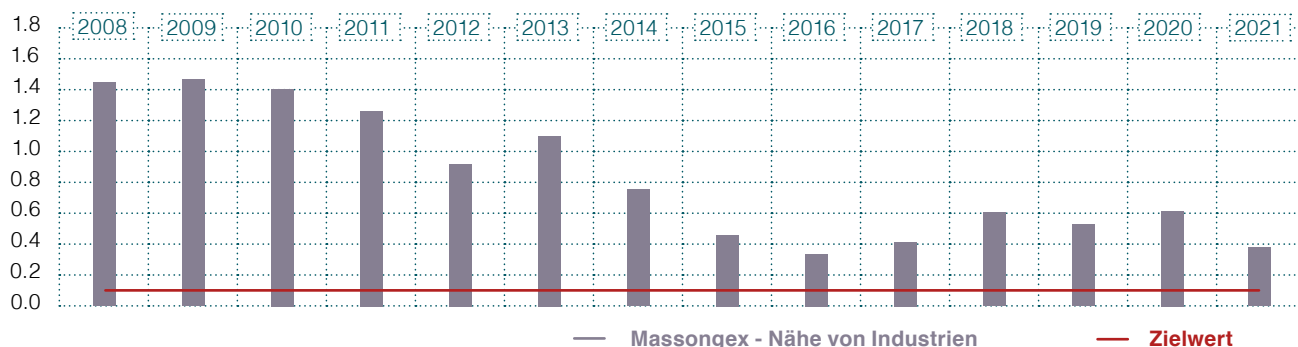


Ungereinigte Abgase aus Dieselmotoren sind grosse BC-Quellen.

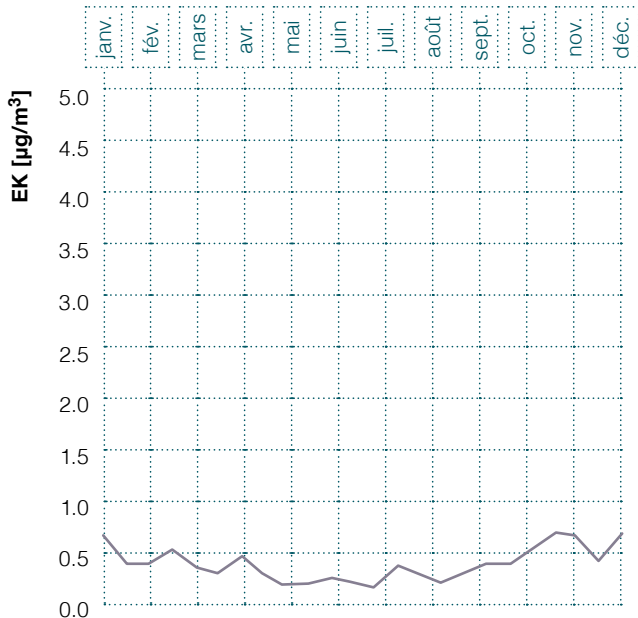
**TABELLE 6 - ELEMENTARER KOHLENSTOFF (EK),
ERGEBNISSE 2021**

REGIONEN	STATIONEN	Elementarer Kohlenstoff (EK)	
		Jahresmittel [µg/m ³]	Max. ~Zweiwöchige Mittelwerte [µg/m ³]
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	0.39	0.69

ABBILDUNG 16 - EK, JAHRESMITTELWERTE IN µg/m³

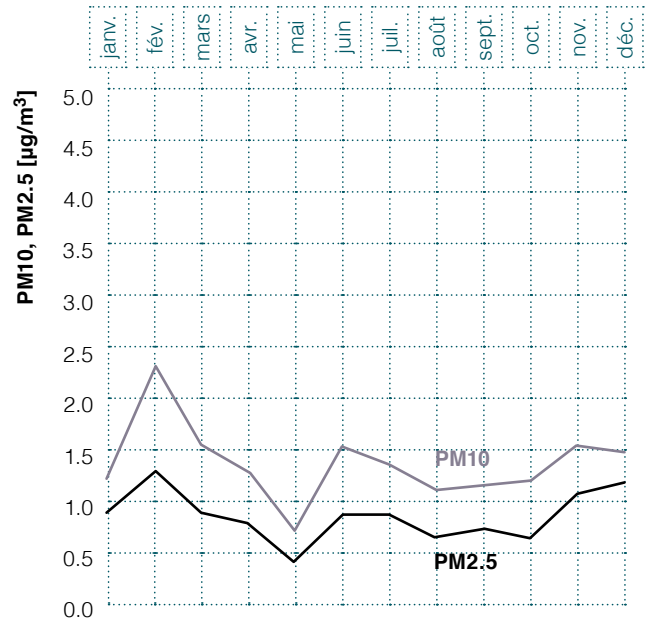


ABILDUNG 17 - EK 2021 IN MASSONGEX



Bei einer Zeitreihenuntersuchung der zweiwöchigen EK-Werte für 2021 (Abb. 17) und der monatlichen Mittelwerte für PM10 und PM2.5 (Abb. 18) ist für die letzten drei Quartale ein ziemlich deckungsgleiches Verhalten festzustellen. Der deutlichste Tiefpunkt für alle Fraktionen war im Mai zu beobachten, der ein regenreicher Monat war. Danach stiegen die Konzentrationen allmählich wieder an und erreichten ihre Höchstwerte im November und Dezember mit ähnlichen Werten wie im Januar. Die PM10- und PM2.5-Werte im Februar lagen jedoch deutlich über den Werten von Januar und März. Dieses Verhalten fehlt für den EK. Diese Beobachtung steht im Zusammenhang mit den Saharasand-Ereignissen am 6. und 22. bis 27. Februar und vom 2. bis 4. März. Diese mineralischen Partikel tragen nicht zur Belastung der PM10 und PM2,5 mit EK bei, der im Wesentlichen aus Kohlenstoff besteht. Sie erhöhen jedoch die Feinstaubkonzentrationen. Dies wird durch das EC/PM2.5-Verhältnis für Februar und März verdeutlicht, das 3,5% bzw. 3,6% betrug, während es im Jahresdurchschnitt 2021 bei 4,6% lag. Die Monate Oktober bis März weisen jedoch normalerweise die höchsten Werte auf. Das PM2.5/PM10-Verhältnis lag zwischen 53% und 80%, wobei die höchsten Werte in den Monaten Januar, November und Dezember gemessen wurden. Eine Erklärung für den geringeren Beitrag der groben Fraktion von 2,5 bis 10 µm ist die Schneedecke, die den Windabrieb von nacktem Fels minimiert. In Monaten wie dem April, in denen häufig Föhn herrscht, sinken die Feinstaubwerte vorübergehend, aber wiederholt, da sich die Luftmassen mit der Höhenluft vermischen, die ausser bei der Zufuhr von Sand aus der Sahara kaum mit Staub belastet ist.

ABILDUNG 18 - PM10, PM2.5 2021 IN MASSONGEX



Gemäss der EKL-Studie von 2013 [4] darf die EK-Konzentration im Jahresmittel nicht über 0.1 µg/m³ betragen. Nach einer rückläufigen Entwicklung bis 2016 in Massongex tendieren die Ergebnisse in den letzten vier Jahren zu einer Stagnation bei 0.4 bis 0.6 µg/m³ (Abbildung 16). Die Jahresmittelwerte lagen immer mindestens das Dreifache über dem Zielwert von 0.1 µg/m³. Die EKL empfiehlt, die Russ-Konzentrationen in der Nähe der Emissionsquellen bis 2023 auf höchstens noch 20 % ihrer 2013 gemessenen Werte zu reduzieren. Für den Standort Massongex, wo 2013 eine Konzentration von 1.1 µg/m³ gemessen wurde, bedeutet das, dass bis 2023 ein Höchstwert von 0.2 µg/m³ zu erzielen wäre. Das Ergebnis für 2021 ist noch 1.8-mal höher als diese Obergrenze. Stark befahrene Strassen sind eine Hauptquelle für Russ, der einen Anteil von etwa 8% bis 12% der in der Nähe gemessenen PM2.5-Massenkonzentrationen ausmacht. Das EK/PM2.5-Verhältnis in Massongex erreichte im Oktober einen monatlichen Höchstwert von 7,2%. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Resival-Station nicht direkt einem starken Strassenverkehr ausgesetzt ist und sich nicht optimal für die Erfüllung des EKL-Ziels qualifiziert. Die Streubedingungen zwischen der 835 m entfernten Autobahn A9 und dem Messort verringern die ermittelten EK-Konzentrationen erheblich. Ihre Aussagekraft ist lediglich indikativ.

8. Stickstoffdioxid – NO₂

8.1. Steckbrief

Stickoxid (NO_x) ist der Oberbegriff für Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). NO ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, während NO₂ in hoher Konzentration ein rötliches Gas mit einem irritierenden und stechenden Geruch ist.

NO_x entstehen in Verbrennungsprozessen bei hohen Temperaturen und enthalten üblicherweise 5 bis 10% NO₂. Zu ihren Quellen gehören Heizanlagen, Abfallverbrennungsanlagen und Fahrzeuge mit Wärmemotoren. Im Kontakt mit Oxidantien in der Umgebungsluft, vor allem mit Ozon, verwandelt sich NO rasch zu NO₂.

Von den NO_x ist es das NO₂, das für den Menschen und die Umwelt die schädlichsten Auswirkungen hat. Es verursacht Reizungen der Atemwege und reizt das Gewebe, indem es die Wirkung von Allergenen verstärkt. Die langfristige Exposition gegenüber NO₂ in Verbindung mit anderen Reizgasen verringert die Lungenfunktion und führt zu vermehrten Beschwerden wie Bronchitis und Husten, insbesondere bei Kindern. Bei hoher Luftverschmutzung führt NO₂ zu einem Anstieg der Krankenhauseinweisungen und der Todesfälle aufgrund von Lungen- und Herzrhythmusstörungen. Die europäischen Gesundheitsbehörden schreiben der Schweiz bei einer jährlichen NO₂-Konzentration von fast 18 µg/m³ etwa 270 vorzeitige Todesfälle pro Jahr zu.

Stickoxide sind zusammen mit VOC an der photochemischen Bildung von Ozon in Bodennähe beteiligt. Sie versauern feuchte Niederschläge und tragen durch chemische Reaktionen zur Bildung von sekundären Feinstaubpartikeln bei., die zur Bildung von Nitraten führen. Zusammen mit Ammoniak tragen sie zur Eutrophierung (Überdüngung) von Ökosystemen bei.

NO₂ - EN UN CLIN D'ŒIL

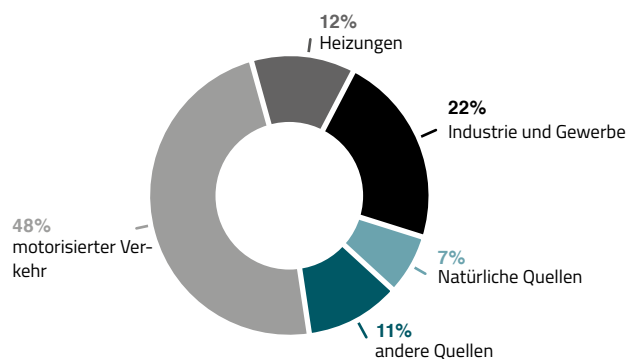
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	👍	gut
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	👍	gut
STADTZENTRUM	👍	gut
NÄHE VON INDUSTRIEN	👍	gut

Gemäss kantonalem Kataster betrugen die NO_x-Emissionen 2020 2284 Tonnen (Abb. 19). Low-NO_x-Brenner, Brennwertkessel, die Sanierung von Feuerungsanlagen, der Verzicht auf fossile Brennstoffe und Drei-Wege-Katalysatoren in Motoren, die CO oxidieren und NO_x reduzieren, tragen zur Senkung der NO_x-Emissionen bei.



Der motorisierte Verkehr verursacht 48% der NO_x-Emissionen

ABBILDUNG 19 - NO_x EMISSIONEN IM WALLIS 2020



Offroad-Sektor (z. B. Baumaschinen, motorisierte Maschinen und Geräte in der Land- und Forstwirtschaft, Luft- und Bahnverkehr), Gastrocknung, Feuer im Freien, Feuerwerk, Lösungsmittel, illegale Abfallverbrennungen. Daten: Kantonales Emissionskataster (Cadero).

8.2. ERGEBNISSE 2021

Der LRV-Grenzwert von 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an allen Resival-Stationen klar eingehalten (Tab. 7). Die höchsten Konzentrationen im Wallis werden in der eidgenössischen Nabel-Station zwischen dem Flugplatz Sitten und (25 m neben) der Autobahn gemessen. Der gemeldete Mittelwert für 2021 liegt wie für das Jahr 2020 bei 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Von 2016 bis 2019 waren die Tageswerte der eidgenössischen Station immer höher als die der Resival-Station im Stadtzentrum von Sitten. Dies ist auch in den Jahren 2020 und 2021 meist noch der Fall, doch nähert sich der Jahresdurchschnitt zwischen den beiden Stationen in Sitten an. Der von Resival lag von 2016 bis 2019 bei 66 bis 69% des Nabel-Werts, von 2020 und 2021 dann bei 73 bis 74%. Im Jahr 2020 könnte eine stärkere Verkehrsreduzierung auf der Autobahn als in der Stadt während der sanitärischen Einschränkungsmassnahmen in der Pandemie diese Entwicklung erklären. Die eher geringfügige Annäherung der Werte hält jedoch die Stadtgemeinde Sitten mit einem Jahresmittelwert von 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2021 bei Resival an der Spitze der am stärksten mit NO_2 belasteten Orte im Wallis. Anderswo in der Ebene und vor allem in der Höhe ist die kantonale Luft deutlich weniger von diesem Schadstoff betroffen.

Die Ergebnisse für das 95-Perzentil (LRV-Anforderung, welche höchste Belastungsspitzen ausschliessen will, indem sie für die überwiegende Mehrheit (95%) der während eines Jahres gemessenen Halbstundenwerte als Obergrenze 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ verlangt) hiel-

ten den Grenzwert weitestgehend ein. Die höchsten Werte wurden wie üblich in Sitten (51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und in Brigerbad (53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gemessen. Die anderen beiden Stationen in der Ebene haben Werte von 35 und 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, höhere als die Stationen in der Höhe, die zwischen 9 und 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Der tiefste Wert stammt aus Les Giettes, dem Standort, der sich in der grössten Entfernung zu bedeutenden NO_x -Quellen befindet. Bei Eggerberg, einer Messstation, die sich zweihundert Meter über Visp mit seinem grossen Standort der chemischen Industrie befindet, wird ein erhöhtes Niveau von 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Der höchsten Werte für eine Region in der Höhe wird mit 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei der Station Montana gemessen, die sich 20 Meter neben einer Kantonsstrasse und nahe an einem der grössten Ferienorte des Wallis befindet.

Die LRV enthält auch einen Tageshöchstwert von 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der höchstens einmal pro Jahr überschritten werden darf. Er wurde an keiner Station überschritten (Tabelle 7), wie seit 2018 nicht mehr. Das BAFU meldete für 2021 eine Überschreitung des Tagesgrenzwerts an der Nabel-Station bei Sitten-Flughafen-A9 an. Unter Berücksichtigung der Toleranz von einem Tag mit Überschreitung werden die LRV-Normen für NO_2 -Immissionen im Wallis in den Jahren 2020 und 2021 sowohl bei Resival als auch an der Nabel-Station in der Nähe der Autobahn vollständig eingehalten.

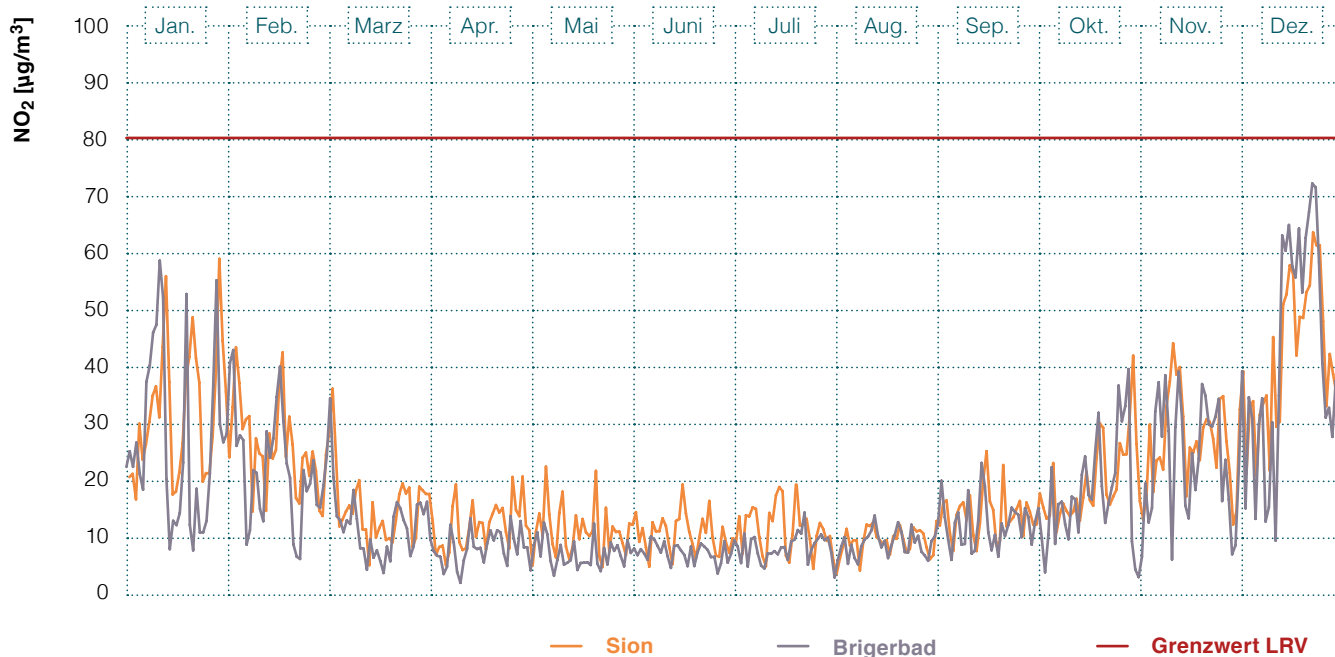
TABELLE 7 - NO_2 ERGEBNISSE 2021

REGIONEN	STATIONEN	NO_2			
		Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	95%-Wert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anzahl Tage > 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tageshöchstwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	Les Giettes	3.0	9	0	19
	Eggerberg	9.8	26	0	46
	Montana	10	31	0	36
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	Saxon	14	44	0	54
STADTZENTRUM	Sitten	19	51	0	64
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	13	35	0	43
	Brigerbad	17	54	0	72
LRV-NORM		30	100	1	80

Abbildung 20 zeigt, dass die beiden Resival-Stationen mit den höchsten Tageskonzentrationen den Grenzwert im vergangenen Jahr klar eingehalten haben. Die Stationen in Sitten und Brigerbad weisen die höchsten Werte für alle LRV-Normen für NO₂-Emissionen auf (Tabelle 7). An der städtischen Station tragen die Emissionen des Strassenverkehrs und der Verbrennungsheizungen der Hauptstadt, die zu den dichtesten im Kanton gehören, zu diesem Ergebnis bei. An der industrienahen Station im Oberwallis wird der Effekt der winterlichen Hochdruck-Wetterlagen, die zu thermischen Inversionen in den unteren Schichten führen, in der Ebene von Brig bis Visp verstärkt.

Aufgrund der umliegenden Berge erreichen die Sonnenstrahlen von November bis Februar in weiten Teilen dieser Region den Boden nicht mehr. Infolgedessen wird die Stabilität der Kaltluftseen nicht mehr von der vom Boden zurückgeworfenen Wärme behindert. Die Luftkuppel, die eine Kappe bildet, unter der sich Luftverschmutzung und schlechte Gerüche ansammeln, ist dann besonders wirksam. Da vom 13. bis 25. Dezember 2021 eine lange Hochdruckperiode mit sehr schwachen Winden in der Ebene im Oberwallis herrschte, wies die Station Brigerbad die höchsten täglichen NO₂-Werte in diesem Zeitraum auf (Abbildung 20).

ABBILDUNG 20 - NO₂, DURCHSCHNITTliche TAGESWERTE IN SITTEN UND BRIGERBAD 2021



8.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Der Jahresmittelwert von Stickstoffdioxid bringt 2021 einen neuen Rekord für die Luftqualität. Der Wert in Industrienähe ist der niedrigste seit Beginn der Messungen im Jahr 1990. In den anderen Standorttyp-Regionen wurden die Tiefstwerte im Jahr 2020 erreicht. Die Werte für 2021 liegen sehr nahe beieinander (Abbildung 21). Die Schadstoffwerte sind nun in allen Regionen niedrig, ausser im Stadtzentrum, wo sie mässig sind. In Sitten ist der starke Belastungsrückgang seit 2011 zu beobachten. Stickoxide werden, wie andere Schadstoffe auch, durch Niederschlag aus der Luft gewaschen und gehen als «nasse Ablagerung» auf die Umgebung nieder. Die jährliche Niederschlagsmenge in den letzten elf Jahren in Sitten (siehe Wassertabelle auf Seite 12) hat im Durchschnitt um 21% zugenommen. Dies deutet darauf hin, dass die Klima-

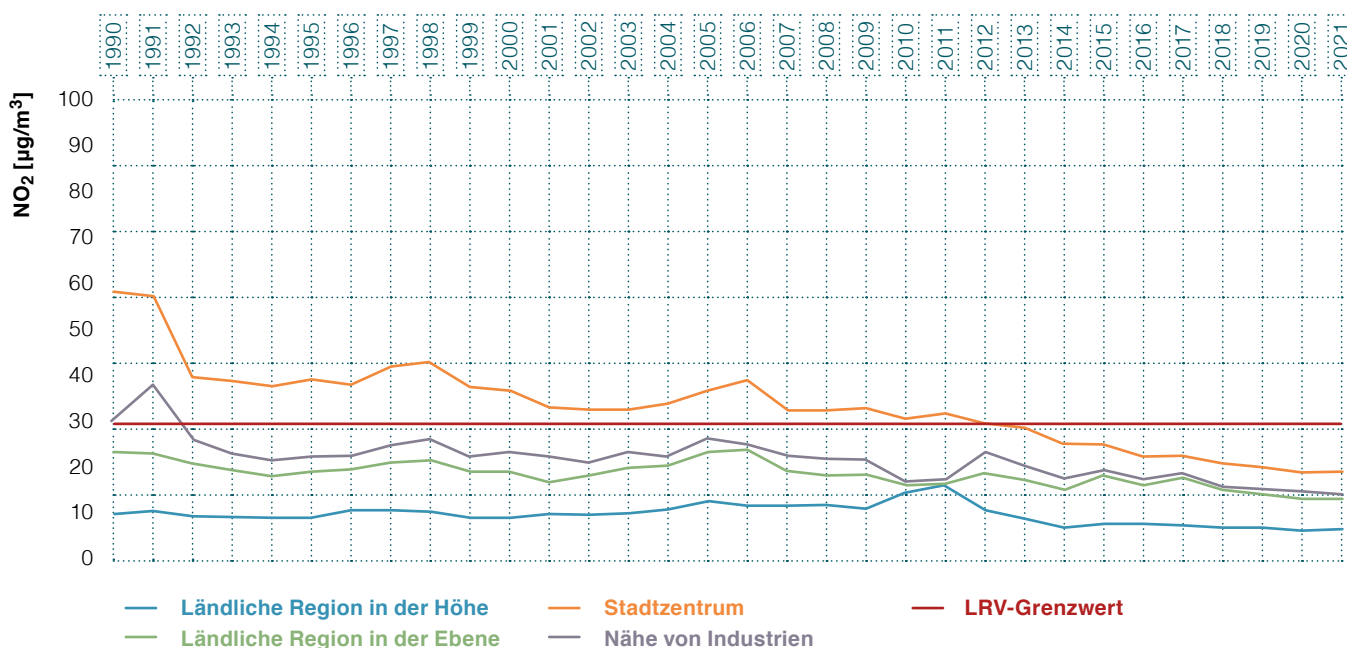
erwärmung das Ausmass der winterlichen Regenschauer erhöht hat. Die höchsten NO₂-Konzentrationen treten normalerweise im Winter auf. Die Auflösung im Regenwasser, vor allem durch die Umwandlung in Natriumsäure, ist dann ein wichtiger Faktor. Der in Sitten beobachtete Anstieg der Niederschlagsmenge steht jedoch in keinem Verhältnis zu dem Rückgang der NO₂-Werte an der städtischen Station um 40% im Jahr 2021 im Vergleich zu 2011. Er reicht nicht aus, um die geringere Verschmutzung zu erklären, die daher hauptsächlich auf eine Verringerung der Emissionen an den Quellen zurückzuführen ist. In allen Standorttyp-Regionen sind die Rückgänge für 2021 im Vergleich zu 2006 gestaffelt und markieren das Ende der grossen Rückgänge, die von 42% in Industrienähe bis zu 51% in Stadtzentren reichen. Der Abwärtstrend hält bis 2021

an, ausser in den ländlichen Regionen in der Höhe, wo die Werte in den letzten drei Jahren stagnierten.

Gemäss dem kantonalen Emissionskataster sind diese Rückgänge hauptsächlich auf gewichtige mengenmässige Abnahmen der NO_x an den Quellen zurückzuführen. Der Gesamtrückgang von fast 2200 Tonnen weniger emittiertem NO_x im Jahr 2020 im Vergleich zu 2006, was einem Rückgang von 49% entspricht, stammt

zu 81% aus industriellen Einleitungen (-64%, bzw. -878 t) und dem Strassenverkehr (-45%, d. h. -909 t). Die Schliessung des Raffineriebetriebs in Collombey im Frühling 2015 trug wesentlich zum grossen Rückgang der Emissionen im Bereich Industrie bei. Im Offroad-Sektor wurden im Jahr 2020 58% weniger Mengen emittiert als 2006 (-304 t), während der Rückgang der Emissionen aus Heizungen (-111 t) 5% zu den Gesamtabnahmen beitrug.

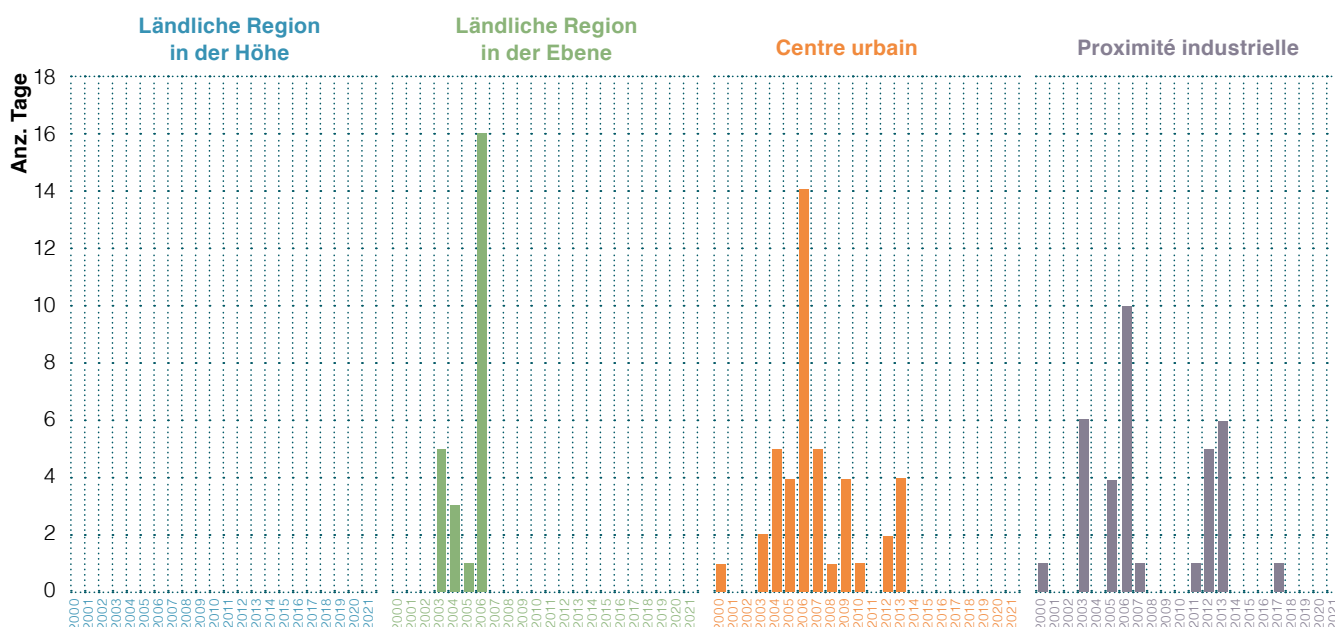
ABBILDUNG 21 - NO_2 , REGIONALE JAHRESMITTELWERTE VON 1990 BIS 2021



Um die NO_2 -Konzentrationen in der Umgebungsluft weiter zu senken, müssen die wichtigsten Massnahmen im Bereich des Strassenverkehrs ergriffen werden. Das Emissionskataster enthält seit 2021 eine neue Version der Emissionsfaktoren (HBEFA 4.1), die die tatsächlichen Mengen an Stickoxiden in den Abgasen besser widerspiegelt. Die einzige Kategorie, die im Vergleich zu den vorherigen Versionen nicht nach oben korrigiert wird, sind die Normen Euro 6d-TEMP und Euro 6d, die im September 2019 und Januar 2021 für leichte Nutzfahrzeuge in Kraft getreten sind. Diese gelten als ordnungsgemäss und werden durch die neuen Protokolle WLTP und RDE überprüft. WLTP wird seit der Euro-6c-Norm vom September 2017 verwendet, die im September 2018 verbindlich wurde. Die weitgehend von Dieselfahrzeugen dominierten NO_x -Emissionen im Strassenverkehr gehen seit 2016 dank der besseren Einhaltung der Normen, die nach der Einführung von Euro 6b im September 2015 und anschliessend von Euro 6c sichergestellt wurden, allmählich zurück.

2006 war nach dem Jahr 2000 das Jahr mit den meisten Überschreitungen der Tagesgrenzwerte bei den NO_2 (Abb. 22). Jenes Jahr wurde geprägt durch eine stabile und lange Wetterlage im Januar und Februar, welche die ungewöhnlich hohen NO_2 - und PM_{10} -Belastungen begünstigte. Der kantonale Beschluss über den Wintersmog vom November 2006 (814.103) erfolgte unter dem Eindruck dieses Ereignisses. Seit 2014 hat das Resival-Netz diese Beschränkung nicht mehr überschritten, ausser im Jahr 2017 mit einem Tag. Diese einzige jährliche Überschreitung wird jedoch von der LRV toleriert, so dass die Norm seit acht Jahren eingehalten wird.

ABBILDUNG 22 - NO₂, ANZAHL ÜBERSCHREITUNGEN DER TAGESNORM VON 2000 BIS 2021, REGIONALER HÖCHSTWER



NO_x-Reduktionen können zur Reduktion von Ozon-Konzentrationen beitragen, vorausgesetzt in der betreffenden Region herrscht ein atmosphärischer Systemzustand NO_x-begrenzt. Im Sommer liegen die NO_x-Werte im Wallis von der Morgendämmerung bis zum Mittag typischerweise im NO_x-gesättigten (VOC-begrenzten) Systemzustand, in dem ein Rückgang der Stickoxide zu einem Anstieg der Ozonproduktion führt. Um die Mittagszeit bis Ende Nachmittag sinken die Konzentrationen auf den Systemzustand NO_x-begrenzt, ausser im Stadtzentrum, wo sie sich in einem Zwischenbereich bewegen. Die NO_x-Werte müssten um mindestens 90% auf deutlich unter 5 ppb gesenkt werden, damit sie sich nie

im NO_x-gesättigten Systemzustand befinden. Dies würde sicherstellen, dass die LRV-Ozongrenzwerte bei der stündlichen Begrenzung (60 ppb) und beim monatlichen P98 (50 ppb) eingehalten werden. Biokraftstoffe, Biobrennstoffe und Power-to-Gas-Lösungen (mit Ausnahme des Wasserstoffantriebs mit Brennstoffzellen) hätten in dieser Hinsicht eine positive Wirkung auf die globale Erwärmung (CO₂-neutral), würden aber die Situation in Bezug auf die Stickoxidemissionen kaum verbessern, wenn sie nicht aus den Abgasen entfernt werden. Die NO_x-Bildung in Verbrennungsmotoren und -kesseln wird durch die Anwesenheit von Stickstoff und Sauerstoff in der Verbrennungsluft fortgesetzt.

9. Ammoniak – NH₃

9.1. Steckbrief

Ammoniak (NH₃) in gasförmiger Form ist farblos und hat einen typischen stechenden Geruch. In hohen Konzentrationen verursacht es schwere Schäden an der Vegetation. Es trägt zur Versauerung und Überdüngung des Bodens bei, was sich negativ auf die Ökosysteme auswirkt. Darüber hinaus ist es ein wichtiger Vorläufer für die Bildung von sekundären Ammoniumaerosolen im Feinstaub.

In ländlichen Gebieten ist die Hauptquelle für atmosphärisches NH₃ die Nutztierhaltung, vor allem durch die Lagerung und Ausbringung von Hofdünger. Auch bei industriellen Prozessen können grosse Mengen dieses Schadstoffs freigesetzt werden.

NH₃ ist ein Bestandteil von stickstoffhaltigen Depositionen. Diese umfassen die gasförmige Ablagerung von Ammoniak, Stickoxiden und Salpetersäure sowie aerosol- oder gravitationsförmige Ablagerung von Ammonium und Nitrat. Regen, Schnee, Hagel und sedimentierter Staub sind Träger dieser Depositionen. Die Stickstoffablagerungen sind in einigen Ökosystemen immer noch zu hoch und bedrohen die Biodiversität in diesen Gebieten.

Die Schweiz ratifizierte 2005 das Göteborg-Protokoll. Darin wurden kritische Belastungen und Werte für die Stickstoffdeposition (critical loads) und die Ammoniakkonzentrationen in der Luft (critical levels) festgelegt. Sie hängen von den betrachteten Ökosystemen ab. Der kritische Jahreswert für NH₃ liegt bei Flechten und Moosen aufgrund ihrer grösseren Empfindlichkeit gegenüber diesem Schadstoff bei 1 µg/m³. Für höhere Pflanzen liegt er zwischen 2 und 4 µg/m³. Wenn die atmosphärischen NH₃-Konzentrationen über den kritischen Werten liegen, liegen nach Art. 2 Abs. 5 LRV übermässige Immissionen vor.

NH₃ FÜR HÖHERE PFLANZEN AUF EINEN BLICK

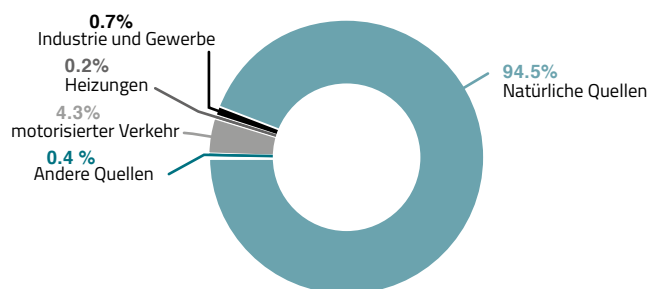
Sitten (Zone A9-Flughafen, 2020)	 mittel
Visp (ländliches Gebiet, 2019)	 gut

Gemäss kantonalem Kataster betrugen die NH₃-Emissionen 2020 836 Tonnen (Abb. 23). Mit 5.8 Tonnen sind die industriellen Ausstösse stark in der Minderheit. Die grössten Mengen wurden von einigen grossen Chemieunternehmen sowie von Müllverbrennungs- und Biomasseverwertungsanlagen deklariert.



Das Ammoniak stammt zum grössten Teil aus der Tierhaltung und aus dem Hofdünger

ABBILDUNG 23 - NH₃, EMISSIONEN IM WALLIS 2020



Offroad-Sektor (z. B. Baumaschinen, motorisierte Maschinen und Geräte in der Land- und Forstwirtschaft, Luft- und Bahnverkehr), Graströcknung, Feuer im Freien, Feuerwerk, Lösungsmittel, illegale Abfallverbrennungen. Daten: Kantonales Emissionskataster (Cadaro).

9.2. AMMONIAK- UND STICKSTOFFIMMISSIONEN

Die grössten Quellen für Ammoniak in der Luft sind die Landwirtschaft mit ihrer Tierhaltung, aber auch der Strassenverkehr und die Industrie. Die Freisetzung von Ammoniak aus letzteren Bereichen ist hauptsächlich auf die Reinigung von Stickoxiden in Abgasen zurückzuführen. Ammoniak ist ein recht häufiges NO_x -Reduktionsmittel in den industriellen SCR- und SNCR-Anlagen zur Denitrifikation (DeNO_x). Der unreaktierte Anteil entweicht aus den Schornsteinen. Im Strassenverkehr dient die Verwendung von Ad-Blue, einem Additiv, das zu etwa einem Drittel aus Harnstoff und zu zwei Dritteln aus Wasser besteht, demselben Zweck. Unter dem Einfluss der Wärme der Motorabgase zerfällt Harnstoff in NH_3 . Da es nicht vollständig in molekularen Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) umgewandelt wird, je nach gewünschter Wirkung, trägt es zur Ammoniakbelastung der Atmosphäre bei. Die Konzentration im Auspuff beträgt jedoch nicht mehr als 0,3%, ein Wert, der unter anderem dafür sorgt, dass keine Entzündungsgefahr besteht. Um die Belastung der Luft durch Ammoniak aus der Landwirtschaft und durch Feinstaub, der zu etwa 10% aus Ammonium besteht, zu reduzieren, ist jedoch vor allem die Verringerung des Ammoniaks aus der Landwirtschaft von Bedeutung. Zu diesem Zweck werden in grossen Tierhaltungsbetrieben Reinigungsanlagen eingesetzt, z. B. mit Biofiltern oder chemischen Filtern. In Bezug auf die Lagerung von Hofdünger führt die LRV ab 2022 Anforderungen an die Abdeckung von Güllegruben ein. Sie wird auch die Ausbringungstechniken regulieren, um die Emissionen zu minimieren. Im Wallis werden die Ammoniakimmissionen nicht durch das Resival-Netz gemessen. Zwei Messpunkte bestimmen sie regelmässig.

Der erste befindet sich in der ländlichen Region von Sitten in der Nähe der Autobahn A9. Der Sensor befindet sich in 3,5 m Höhe über dem Boden. Er ist in die Station des eidgenössischen Nabel-Netzes für einen umweltspezifischen Immissionstyp von 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NH_3 integriert. Der Jahresmittelwert dieses Schadstoffs in der Luft liegt laut dem neuesten Bericht der vom BAFU beauftragten Firma [5] im Jahr 2020 bei 4.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der langjährige Durchschnitt über den Zeitraum 2016 bis 2020 liegt bei 3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser Wert übersteigt den Referenzwert von 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für den mittleren kritischen

Wert für höhere Pflanzen, liegt aber innerhalb der Toleranz von 2 bis 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der höchste Jahreswert, der in Sitten seit Beginn der Messungen registriert wurde, liegt bei 4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Er wurde in den Jahren 2000 und 2003 erreicht. Betreffend Moose und Flechten wurde der kritische Jahreswert von 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in den letzten 20 Jahren mindestens um das 3.8-fache überschritten.

Der zweite Messpunkt befindet sich in der Nähe von Visp auf einer Lichtung in einem Nadelwald. Messungen der Stickstoffdeposition wurden 2014 und 2019 durchgeführt. Laut dem jüngsten Bericht des Laboratoriums, das diese Kampagnen mit Passivsammlern durchführte [6], lagen die Jahresmittelwerte der gasförmigen NH_3 -Konzentrationen bei 1.6 bzw. 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Während der kritische Wert für höhere Pflanzen an dieser Stelle nicht überschritten wird, ist er für Moose und Flechten immer überschritten. Die Probenahmen an dieser Station bestimmen auch die allgemeine Stickstoffdeposition durch den Nachweis von sieben reduzierten (Ammoniak und Ammonium) und oxidierten (Stickstoffdioxid, Salpetersäure und Nitrat) Stickstoffverbindungen. Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) werden durch Schwerkraftdeposition in Sammelgefässen oder durch Abfangen von Aerosolen auf Filtern aufgefangen. Ein wesentliches Ziel der Studie ist die Bestimmung der Stickstoffbelastung des empfindlichen Ökosystems in dieser Region im Hinblick auf die entsprechenden kritischen Belastungen (CLN, critical loads for nitrogen). Der Bereich, der nicht überschritten werden darf, reicht von 5 bis 15 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ($\text{kg pro Hektar und Jahr}$) für den umliegenden Nadelwald. Die Ergebnisse des Labors für die Jahre 2014 und 2019 liegen bei 24,4 bzw. 21,2 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$. Das ist 2,4- bzw. 2,1-mal höher als der durchschnittliche Referenzwert von 10 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, der für dieses Ökosystem nicht überschritten werden darf. Dieses Übermass ist zu fast 52% auf die Konzentrationen von gasförmigem Ammoniak in der Luft zurückzuführen. Dieser Schadstoff ist auch in Bezug auf die Stickstoffbelastung die schädlichste Substanz. Durch eine Verringerung um etwa zwei Drittel wäre es möglich, die Stickstoffdeposition in den Toleranzbereich für das Ökosystem von Visp zu bringen.

9.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Stickstoffdepositionen schaden empfindlichen Ökosystemen und beeinträchtigen die Biodiversität. Ihre kritischen Schwellenwerte werden auf fast 90% der Schweizer Waldfläche überschritten. Dort, wo die Belastung 30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ überschreitet, beeinträchtigen sie die Vitalität der Bäume und ihr Wachstum. Diese Schwelle, die die Produktion von Energieholz bedroht, wird am Messpunkt Visp

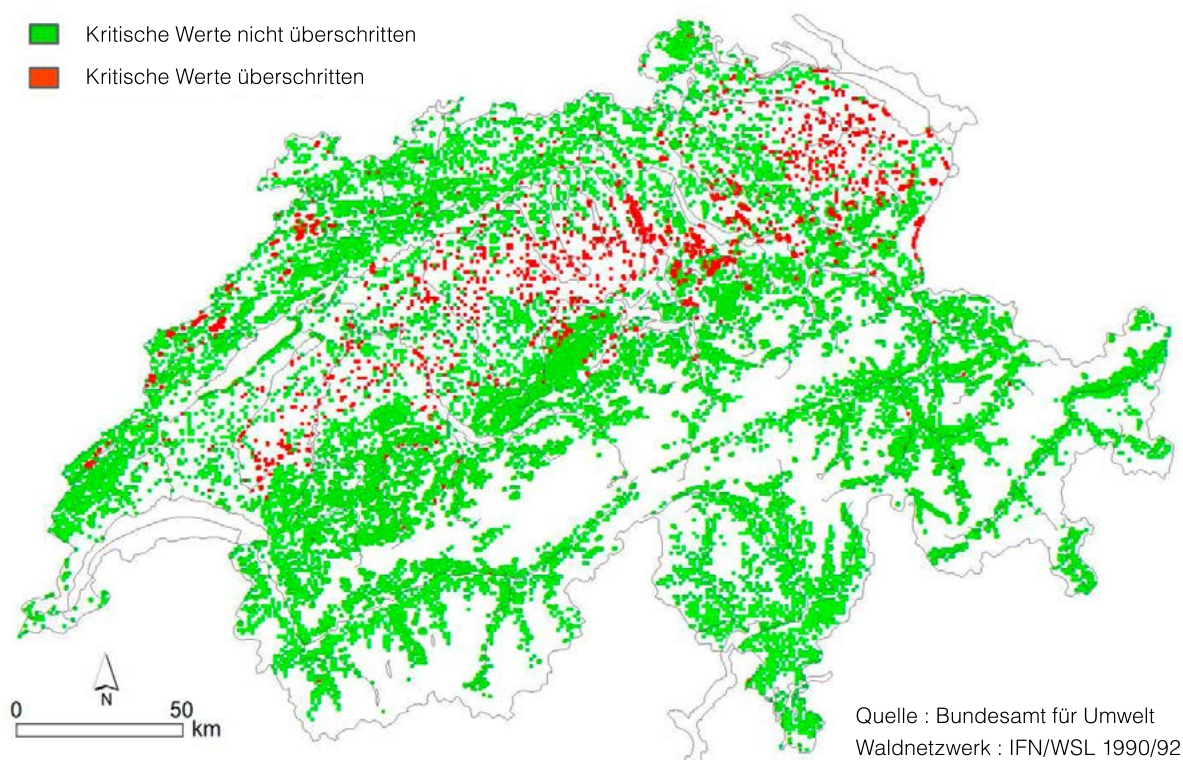
nicht überschritten, aber er erreichte Wert ist eine Warnung, dass die Stickstoffbelastung so weit wie möglich reduziert werden muss. Angesichts der Ammoniakgaskonzentrationen in Sitten ist es ziemlich wahrscheinlich, dass die Stickstoffdeposition auch hier die kritischen Schwellenwerte für Nadelwälder (5 bis 15 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) und sogar Laubwälder (10 bis 20 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$) überschreitet.

9.3.1 KRITISCHE WERTE

Der Bund erstellt Karten zuhanden der kantonalen Behörden, damit diese ihre jeweiligen Situationen einschätzen können. Nach den jüngsten Schätzungen für das Wallis dürften die Ammoniakkonzentrationen die kritischen Werte nicht überschreiten (Referenzjahr 2015, Abbildung 24). Doch die Ergebnisse der Messungen in Sitten zeigen, dass sie für Moose und Flechten und manchmal auch für höhere Pflanzen immer noch kritisch sind. In der Tat über-

schritten die Jahreswerte von 2000 bis 2006 sowie 2009, 2011 und 2015 $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Um die Ammoniakwerte im Wallis besser zu erfassen, hat die DUW im Dezember 2021 eine Messkampagne im Chablais am Rande eines empfindlichen Ökosystems in der Nähe von Vionnaz gestartet. Es handelt sich um ein saures Flachmoor mit einem Schilfgürtel. An das Gebiet grenzen Felder, die der intensiven Landwirtschaft zuzurechnen sind.

ABBILDUNG 24 - KARTE DER KRITISCHEN WERTE FÜR GASFÖRMIGEN AMMONIAK IN DER SCHWEIZ 2015



9.3.2 KRITISCHE BELASTUNGEN

Die Karten über die Deposition von Stickstoffverbindungen zeigen, dass die kritischen Belastungen für Stickstoff in der Rhoneebene und in einigen Seitentälern stellenweise überschritten werden (Abbildung 25). Die Liste der Ökosysteme, die für diese Situation anfällig sind, ist lang: Wälder, Flach- und Hochmoore, Weiden, Rasenflächen, Ufer von Teichen und Seen. Obwohl im Wallis kaum intensive Viehzucht betrieben wird, sind die Ammoniakemissionen der landwirtschaftlichen Viehbestände in die Atmosphäre die Hauptursache für diesen Befund, der durch die Messungen in Visp bestätigt wird. Die Depositionen werden durch Modellierung anhand der Bestimmungen von gasförmigem Ammoniak und Stickoxiden sowie anderen Stickstoffverbindungen in Form von feuchter und trockener Deposition berechnet.

Die 2014 in Visp festgestellten Überschreitungen stammten zu 51% aus gasförmigem Ammoniak, zu 25% aus gasförmigem NO_2 und zu 10% aus gravitativen Ablagerungen von Ammoniumverbindungen (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-). Bei der vom Kanton finanzierten Kampagne 2019 stammten die übermässigen Belastungen zu 53% aus gasförmigem Ammoniak, zu 15% aus gasförmigem NO_2 und zu 15% aus gravitativen Ablagerungen von Ammoniumverbindungen (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-). Der Rest setzt sich aus verschiedenen nassen Ablagerungen von Salpetersäure und Nitrat- und Ammoniumverbindungen zusammen. Fünf Jahre später ist festzustellen, dass der Beitrag von gasförmigem NO_2 deutlich zurückgegangen ist, während jener der gravitativen Ablagerungen zugenommen hat. Vor allem der Anteil von Ammonium ist von 4,6%

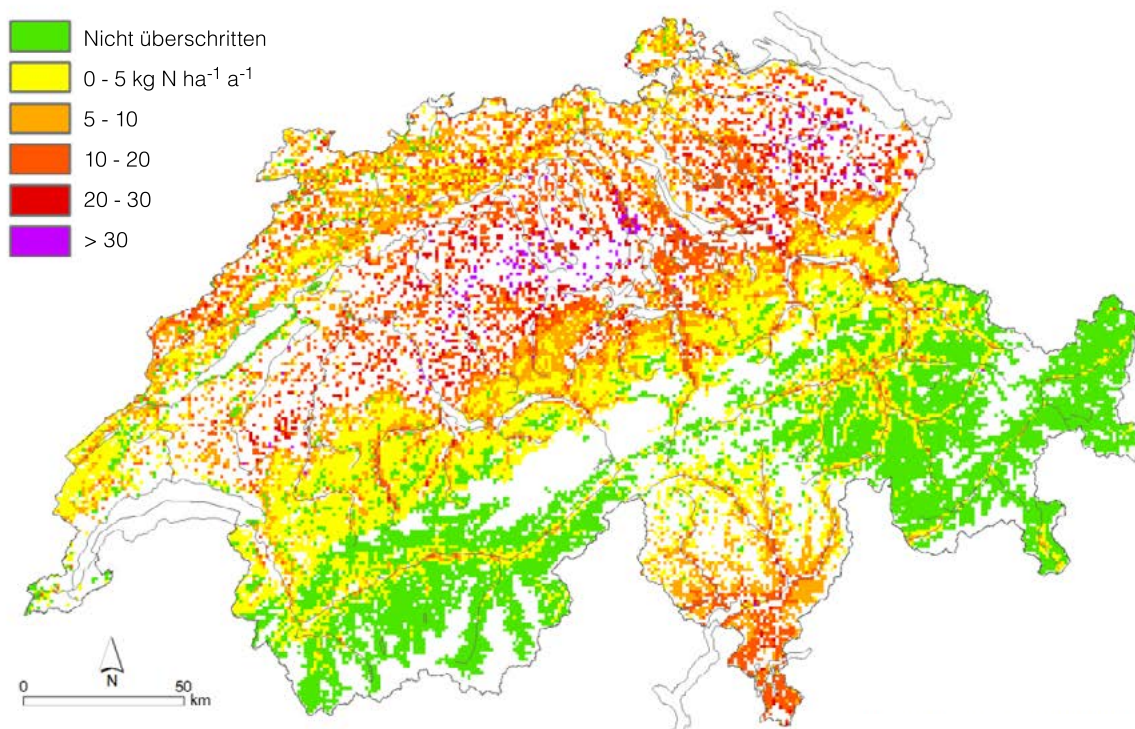
im Jahr 2014 auf 7,7% im Jahr 2019 gestiegen. Die Rückgänge bei gasförmigem NH_3 und NO_2 betrugen in diesen beiden Jahren 9% bzw. 41%. Die deutliche Verbesserung der Stickstoffdioxid-Immissionen, die in diesem Bericht dokumentiert wird, reicht nicht aus, um die Stickstoffbelastungsgrenzwerte in der Ebene im Oberwallis einzuhalten.

Stickstoffhaltige Luftschadstoffe, die die Gesundheit und die Biodiversität beeinträchtigen, stammen zu 70% aus der Landwirtschaft, zu 18% aus dem Verkehr und zu 9% aus Industrie und Gewerbe. Aus landwirtschaftlichen Emissionen stammen zwei Drittel des Stickstoffs, der in Form von Ammoniak in die Luft abgegeben wird. Fast 90% davon stammen aus der Tierhaltung. Das restliche Drittel stammt aus Verbrennungsprozessen und wird in Form von NO_x freigesetzt. Massnahmen, die an der Quelle ansetzen, um den

übermässigen Stickstoffeintrag zu reduzieren, betreffen daher vor allem den landwirtschaftlichen Bereich der Tierhaltung, aber auch Verkehr, Industrie und Gewerbe.

Problematische Stickstoffemissionen betreffen darüber hinaus das Distickstoffoxid (N_2O , Lachgas). Es ist kein Schadstoff im Sinne der LRV, sondern stellt vor allem ein starkes Treibhausgas (THG) dar. Es macht etwa 6% der in der Schweiz emittierten Treibhausgase aus und ist zu zwei Dritteln das Ergebnis landwirtschaftlicher Aktivitäten durch Düngepraktiken und die Nutzung von Hofdünger. Der Anteil scheint bescheiden. Wenn man bedenkt, dass 1 k N_2O 298 kg CO_2 entspricht und seine Lebensdauer in der Atmosphäre etwa 120 Jahre beträgt, gehört sein Beitrag zur globalen Erwärmung jedoch zu den wichtigsten.

ABBILDUNG 25 - KARTE DER KRITISCHEN BELASTUNGEN DURCH STICKSTOFFDEPOSITIONEN IN DER SCHWEIZ 2015



10. Grobstaubniederschlag

10.1. Steckbrief

Bei der monatlichen Messung des Grobstaubniederschlags wird der gesamte trockene und feuchte Niederschlag in der Luft mithilfe eines permanent exponierten Gefässes gesammelt. Diese Staubpartikel sind, im Unterschied zu den PM10, zu gross, um längere Zeit in der Luft zu schweben. Bei Abwesenheit starker Winde, weniger als etwa 15 km/h, haben Partikel mit einem Durchmesser von mehr als 100 µm bei bodennaher Freisetzung eine Sedimentationsreichweite von höchstens 30 m. Neben dem gesamten Staubgehalt werden auch die Schwermetalle (Blei, Cadmium und Zink) untersucht.

Wind, der das Gestein erodiert; Luftturbulenzen, die Staub vom Boden aufwirbeln und in die Atmosphäre tragen; Baustellen und Erdarbeiten – Staubniederschlag kann viele Ursachen haben. Änderungen der Wetterbedingungen haben einen starken Einfluss auf den Staubniederschlag: Trockenheit begünstigt ihn, Regen lässt ihn am Boden haften. Im Wallis steigen die Staubniederschlagskonzentrationen typischerweise im Frühjahr an und erreichen im April und Juni die höchsten Werte (siehe Tabelle der Monatsergebnisse 2021 in [Anhang 3](#)). Aufgrund der Einträge von Saharasaand wurden bereits im Februar 2021 hohe Werte beobachtet. Andererseits sind sie manchmal auch von sehr lokalen Ereignissen abhängig und haben viele Störfaktoren (Insekten, Fliegen, Blätter usw.).

Im Staub enthaltene giftige Schwermetalle, wie Blei, Cadmium oder Zink, können in die Nahrungskette (in Pilze, Gemüse usw.) gelangen. Die Analyse dieser Schadstoffe im Labor erfolgt jährlich anhand der monatlichen Proben. Hohe Schwermetallablagerungen können in der Nähe von metallverarbeitenden Betrieben auftreten. Die Überwachung konzentriert sich jedoch auf die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen an der Quelle gemäss LRV.

GROBSTAUBNIEDERSCHLAG – AUF EINEN BLICK

LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	👍	gut
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	👍	gut
STADTZENTRUM	👍	gut
NÄHE VON INDUSTRIEN	👍	gut



Bergerhoff-Gerät für die Staubniederschlagsmessung

10.2. ERGEBNISSE 2021

An allen Resival-Standorten wurden die Grenzwerte für den Grobstaubniederschlag (ausgedrückt in Milligramm pro Quadratmeter und Tag) eingehalten (Tabelle 8). Die im Jahresmittel stärksten Niederschläge wurden mit 101 mg/(m²xd) an einer Stelle in ländlicher Region in der Ebene gemessen und lagen damit 49% über dem Grenzwert von 200 mg/(m²xd). Die übrigen Jahreswerte lagen alle mindestens 50% unter dem Grenzwert, was auf eine geringe Verschmutzung hindeutet.

Auch die jährlichen Mengen an Schwermetallen (Blei, Cadmium, Zink) im Staubbiederschlag, ausgedrückt in Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag, liegen klar unter den Jahresgrenzwerten der LRV, mit Ausnahme des Cadmiums bei Les Giettes. Die höchste Menge an Blei wurde in Les Giettes mit 42 µg/(m²xd) gemessen, was 58% unter dem Grenzwert liegt. Die Werte für Zink lagen alle mehr als zehnmal unter der Norm von 400 µg/(m²xd). Die Belastung durch diese beiden Schwermetalle im Staubbiederschlag im Jahr 2021 wird als gering eingestuft.

Die Jahresmengen von Cadmium, einem in der LRV in atembare Form als krebserregend eingestuften Metall, belaufen sich in Les Giettes auf 2.1 µg/(m²xd). **Sie stellen eine Nichteinhaltung der Begrenzung dar.** An den anderen Stationen halten die Cd-Gehalte den Grenzwert von 2 µg/(m²xd) weitgehend ein, und die jährliche Schadstoffbelastung ist niedrig, ausser in Massongex, wo sie mässig ist. Im Januar 2021 wurden an beiden Resival-Stationen im Walliser Chablais aussergewöhnlich hohe Einträge dieses Metalls gemessen. Während in Massongex in den anderen Monaten diese Belastung nicht mehr auftrat, wiederholte sie sich in Les Giettes mit Monatswerten von deutlich über 2 µg/(m²xd) im Mai, Juni und Dezember. Diese Wiederholungen führten zu der beobachteten Überschreitung der LRV-Begrenzung. Ein solches Ergebnis war seit Beginn der Messungen im Jahr 1991 noch nie verzeichnet worden. Die jährliche Schadstoffbelastung war an dieser Station immer niedrig, ausser 1992, als sie mit 1.1 µg/(m²xd) mässig war. Der Luftverkehr ist keine bekannte Quelle für die Freisetzung dieses Metalls in die Atmosphäre. In Anbetracht der Tatsache, dass die Station Massongex im Gegensatz zu Les Giettes die meiste Zeit von dieser Verschmutzung verschont blieb, ist eine Herkunft auf dem Luftweg aus der Höhe nicht ausgeschlossen.

TABELLE 8 - GROBSTAUBNIEDERSCHLAG UND METALLGEHALTE, IN JAHRESMITTELN 2021

REGIONEN	STATIONEN	Jahresmittel [mg/m ² xd]	Blei (Pb) [µg/m ² xd]	Cadmium (Cd) [µg/m ² xd]	Zink (Zn) [µg/m ² xd]
LÄNDLICHE REGION IN DER HÖHE	Les Giettes	67	42	2.07	20
	Eggerberg	96	10	0.27	18
	Montana	68	16	0.71	19
LÄNDLICHE REGION IN DER EBENE	Saxon	101	14	0.57	38
STADTZENTRUM	Sitten	71	14	0.57	38
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	79	21	1.07	26
	Brigerbad	50	18	0.19	22
LRV-NORM		200	100	2	400

10.3. ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Seit 1995 haben die Grobstaubniederschläge den LRV-Anforderungen immer entsprochen, ausser 2019 in der ländlichen Region (Abb. 26). Die Schwankungen der Wetterbedingungen und der Intensität der Quellen von Jahr zu Jahr und von Ort zu Ort sind der Grund für die recht hohe Variabilität der Ergebnisse. Zufällige Interferenzen durch Fremdkörperkontaminationen (Insekten, Fliegen, Bienen, Blätter, Kot usw.) tragen ebenfalls zu dieser Variabilität bei. Korrigiert werden diese Verfälschungen, indem man sie während des Analyseverfahrens nach Möglichkeit eliminiert. Doch deren systematische Entfernung erweist sich manchmal als schwierig, trotz striktem Analyseprotokoll.

Ausser in städtischen Gebieten bewegen sich die Mengen in den ländlichen und industrienahen Regionen seit 2003 um die 100 mg/

(m²xd). Höhere Werte, mit Spitzenwerten, die 2007 und 2013 in die Nähe des Grenzwerts kamen, sind manchmal in Sitten festzustellen. Seit 2017 ist dort und auch in der Nähe der Industrie ein deutlicher Abwärtstrend zu beobachten. In ländlichen Gebieten ist dieser Trend nicht zu beobachten. In der Ebene, die durch die Station Saxon repräsentiert wird, wurde der 2018 begonnene Aufwärtstrend durch die Anomalie von 2019 verstärkt, die zu einer Nichteinhaltung der LRV-Grenzwerte führte. Lokale Quellen sind höchstwahrscheinlich für diese Überschreitung verantwortlich: Maschinen und Arbeiten in der Landwirtschaft und im Obstanbau, allgemeiner Betriebsverkehr, Baustellen. Die höchsten monatlichen Werte, die eine Nichteinhaltung darstellen, wurden in den Monaten April bis Juli erreicht. Diese Monate decken einen Grossteil des Zeitraums ab, in dem diese Aktivitäten am stärksten ausgeübt werden.

ABBILDUNG 26 - STAUBNIEDERSCHLAG VON 1991 BIS 2021, REGIONALE JAHRESMITTEL

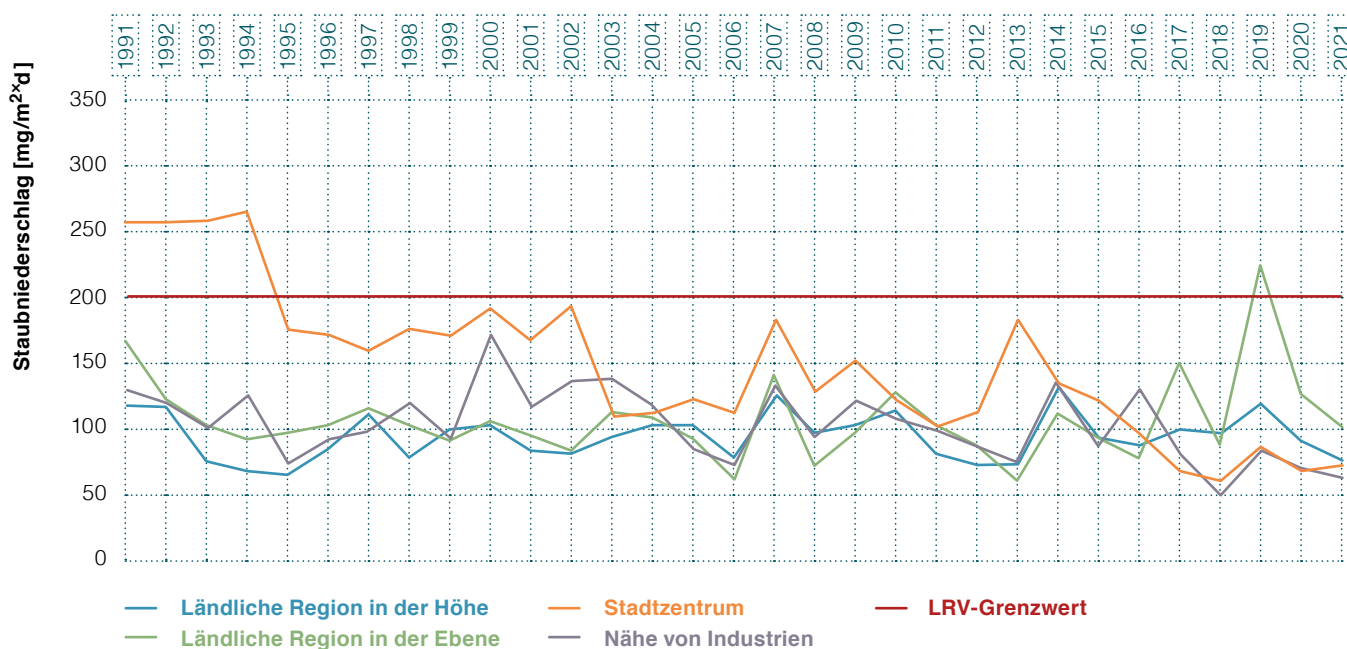


Abbildung 27 zeigt die Entwicklung der jährlichen Werte für Blei im Grobstaubniederschlag. Nach dem Zeitraum von 2001 bis 2016, in dem regelmässig sehr niedrige Werte gemessen wurden, sind in verschiedenen Regionen Anstiege zu verzeichnen. Am deutlichsten war der Anstieg 2017 im Stadtzentrum und in den ländlichen Regionen in der Höhe. In Sitten war das Jahresergebnis fünfeinhalb Mal so hoch wie in den drei Jahren zuvor. Seit 2018 fielen die Werte auf ein Niveau, das in etwa dem von vor 2017 entspricht. Der von 2020 mit 4.1 µg/(m²xd) ist der niedrigste seit Beginn der Messungen in städtischen Gebieten, während in der Region in Industrienähe der von 2019 mit 3.1 µg/(m²xd) der niedrigste ist.

Die Ergebnisse für 2021 deuten auf einen ausgeprägten Anstieg der Niveaus hin. Die Jahreswerte in Industrienähe und in der ländlichen Region in der Ebene sind die höchsten, die seit Beginn der Messungen erzielt wurden. Die Schadstoffwerte bleiben jedoch im Vergleich zu den Grenzwerten niedrig. Die bedeutendste Entwicklung bleibt der starke Rückgang des Bleigehalts im Staub, der im Stadtzentrum von 1991 bis 2001 beobachtet wurde (Abbildung 27). Dies hängt damit zusammen, dass seit 1985 die Verwendung von bleifreiem Benzin gefördert wurde, was auch eine notwendige Voraussetzung für den Betrieb von Katalysatoren war, und dass der Bundesrat ab 2000 den Handel mit bleihaltigem Motorenbenzin, dem sogenannten Superbenzin, verbot.

ABBILDUNG 27 - STAUBNIEDERSCHLAG VON 1991 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE

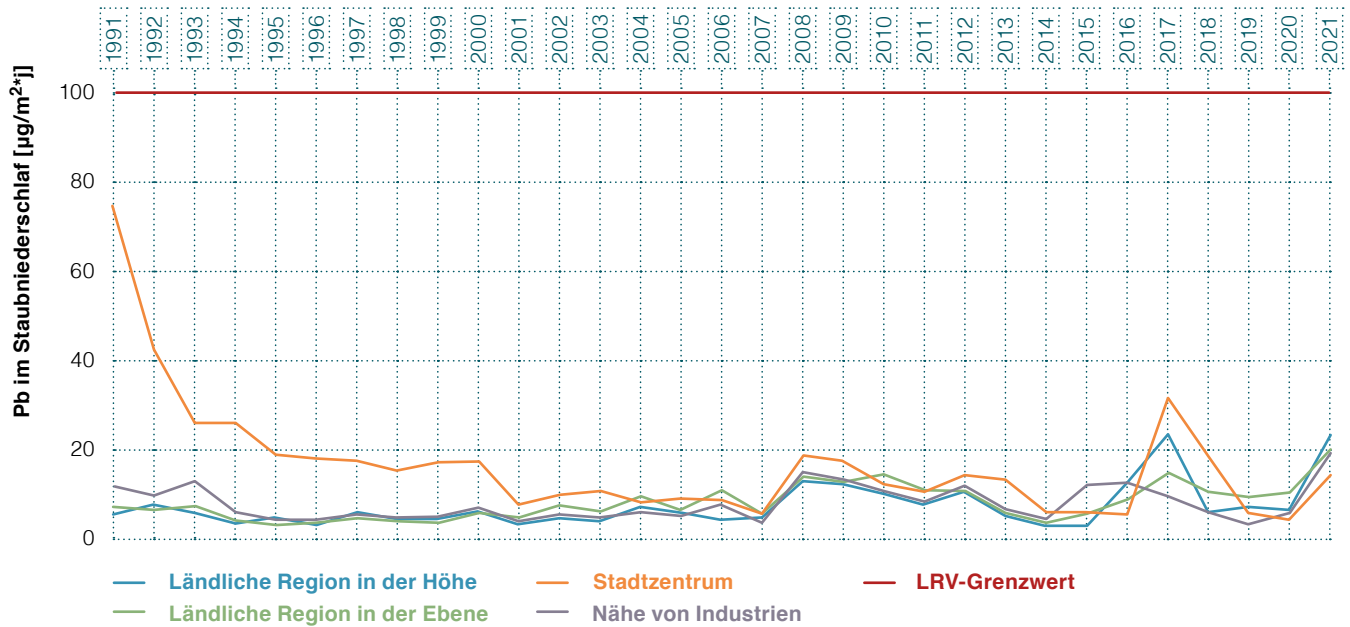
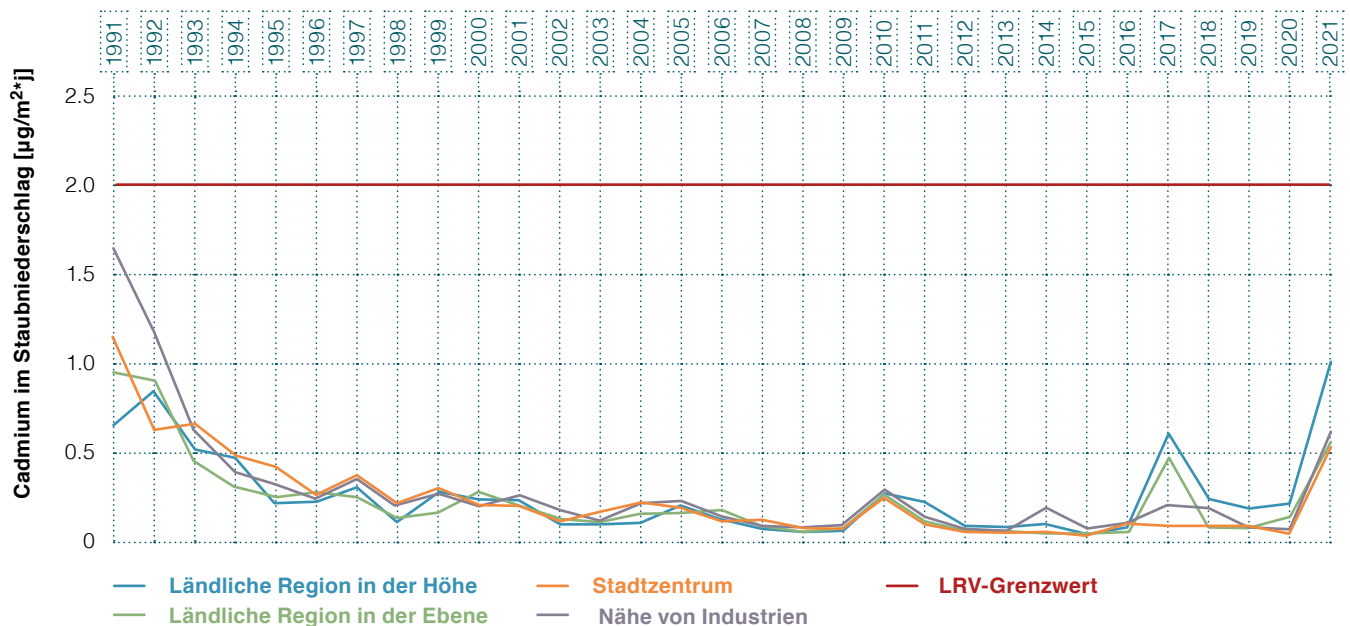


Abbildung 28 zeigt die Entwicklung der jährlichen Werte für Cadmium im Staubbiederschlag. Wie bei Blei wurden im Zeitraum von 2001 bis 2016 regelmässig sehr niedrige Werte gemessen, wobei die Jahre 2013 und 2015 die niedrigsten Werte aufwiesen. Im Jahr 2017 gab es deutliche Anstiege in den ländlichen Regionen und kleinere, aber dennoch signifikante Anstiege an anderen Stationen, ausser im Stadtzentrum. In den folgenden drei Jahren kehrten die Niveaus zu einem gewöhnlicheren Verlauf zurück. Danach stiegen sie wieder deutlich an. Im regionalen Durchschnitt wird die LRV-Begrenzung von $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ im Jahr 2021 dennoch eingehalten. Der Wert von $1 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ für die ländliche Region in der Höhe gilt jedoch nicht für die spezifische Situation von Les Giettes. Der Ort weist die in Tabelle 8 beschriebene spezifische Nichtkonformität auf. Aufgrund der deutlich niedrigeren Werte in Montana und Eggerberg erfüllt die Gesamtbelastung in den Regionen in der Höhe die LRV-Norm.

Seit 1991 sind die Cadmiumbelastungen im Staub im Allgemeinen stark zurückgegangen, was vor allem auf die Einführung von Rauchgasreinigungsanlagen, z. B. bei Abfallverbrennungsanlagen, und die Eliminierung von Cadmium aus vielen Produkten zurückzuführen ist. Im Juni 2021 wurde eine Emissionsmessung im Kamin der KVA Monthey (Satom) durchgeführt. Es wurde ein Massenstrom von 90 mg/h für Cd-Emissionen ermittelt. Bei den Messungen im Mai 2017 bzw. Juni 2019 betrug er 220 und 150 mg/h . Es wurde also keine Anomalie bei dieser Hauptquelle der Cadmiumfreisetzung festgestellt, die das Ergebnis der Resival-Station in Les Giettes speziell für das Jahr 2021 erklären könnte. Die Luftlinie zwischen der Station und der Abfallverbrennungsanlage beträgt $5,8 \text{ km}$ bei einem Höhenunterschied von 750 m .

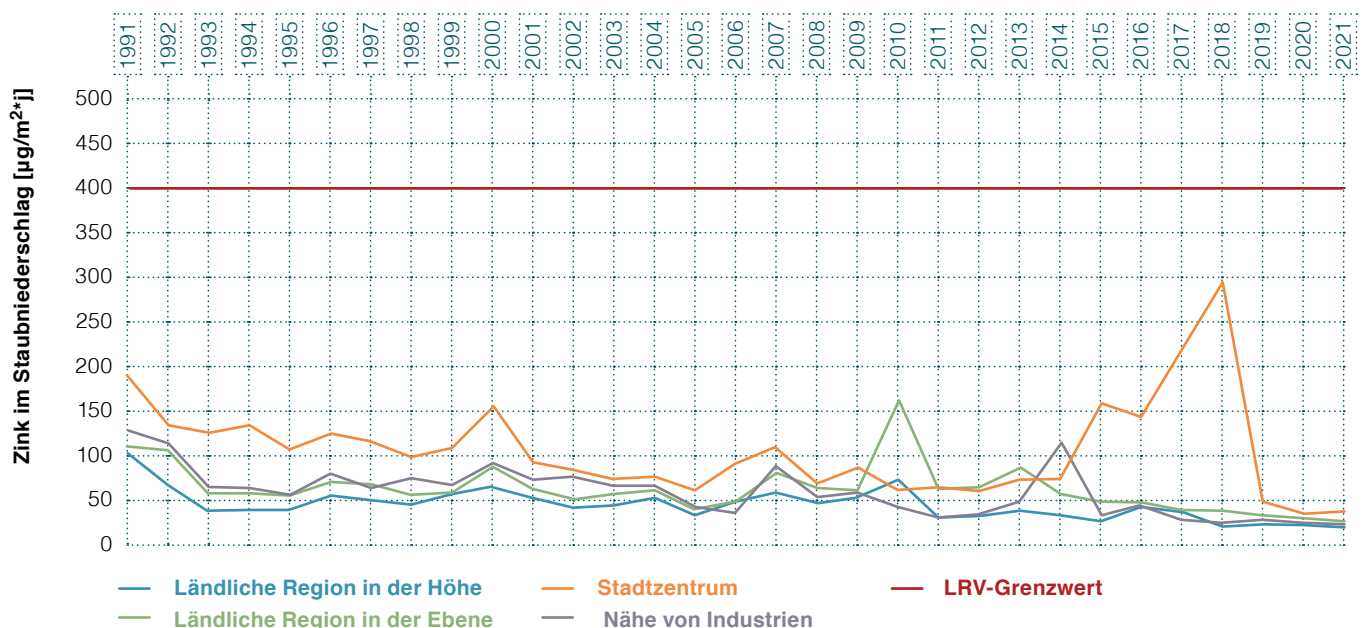
ABBILDUNG 28 - CADMIUM IM STAUBNIEDERSCHLAG VON 1991 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE



Bis 2014 stagnierten die Werte für Zink, wobei insgesamt ein leichter Rückgang zu verzeichnen war. Dieser Trend setzte sich ab 2015 fort, ausser im Stadtzentrum, wo ein deutlicher Anstieg einsetzte (Abbildung 29). Er erreichte 2018 mit 293 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ seinen Höhepunkt, der höchste Wert, der seit Beginn der Messungen beobachtet wurde. Nach dem Standortwechsel der Station Sitten im Frühjahr 2014 stiegen die Werte von durchschnittlich 70 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ in den Jahren 2012 bis 2014 auf fast das Vierfache im Jahr 2018. An seinem neuen Standort stand der Sammler an einem Metallzaun. Diese Maschendrahtzäune enthalten typischerweise Zink, das ihre Lebensdauer verlängert. So konnten sich Metallpartikel

lösen, in der Luft schweben und sich im nahegelegenen Sammler wieder setzen. Um diese Beeinflussung zu vermeiden, wurde der Sammler im Februar 2019 an eine andere Stelle versetzt. Er wurde weiter vom Metallzaun entfernt. Seitdem ist ein deutlicher Rückgang der jährlichen Zinkwerte im Stadtzentrum zu beobachten. Sie haben sich den Werten in anderen Regionen angeglichen. Ihre niedrigsten Werte seit Beginn der Messungen im Jahr 1991 wurden 2021 verzeichnet, in Sitten war dies 2020 der Fall. Angesichts der toxischen Wirkung von Zn in hohen Konzentrationen und seiner schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, insbesondere auf solche, die der Stadt als Schmuck dienen, ist diese Entwicklung erfreulich.

ABBILDUNG 29 - ZINK IM STAUBNIEDERSCHLAG VON 1991 BIS 2021, REGIONALE MITTELWERTE



11. Flüchtige organische Verbindungen – VOC

11.1. Steckbrief

Die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) bilden eine grosse Familie von organischen Molekülen, die alle Kohlenstoff enthalten. Die einfachsten sind die Kohlenwasserstoffe, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Andere enthalten Sauerstoff (Aldehyde und Ketone), Chlor oder Fluor; wieder andere Halogene, wie das krebserregende Trichlorethylen, das (vermutlich) krebserregende Perchlorethylen oder das F134a (CH_2FCF_3), ein Kühlmittel oder Bestandteil von Isoliermitteln und gemäss Kyoto-Protokoll ein THG.

Diese Moleküle stammen vor allem aus Treibstoffen und fossilen Brennstoffen, Lösungsmitteln, Farben, Fleckentfernern, Klebstoffen oder Kosmetika, aber auch aus natürlichen Quellen, wie Wäldern und Wiesen. Im Wallis gehen ca. 82% der NMVOC-Emissionen, die für 2020 insgesamt 12'740 Tonnen betrugen, auf natürliche Quellen zurück (Abb. 30). VOC aus natürlichen Quellen sind nicht schädlich, während die den vom Menschen hergestellten gesundheitsschädlich sind. Dagegen sind alle VOC an der Bildung von Ozon und Feinstaub durch sekundäre organische Aerosole beteiligt. Andere NMVOC-Quellen, mit einem Anteil von 10% am jährlichen Ausstoss, sind hauptsächlich Lösungsmittel, die im Haushalt oder beim Bau (namentlich in Verkleidungen) verwendet werden.

Aromatische Verbindungen, wie Benzol, Toluol, Äthylbenzol und die Isomere von Xylol (BTEX) befinden sich in der Umgebungsluft. Sie sind vor allem in Motortreibstoffen enthalten. Das Benzol besitzt krebserregende Eigenschaften. Im Jahr 2000 wurde sein maximaler Gehalt im Benzin von 5 auf 1% gesenkt. Es wird bei unvollständiger Verbrennung von Treib- und Brennstoffen ausgestossen. Es entsteht auch im Verbrennungsprozess von Wärmemotoren. Im Wallis könnte die chemische Industrie eine wichtige Quelle für diesen Schadstoff gewesen sein.

VOC - AUF EINEN BLICK

STADTZENTRUM



mittel

NÄHE VON INDUSTRIEN



mittel

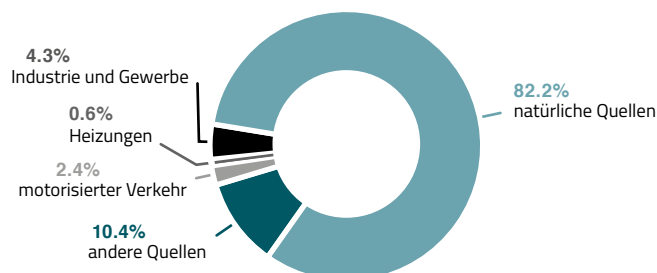
Eine dieser Firmen gab an, 1,6 bis 3 Tonnen pro Jahr emittiert zu haben, was fast 0,3% der gesamten jährlichen Benzolemissionen in der Schweiz im Jahr 2010 entspricht, d. h. etwa 700 t.

Die Messung von VOC erfolgt mithilfe hochentwickelter analytischer Geräte. Die Trennung erfolgt durch Gaschromatographie auf Kapillarsäulen und ihre Bestimmung durch Photoionisations- (PID) oder Flammenionisationsdetektoren (FID).



Bei Umschlag und Lagerung von Treibstoffen gelangen jährlich Dutzende von Tonnen Benzol in die Luft.

ABBILDUNG 30 - NMVOC-EMISSIONEN (VOC OHNE METHAN) IM WALLIS 2020



Offroad-Sektor (z. B. Baumaschinen, motorisierte Maschinen und Geräte in der Land- und Forstwirtschaft, Luft- und Bahnverkehr), Gastrocknung, Feuer im Freien, Feuerwerk, Lösungsmittel, illegale Abfallverbrennungen. Daten: Kantonales Emissionskater (Cadaro).

11.2. ERGEBNISSE 2021 UND ENTWICKLUNG DER IMMISSIONEN

Benzol gehört zu den krebserregenden und genotoxischen Luftschadstoffen, für die es keinen Schwellenwert gibt, unter welchem keine Gesundheitsgefahr besteht. Die LRV legt keine Immissionsgrenzwerte fest. Es ist der Grundsatz der LRV, dass Emissionen von krebserregenden Stoffen, unabhängig davon, wie hoch ihr schädigende Wirkung ist, soweit zu begrenzen, wie das technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Anhang 1 Ziff. 8 LRV).

Die Hauptquellen für Benzol sind der Strassenverkehr, die Verbrennungsabgase von Heizungen, die Verdampfung von Erdölprodukten an Tankstellen und Lagerhäusern und auf individuellerer Ebene das Tabakrauchen. 3 bis 5% der Benzol-Emissionen sind allerdings natürlichen Ursprungs. Die Europäische Union hat als jährlichen Richtgrenzwert 5 µg/m³ festgesetzt (Richtlinie 2000/69/EG). Der Referenzwert der WHO (RL) liegt bei 1,7 µg/m³ im Jahresdurchschnitt.

TABELLE 9 - BENZOL UND TOLUOL, ERGEBNISSE 2021

REGIONEN	STATIONEN	Benzol		Toluol	
		Jahresmittel [µg/m³]	Tageshöchstwert [µg/m³]	Jahresmittel [µg/m³]	Tageshöchstwert [µg/m³]
STADTZENTRUM	Sitten	0.7	5.7	3.4	26.6
NÄHE VON INDUSTRIEN	Massongex	0.5	2.4	2.3	21.3
	Brigerbad	0.9	6.7	2.7	19.7
	Baltschieder	1.2	14	4.9	34.9

ABBILDUNG 31 - BENZOL, JAHRESMITTEL

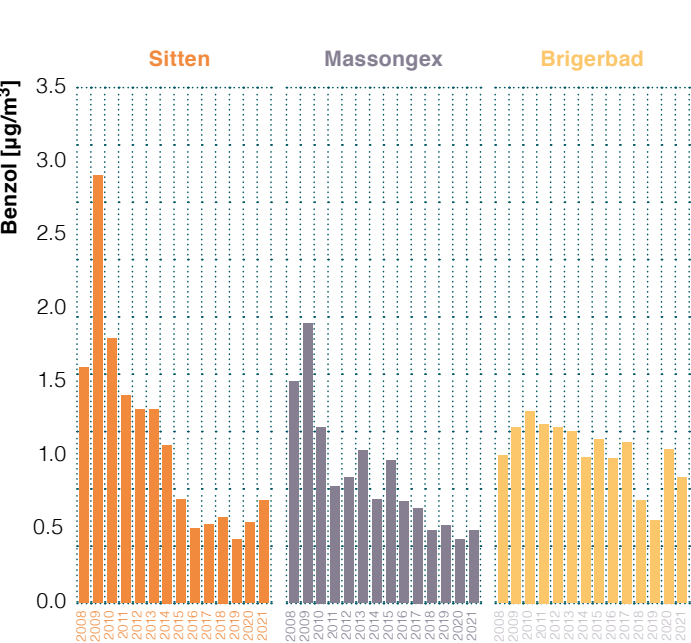
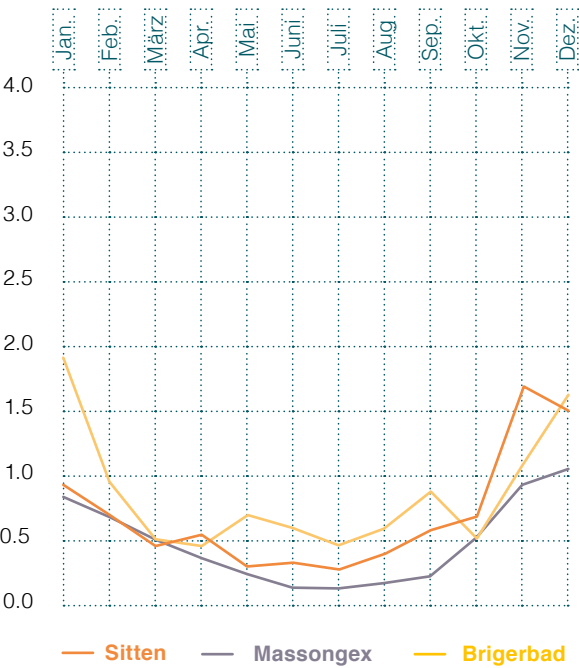


ABBILDUNG 32 - BENZOL, MONATSMITTEL 2021



Die von Resival in Sitten, Massongex und Brigerbad gemessenen Benzolwerte, die in Tabelle 9 wiedergegeben werden, liegen weit unter dem Grenzwert der Europäischen Union. Sie liegen auch klar unter dem RL-Wert der WHO. Das Risiko, im Wallis aufgrund des Benzols in der Luft an Krebs zu erkranken, liegt somit nicht über einem Fall auf 100'000 Personen, bei 340'000 Einwohnern sind das weniger als 3.4 Fälle pro Jahr. In Abb. 31 wird die Entwicklung in den letzten 14 Jahren gezeigt. Seit Messbeginn 2008 weisen die Jahreswerte für Benzol in Sitten und Massongex eine deutlich rückläufige Tendenz auf. Der Wert von $0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist der niedrigste Wert, der an diesen beiden Stationen verzeichnet wird, einmal im Jahr 2019, einmal im Jahr 2020. In Brigerbad ist der Rückgang viel bescheidener, ausser in den Jahren 2018 und 2019 mit den Tiefstwerten von $0.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Während im französischsprachigen Wallis die Luft eine anhaltende Qualitätsverbesserung in Bezug auf die Benzolbelastung erfährt, ist diese im Oberwallis kaum vorhanden. Die tiefsten Monatswerte sind im Sommerhalbjahr von April bis September zu finden (Abbildung 32). In der kalten Jahreszeit werden die Schadstoffe weniger gut verteilt und verdünnt, da die Luft allgemein weniger stark durchmischt wird.

Im Jahr 2021 lagen Tageswerte von Benzol über dem europäischen Jahresgrenzwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 9). Diese Tage

werden als kritisch bezeichnet, da die Immissionswerte zu einer Überschreitung der Begrenzung führen, wenn sie über einen längeren Zeitraum anhalten. Brigerbad verzeichnete 3, Sitten 2 und die mobile Station in Baltschieder 18 solcher Tage. Der RL-Wert der WHO wurde 2021 in Baltschieder an 52 Tagen, in Brigerbad an 44 Tagen, in Sitten an 21 Tagen und in Massongex an 6 Tagen überschritten. Die beiden Stationen im Oberwallis in der Nähe von Visp mit seinem Chemiestandort und konzentriertem Strassenverkehr hatten 2021 30 Mal gleichzeitig tägliche Überschreitungen des RL-Wertes zu verzeichnen. Abbildung 33 zeigt, dass die meisten Überschreitungen in den Monaten Januar, Februar, November und Dezember stattfanden, d.h. wenn die Luftmassen ruhiger sind und Hochdruckwetterlagen herrschen. An diesen Tagen verteilt sich die Luftverschmutzung ziemlich gleichmässig und kilometerweit über die Ebene. Die beiden Oberwalliser Stationen westlich und östlich der Ortschaft Visp zeugen davon. Die westlich von Visp erreichten Werte sind oft deutlich höher. Im Allgemeinen sind die Benzolspitzenwerte über das Jahr gesehen recht uneinheitlich. Die Station Sitten verzeichnete vom 6. bis 17. November ungewöhnlich hohe Benzolwerte mit einer Überschreitung des Niveaus von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am 10. November. Die Überschreitung des RL-Wertes vom 13. bis 24. Dezember wird mit einer ausgedehnten Hochdruckperiode über dem gesamten Wallis in Verbindung gebracht.

ABBILDUNG 33 - TAGESWERTE FÜR BENZOL 2021 AN DEN 4 STATIONEN IN DER EBENE

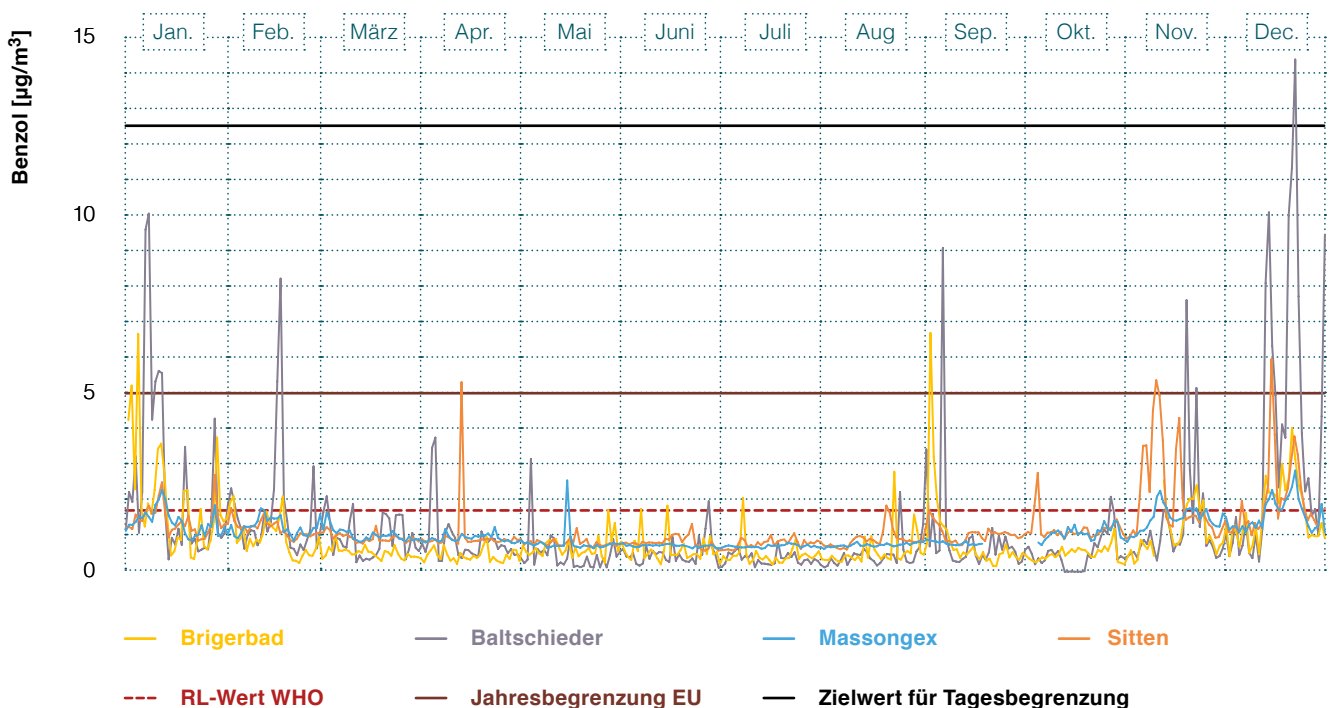
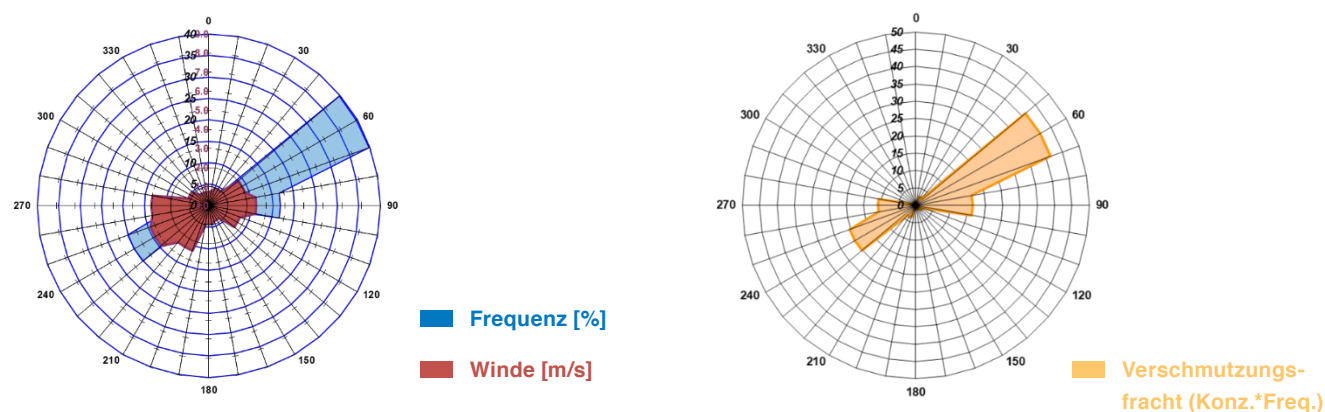


Abbildung 34 zeigt, dass es im Jahr 2021 viel häufiger aus Osten wehte, wenn Benzol ausserhalb von Intervallen mit wenig oder keinem Wind festgestellt wurde. Dies steht im Einklang mit der lokalen Meteorologie, zu der ausserhalb des Winters regelmässige Föhnphasen mit Ostwind in der Ebene und thermische Brisen gehören, die am Nachmittag vor allem aus dem Westen wehen, während sie vom Abend bis zum Mittag von den Bergen in die Ebene abflies-

sen. Der Messort Brigerbad stellt Verschmutzung hauptsächlich bei Wind aus dem Osten fest. Dort befinden sich Speicherbecken, eine Abfallverbrennungsanlage und der regionale Strassenverkehr von Brig nach Visp. Von Emissionen aus der Region Visp wird die Station öfters abgeschirmt, da der Wind sie von der Station wegtägt.

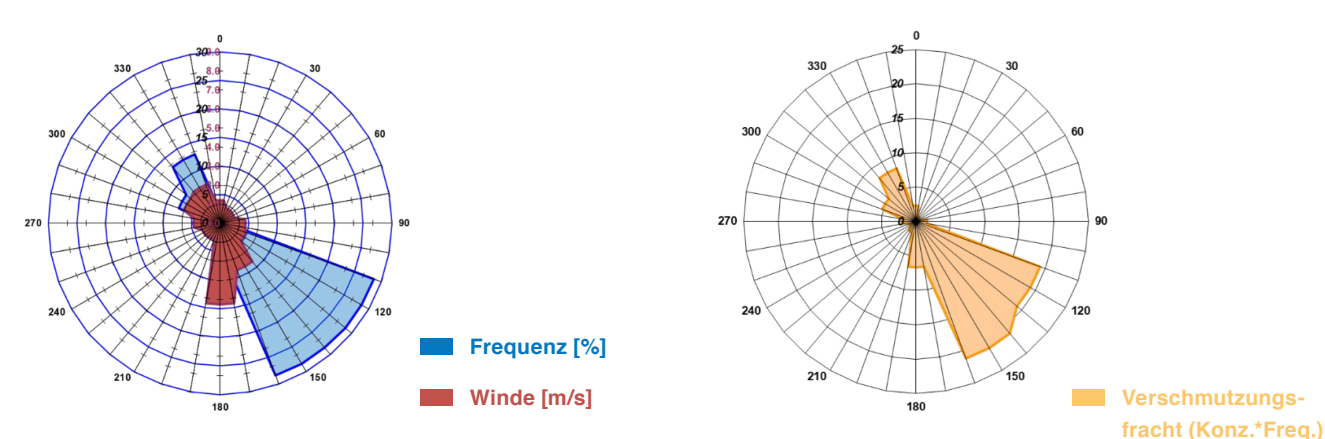
ABBILDUNG 34 - BENZOL-IMMISSIONEN AN DER STATION BRIGERBAD 2021



Die Station Massongex, die sich in der Nähe des Chemiestandorts im Norden befindet, liegt ebenfalls weniger häufig im Wind der industriellen Quellen, deren Verschmutzung sie bestimmen will. Die Windrose für diese Station (Abbildung 35) zeigt, dass der Wind häufiger aus dem Süden wehte, wenn Benzol ausserhalb der unbedeutenden Windintervalle (< 0,5 m/s) bestimmt wurde. Wenn der Wind von den Berggipfeln zum Genfersee weht, ist er in der Regel stärker. Dieser Ort befindet sich auch in einem Föhntal. Der Föhn

durchzieht es von Süden nach Norden. Also ist es hauptsächlich die Verschmutzung im Gebiet ohne Grossindustrie, die beschrieben wird. Benzol als Lösungsmittel wurde in der Industrie und ihren Produkten seit Jahren weitgehend abgeschafft. Daher deuten die Benzolbelastungsgraphen in den Abbildungen 34 und 35 darauf hin, dass der Strassenverkehr die Hauptursache ist. In Brigerbad kann jedoch ein signifikanter industrieller Beitrag für die Einträge aus dem Westen nicht ausgeschlossen werden.

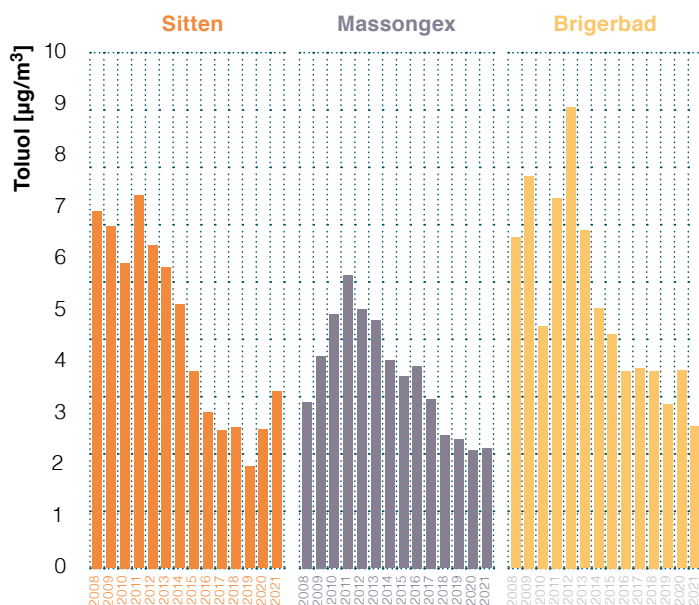
ABBILDUNG 35 - BENZOL-IMMISSIONEN AN DER STATION MASSONGEX 2021



Für Toluol-Immissionen wurde kein Grenzwert festgelegt. Die Ergebnisse für 2021 gibt Tab. 9 wieder. Die Jahreswerte für 2021 erreichen in Sitten wieder ein Niveau, das in etwa dem der Jahre 2015 bis 2016 entspricht, während es in Massongex seit 2018 in Richtung Tiefstwert stagniert. In Brigerbad ist das Ergebnis das niedrigste, das seit Beginn der Messungen im Jahr 2008 verzeichnet wurde. Eine deutliche Verbesserung der Luftqualität ist in Massongex und Brigerbad zu beobachten, scheint aber in Sitten nicht dauerhaft erreicht zu werden (Abbildung 36). Da im Dezember lange Hochdruckbedingungen herrschten, die vor allem im Oberwallis die Ansammlung von Luftschadstoffen begünstigten, wies Brigerbad in diesem Monat den höchsten Jahreswert auf

(Abbildung 37). Unter den BTEX ist Toluol die Verbindung mit den höchsten durchschnittlichen Konzentrationen. Im Jahresbericht 2019 wurden die Ergebnisse der Kampagne in Industrienähe im Wallis vorgestellt. Die Toluolwerte waren mehr als 2 bis 4,5 Mal höher als die Werte der anderen aromatischen VOC. In Bezug auf die Emissionen ist Toluol zusammen mit Xylenen in der LRV-Klasse 2 für organische Stoffe, während Ethylbenzol in der Klasse 1 ist. Die Emissionen werden in Klasse 1 stärker eingeschränkt, da sie Stoffe enthält, bei denen der begründete Verdacht besteht, dass sie krebserregend sein können. Dies ist bei Toluol nicht der Fall, im Gegensatz zu Benzol, das nachweislich krebserregende Eigenschaften hat.

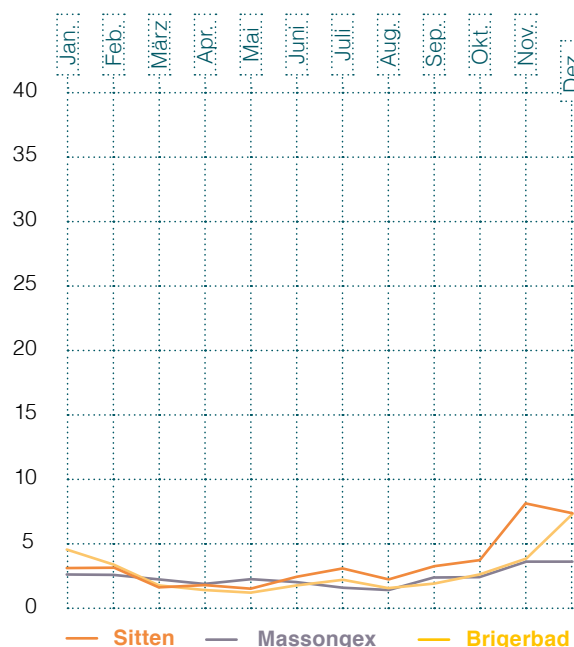
ABBILDUNG 36 - TOLUOL, JAHRESMITTEL



Die anerkannten Quellen für Toluol sind der Strassenverkehr, Industrie und Gewerbe sowie die Haushalte. Alle drei Quellen sind in der Umgebung der Messstationen in der Ebene im Oberwallis vorhanden. Während der Hochdruckperiode vom 13. bis 24. Dezember 2021 registrierte die mobile Station Baltschieder während 4 Tagen tägliche Toluolkonzentrationen von über 25 µg/m³. Die Lage dieser Station, die deutlich näher am Chemiestandort Visp liegt, trägt zu dieser Beobachtung bei, gegenüber jener von Brigerbad, wo die höchsten Konzentrationen an 2 Tagen, mit 16.5 bzw. 19.7 µg/m³, am 17. und 18. Dezember gemessen wurden.

VOC mit sehr grosser Reaktivität, wie die natürlichen Verbindungen Isopren, α-Pinen und Limonen, sind verantwortlich für kurzzeitige Ozonspitzen in der Nähe ihrer Quellen. Das grosse Übergewicht der natürlichen Quellen im Wallis (Abb. 30) begünstigt diese Prozesse. Weniger reaktive Stoffe wie Benzol, Toluol, Ethanol und Methan tragen hingegen zu einem Anstieg des Hintergrundozons in weiten Gebieten bei. In diesem Sinne ist eine Reduzierung al-

ABBILDUNG 37 - TOLUOL, MONATSMITTEL 2021



ler VOC vorteilhaft für die Verringerung der Ozonbelastung, wenn auch auf unterschiedlichen Zeitskalen und unter Berücksichtigung der natürlichen Emissionen. Um die durch menschliche Aktivitäten verursachten Freisetzungen zu minimieren, ist die Anwendung der Verordnung über die Lenkungsabgabe auf VOC (VOCV) zusammen mit den Emissionskontrollen auf der Grundlage der LRV-Begrenzungen eine wichtige Massnahme.

Auch Methan (CH₄) ist eine VOC. Seine Freisetzung in die Luft wurde in der früheren Version des Walliser Katasters nach unten korrigiert. Zuvor lagen die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC) bei etwa 12'700 Tonnen pro Jahr, nun werden sie auf etwa 6800 Tonnen pro Jahr geschätzt. Obwohl CH₄ an der Ozonproduktion beteiligt ist, ist es vor allem wegen seiner anhaltenden Wirkung als Treibhausgas (THG) besorgniserregend. Zusammen mit dem Kohlendioxid (CO₂) und dem Distickstoffmonoxid (N₂O) gehört es zu jenen Substanzen in der Atmosphäre, welche hauptsächlich für die seit über zehn Jah-

ren zu beobachtende Klimaerwärmung verantwortlich sind. Diese drei THG sind in der LRV weder bei den Emissionen noch bei den Immissionen begrenzt, was vor allem auf ihre geringe Ökotoxizität in den Konzentrationen, die wir einatmen, zurückzuführen ist. Zum Beispiel stellt CO₂ unterhalb von 1000 ppm keine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar (Norm SN546382/1). Die entsprechende Luftqualität wird also als hoch bis mittel eingestuft. Die Konzentrationen in der Atmosphäre liegen derzeit bei etwa 420 ppm. Im Jahr 2000 lag der Wert bei 370 ppm. Bei diesem Tempo wird der CO₂-Gehalt im Jahr 2100 bei 620 ppm liegen, wenn der Anstieg anhält. Die LRV könnte dann darauf abzielen, den Aus-

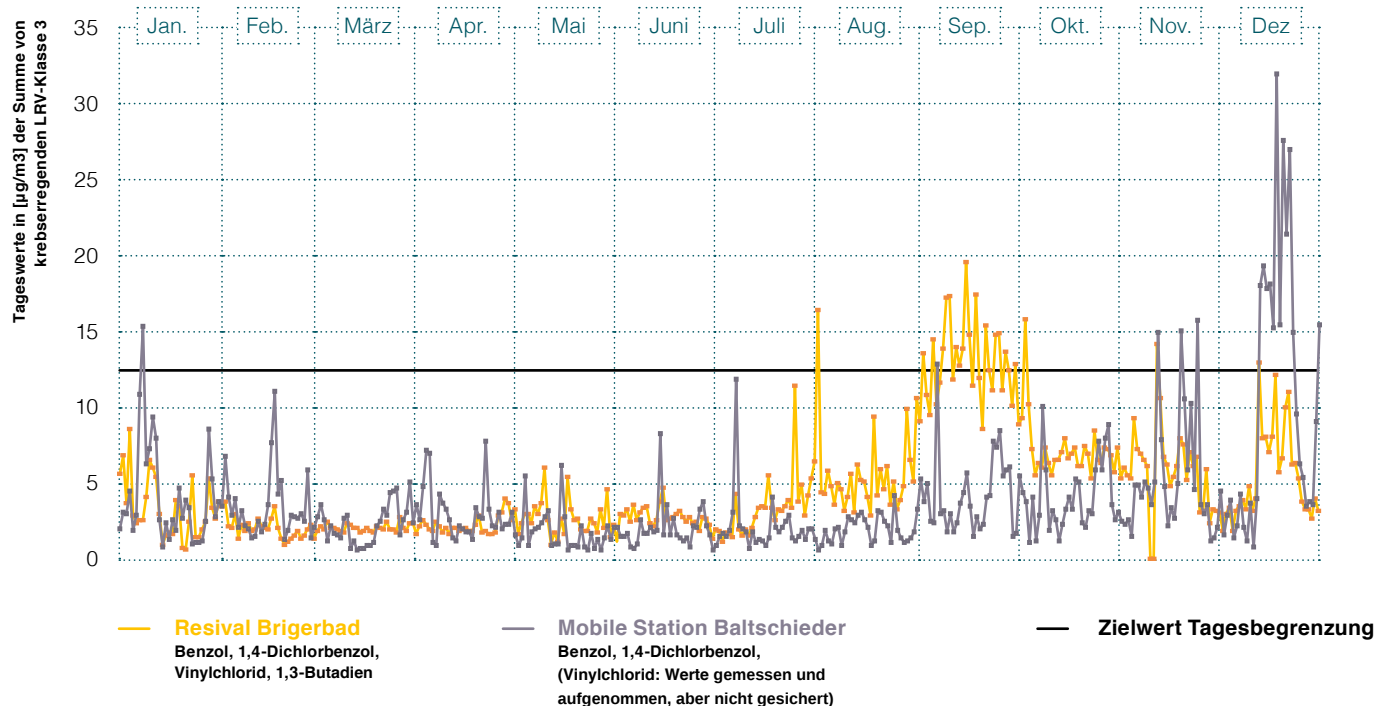
stoss von Treibhausgasen in die Atmosphäre so zu begrenzen, dass schädliche oder lästige Auswirkungen auf die Bevölkerung und die Ökosysteme vermieden werden. Die unterschiedlichen Strategien zur Verringerung der Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen spiegeln die Unterschiede in Bezug auf die Hebel und die zu ergreifenden Massnahmen wider. Sie berücksichtigen, dass Treibhausgase im Gegensatz zu den in der LRV geregelten Schadstoffen sehr lange Verweilzeiten in der Atmosphäre haben, die von 12 Jahren für CH₄ bis zu 150 Jahren für CO₂ reichen, eine breite räumliche Verteilung auf der ganzen Welt aufweisen und relativ geringe Auswirkungen auf die Gesundheit haben.

11.3. Krebserregende VOC im Oberwallis

Im Jahr 2019 wurde eine mobile Messstation in der Ebene im Oberwallis, in Baltschieder westlich von Visp, installiert. Die in Brigerbad beobachteten Schadstoffwerte sind bei den gängigen Schadstoffen regelmässig die zweithöchsten im Wallis. Für den Zeitraum 2019 bis 2021 lag der langjährige Durchschnitt dort bei 13 µg/m³ für Feinstaub PM10 (max. VS: 14 µg/m³ in Sitten), bei 8.2 µg/m³ für PM2.5 (max. VS: 8.8 µg/m³ in Saxon), bei 17 µg/m³ für NO₂ (max. VS: 20 µg/m³ in Sitten). In Bezug auf den maximalen stündlichen Ozonwert liegt das Ergebnis von Brigerbad des Jahres 2019 mit 147 µg/m³ an dritter Stelle der in den letzten drei Jahren beobachteten Höchstwerte mit dem Spitzenwert in Les Giettes und Massongex (155 µg/m³) und in Montana (149 µg/m³) im Jahr 2019, das gegen Ende Juni eine zehntägige Hitzeperiode erlebte. Die Hinzufügung einer zusätzlichen mobilen Station erschien daher gerechtfertigt, um die spezifischen Auswirkungen der vielfältigen Verschmutzungsquellen in Visp, in der Gemeinde und ihrer angrenzenden Region, besser zu erfassen. Sie umfassen Industrieanlagen, Verkehr und eine hohe Siedlungsdichte in einem der am stärksten eingeschlossenen Gebiete des Kantons. Und tatsächlich betragen die Werte für 2021 in Baltschieder im Jahresmittelwert 15 µg/m³ für PM10 und 17 µg/m³ für NO₂ gegenüber einem Stundenhöchstwert für Ozon von 100 µg/m³. Dies ist das höchste Walliser Ergebnis für PM10, das zweithöchste für NO₂, auf gleicher Höhe mit Brigerbad, aber das niedrigste für die Ozonhöchstwerte. Die hohen Stickoxidwerte sind aufgrund der Reaktion von NO mit O₃ nicht ganz unbeteiligt an diesem letzten Ergebnis. Die Station in Baltschieder wurde jedoch vor allem deshalb eingerichtet, um die VOC-Werte besser charakterisieren zu können. Dies ermöglicht es, unabhängig von der Windrichtung zu messen, wie sich die Verschmutzung aus der Gemeinde Visp nach Westen und Osten ausbreitet. In einen Fall ist es die Station Brigerbad, die im Wind steht, im anderen die Station Baltschieder. Bei ruhiger Luft zeichnen beide Stationen gleichzeitig die regionalen Schadstoffwerte auf. Beide Stationen sind mit GC-FID-Analysatoren ausgestattet, die für die Bestimmung von VOC in der Umgebungsluft ausgelegt sind. Das Gerät in Brigerbad ist höher entwickelt, da es mit einem speziellen Modul zur Messung von sehr flüchtigen VOC, wie 1,3-Butadien und Vinylchlorid, ausgestattet ist.

Die LRV listet in Anhang 1 Ziff. 8 über krebserregende Stoffe fünf Verbindungen auf, die Analysatoren erkennen können: Benzol, Trichlorethylen (TRI), Vinylchlorid (VC), 1,4-Dichlorobenzol (1,4DCB), 1,3-Butadien (1,3BuD). Die Bestimmung des TRI ist mit dem bestehenden System jedoch nicht möglich, da diese Substanz nicht von Iso-Oktan unterschieden werden kann. Dieser Schadstoff, der auch als 2,2,4-Trimethylpentan (TMP) bezeichnet wird, stammt hauptsächlich aus dem Strassenverkehr. Aufgrund der Intensität der Fahrzeugbewegungen in Visp spielt er sicherlich eine wichtige Rolle bei den TRI-Werten in Kombination mit TMP. Von den 4 ausgewählten krebserregenden VOC - Benzol, VC, 1,4DCB, 1,3BuD - ist keine vollständig vor Ko-Eluierungen geschützt, da sich der VOC-Mix in der Umgebungsluft mit der Zeit verändert. Ohne eine zusätzliche Bestimmung durch Massenspektrometrie sollten Messergebnisse zu diesen Verbindungen immer mit Vorsicht beurteilt werden. In Brigerbad betragen ihre Jahresmittelwerte jeweils 0.86, 0.87, 1.1 und 1.8 µg/m³, während sie in Baltschieder 1.2, 2.2, 0.23 µg/m³ ohne 1,3BuD betragen. Der VC-Wert 2.2 ist kursiv hervorgehoben, da die grundlegende Gerätekonfiguration nicht für diese Messung ausgelegt ist. Alle diese Werte liegen unter dem EU-Grenzwert von 5 µg/m³. Diese Information ist gesichert. Dagegen liegen die Jahreswerte von 1,3BuD in Brigerbad und VC in Baltschieder über dem RL-Wert der WHO von 1.7 µg/m³. Ein bis zwei Krebserkrankungen pro Jahr im Oberwallis können ihnen daher zugeschrieben werden. Aufgrund der ähnlichen Toxizität der vier untersuchten krebserregenden VOC wurde in früheren Jahresberichten eine tägliche Begrenzung ihrer kumulierten Konzentrationen vorgeschlagen. Sie wurde auf 12.5 µg/m³ geschätzt und stellt einen Zielwert dar, der nicht überschritten werden sollte. In dieser Hinsicht zeigt Abbildung 38 unten die Ergebnisse für das Jahr 2021 an den beiden Stationen in der Ebene im Oberwallis. Die Tagesbegrenzung wird nur einmal im Januar in Baltschieder überschritten; die Hauptursache ist Benzol. Im September in Brigerbad wurde sie mehrmals überschritten; 1,4DCB und 1,3BuD waren die Hauptverursacher. Die recht häufigen Überschreitungen in den letzten beiden Monaten in Baltschieder würden sich ohne die verzeichneten hohen VC-Werte nicht ereignen, ausser am 22. Dezember, als die Benzolkonzentration von 14.4 µg/m³ dafür ausreichte. Angesichts der hohen Unsicherheiten bei diesen Messungen sind die täglichen Überschreitungen des Zielwerts von 12.5 µg/m³ mit Vorsicht zu bewerten.

ABBILDUNG 38 - KREBSERREGENDE VOC-IMMISSIONEN IN DER EBENE IM OBERWALLIS 2021



LITERATUR

- [1] BAFU 2021: Luftqualität 2020. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umweltzustand Nr. 2114, 29 S.

- [2] Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, 8600 Dübendorf, Avril 2021: Chemical characterisation and source identification of PM10 and PM2.5 in Switzerland, Project report. C. Hüglin ans S. K. Grange.

- [3] Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, 8600 Dübendorf, Oktober 2021: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone, Messbericht 2020. A. Fischer und C. Hüglin.

- [4] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), 2013: Feinstaub in der Schweiz 2013. Bern 66 S.

- [5] Forschungsstelle für Umweltbeobachtung (FUB), Rapperswil, Juni 2021, 80 S.: Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2020. Messbericht. Seitler E., Meier M.

- [6] Seitler E., Meier M., Ehrenmann Z., 2021: Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2019. FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, Rapperswil. 131 S.

ABKÜRZUNGEN, EINHEITEN UND SYMBOLE

AGVS	Auto Gewerbe Verband Schweiz (www.agvs-upsa.ch).
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
BC	Black carbon. Er wird optisch durch seine Lichtabsorption definiert. Er enthält vor allem EK und besteht nebenbei aus schwerer organischer Materie
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (aromatische VOC)
Cadéro	Westschweizer Luftemissionskataster (Genf, Waadt, Wallis)
Cd	Cadmium
Cercl’Air	Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute (https://cerclair.ch)
CH₄	Methan
ChemRRV	Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (RS 814.81)
CLN	Critical loads for nitrogen (kritische Stickstoffablagerungsmengen)
CO	Kohlenmonoxyd
CO₂	Kohlendioxid
DEWK	Dienststelle für Energie und Wasserkraft (www.vs.ch/de/web/sefh)
DfE	Departement für Finanzen und Energie (Staat Wallis)
DFM	Dienststelle für Mobilität (www.vs.ch/de/web/sdm)
DMRU	Departement für Mobilität, Raumentwicklung und Umwelt (Staat Wallis)
DPM	Dienststelle für Personalmanagement (www.vs.ch/de/web/srh)
DSUS	Dienststelle für Strassenverkehr und Schifffahrt (www.vs.ch/de/web/scn)
DUW	Dienststelle für Umwelt (www.vs.ch/de/web/sen)
DVSV	Dienststelle für Verbraucherschutz und Veterinärwesen (https://www.vs.ch/de/web/scav)
DWNL	Dienststelle für Wald, Natur und Landschaft (www.vs.ch/de/web/sfnp) (ehemals DWFL, Dienststelle für Wald, Flussbau und Landschaft)
DWTI	Dienststelle für Wirtschaft, Tourismus und Innovation (www.vs.ch/de/web/seti)
EK	Elementarer Kohlenstoff, Graphit. Er wird chemisch definiert. E: Elementary carbon (EC)
EKL	Eidgenössische Kommission für Lufthygiene

EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (www.empa.ch)
EGW	Emissionsgrenzwert
FDDM	Stiftung für die nachhaltige Entwicklung der Bergregionen (www.fddm.ch)
FW	Fernwärme
H₂	Molekularer Wasserstoff
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr (E: Handbook Emission Factors for Road Transport – HBEFA)
IARC	International Agency for Research on cancer. D: Internationale Agentur für Krebsforschung (eine Agentur der WHO)
IGW	Immissionsgrenzwert
KKRL	Kantonale Kommission für die Reinhaltung der Luft (Kanton Wallis)
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage (Anlage für die thermische Verwertung von Abfällen)
kW	Kilowatt (10 ³ Watt, Einheit der energetischen Leistung [J/s] im SI)
kWh	Kilowattstunde (Einheit der Energie, Grösse ausgedrückt in [J] im SI); ein Generator mit 1 kW (1000 W), der eine Stunde durchgängig in Betrieb ist, liefert 1 kWh Energie, d.h. 3.6 MJ (1000 [J/s] × 3600 [s] = 3.6 [MJ])
LBi	Langzeit-Luftbelastungs-Index Schweizerisches System zur Kommunikation unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen Ausführungen dazu in der Empfehlung des CercI'Air Nr. 27b.
LRV	Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (RS 814.318.142.1)
mg/m³	Milligramm pro Kubikmeter (absolute Anzahl Moleküle in einem Kubikmeter unter Berücksichtigung ihres spezifischen Gewichts)
mg/(m²×d)	Milligramm pro Quadratmeter und Tag (manchmal abgekürzt als mg/(m ² ×T)
µg/m³	Mikrogramm pro Kubikmeter. Eine auf diese Weise ausgedrückte Konzentration stellt die absolute Anzahl Moleküle in einem Kubikmeter dar, unter Berücksichtigung ihres spezifischen Gewichts. Sie variiert je nach Höhe mit der Ausdehnung oder Verdichtung der Luft.
µg/(m²×d)	Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag (manchmal abgekürzt als g/(m ² ×T)
MW	Megawatt (10 ⁶ Watt, Einheit der energetischen Leistung in [J/s] im SI)
MWh	Megawattstunde (Einheit der Energie, Grösse ausgedrückt in [J] im SI; 1 MWh = 3.6 GJ)
NH₃	Ammoniak
NMVOC	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (VOC ohne Methan)
NO	Stickstoffmonoxid (1 ppb entspricht 1.25 µg/m ³ bei 293.15 K (20°C) und 1013.25 hPa (mbar))
NO₂	Stickstoffdioxid (1 ppb entspricht 1.91 µg/m ³ bei 293.15 K (20°C) und 1013.25 hPa (mbar))
NO_x	Stickstoffoxide (NO + NO ₂)
N₂O	Distickstoffoxid, Stickoxydul, Lachgas
O₃	Ozon (1 ppb entspricht 2 µg/m ³ bei 293.15 K (20°C) und 1013.25 hPa (mbar))
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (auch Polybenzole genannt)
Pb	Blei

PF	Partikelfilter
PM	Gesamter Schwebstaub
PM2.5	Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser, der kleiner oder gleich 2.5 Mikrometer (μm oder um) ist.
PM10	Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser, der kleiner oder gleich 10 Mikrometer (μm oder um) ist
ppb	Teile pro Milliarde (parts per billion). Drückt eine Konzentration relativ zu einer Milliarde Moleküle aus, unabhängig vom Volumen, das die Moleküle einnehmen, und unveränderlich mit der Höhe.
ppm	Teile pro Million (parts per million). Drückt eine Konzentration relativ zu einer Milliarde Moleküle aus, unabhängig vom Volumen, das die Moleküle einnehmen.
PSI	Paul Scherrer Institut (https://www.psi.ch)
QMS	Qualitätsmanagementsystem
RL	Reference level (Referenzniveau). Die WHO definiert ein Referenzniveau, über dem das Risiko, bei einem Individuum Krebs auszulösen, bei einer durchschnittlichen Lebenserwartung die tolerierte Schwelle von einer Person auf 100'000 übersteigt.
SAS	Schweizerische Akkreditierungsstelle (www.sas.admin.ch/sas)
SI	Internationales Einheitensystem
SO₂	Schwefeldioxid
SRF	Schweizer Radio und Fernsehen (öffentlich-rechtliches Medienunternehmen, www.srf.ch)
SVK	Schweizerischer Verband für Kältetechnik (www.svk.ch)
SUL	Sektion Umweltbelastungen und Labor (Teil der DUW)
Swiss TPH	Schweizerisches Tropen- und Public-Health-Institut (www.swisstph.ch)
TCS	Touring Club Schweiz (www.tcs.ch)
THG	Treibhausgas (hauptsächlich CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (RS 814.01)
VKTS	Verein Kontrollstelle Textilreinigung Schweiz (textilpflege.ch)
VOC	Flüchtige organische Verbindungen
VOCV	Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen vom 12. November 1997 (RS 814.018)
WBV	Walliser Baumeisterverband (www.ave-wbv.ch).
WHO	Weltgesundheitsorganisation E: World Health Organisation
WKMV	Walliser Kaminfeger Meister Verband
WMO	Weltorganisation für Meteorologie E: World Meteorological Organization
Zn	Zink

ANHÄNGE

ANHANG 1 Kantonaler Massnahmenplan für die Luftreinhaltung (LRV-Plan)

ANHANG 2 Resival: Allgemeines

ANHANG 3 Resival: Ergebnisse nach Stationen

ANHANG 4 Resival, Piktogramme für die Luftqualität

ANHANG 5 Luftqualität und Präventionsmassnahmen