

8. ALPENZUSTANDSBERICHT

LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN

ALPENSIGNALE – SONDERSERIE 8



ALPENKONVENTION
CONVENTION ALPINE
ALPSKA KONVENCIJA
CONVENZIONE DELLE ALPI

HERAUSGEBER

Ständiges Sekretariat der Alpenkonvention

Herzog-Friedrich-Straße 15
A-6020 Innsbruck
Österreich

AUSSENSTELLE

Viale Druso/Drususallee 1
I-39100 Bolzano/Bozen
Italien

www.alpconv.org

www.atlas.alpconv.org

info@alpconv.org

Übersetzungen: **INTRALP** - Italien

Titelbild: **Giorgio Debernardi**

Cover-Design: **HELIOS** - Italien

Graphik-Design: **De Poli & Cometto** - Italien

Klimaneutrale Veröffentlichung dank des Beitrags von **Rete Clima** - Italien

Druck: **Grafiche Antiga** - Italien

ISBN: **9788897500667**

© STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION, 2021



Die durch die Produktion dieser Publikation verursachten Treibhausgase wurden durch forstwirtschaftliche Maßnahmen in PEFC-zertifizierten Wäldern im Alpenraum ausgeglichen

8. ALPENZUSTANDSBERICHT

LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN

ALPENSIGNALE – SONDERSERIE 8





Die Erarbeitung des achten Alpenzustandsberichts wurde vom französischen Vorsitz der Ad-hoc-Arbeitsgruppe und dem Ständigen Sekretariat der Alpenkonvention koordiniert.

Der Text wurde von den Mitgliedern der Ad-hoc-Arbeitsgruppe und unter Mitwirkung des französischen Vorsitzes und des Ständigen Sekretariats der Alpenkonvention verfasst.

Der achte Alpenzustandsbericht kann in allen Alpensprachen und auf Englisch hier heruntergeladen werden: www.alpconv.org. Alle Karten finden sich auf www.atlas.alpconv.org.

KOORDINIERUNG DER AD-HOC-ARBEITSGRUPPE

VORSITZ

Éric Vindimian, Michel Pinet (*Conseil général de l'environnement et du développement durable, Ministère de la transition écologique, France – Generalrat für Umwelt und nachhaltige Entwicklung, Ministerium für ökologischen Wandel, Frankreich*)

STÄNDIGES SEKRETARIAT DER ALPENKONVENTION

Aureliano Piva

MITGLIEDER DER AD-HOC-ARBEITSGRUPPE

ÖSTERREICH

Andreas Bartel, Siegmund Boehmer (*Umweltbundesamt*)

Katharina Isepp, Thomas Parizek (*Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*)

FRANKREICH

Hubert Holin, François Lamoise (*Ministère de la Transition écologique – Ministerium für ökologischen Wandel*)

DEUTSCHLAND

Bryan Hellack (*Umweltbundesamt*)

Peter Frei (*Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz*)

Richard Schlachta (*Regierung von Oberbayern*)

ITALIEN

Cristina Leonardi (*Ministero della transizione ecologica – Ministerium für ökologischen Wandel*)

Adriana Pietrodangelo (*Consiglio nazionale delle ricerche – Nationaler Forschungsrat*)

Giorgio Cattani (*Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale – Institut für Umweltschutz und -forschung*)

LIECHTENSTEIN

Veronika Wolff (*Amt für Umwelt*)

MONACO

Laure Chevallier, Astrid Claudel-Rusin (*Gouvernement Princier, Principauté de Monaco – Regierung des Fürstentums Monaco*)

SLOWENIEN

Jože Jurša (*Ministrstvo za okolje in prostor – Ministerium für Umwelt und Raumplanung*)

Rahela Žabkar (*Agencija Republike Slovenije za okolje – Slowenisches Umweltamt*)

SCHWEIZ

Matthias Rinderknecht (*Bundesamt für Verkehr – Office fédéral des Transports – Ufficio federale dei trasporti*)

**BEOBACHTERINNEN
DER AD-HOC-ARBEITSGRUPPE**

Geneviève Borodine, Éric Fournier (*Région Auvergne-Rhône-Alpes – Region Auvergne-Rhône-Alpes*)

Thierry Billet, Claire Simon (*Association Villes des Alpes de l'année Verein Alpenstadt des Jahres*)

Špela Berlot, Kristina Glojek, Matej Ogrin (*CIPRA*)

Ursula Schüpbach (*ISCAR - International Scientific Committee on Research in the Alps – Internationales Wissenschaftliches Komitee Alpenforschung*)

**BERATERINNEN
DER AD-HOC-ARBEITSGRUPPE**

Laure Malherbe, Laurence Rouil, Morgane Salomon e Laurent Létinois (*INERIS - Institut national de l'environnement industriel et des risques – Französisches Institut für industrielle Umwelt und Risiken*)

**WEITERE INSTITUTIONEN UND PERSONEN,
DIE EINEN BEITRAG ZU DIESEM BERICHT GELEISTET HABEN**

Susanne Lindahl, Viviane André, Andrea Bianchini, Nicola Ostertag (*Europäische Kommission, Generaldirektion für Umwelt – GD Umwelt*)

Panagiota Dilara (*Generaldirektion für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU, Generaldirektion Wachstum – GD Wachstum*)

Michael Bittner (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - German Aerospace Center, Earth Observation Center*)

Michel Rostagnat (*Arbeitsgruppe Verkehr der Alpenkonvention, Ministère de la transition écologique Ministerium für ökologischen Wandel*)

Sylvia Medina (*Agence nationale de santé publique, France – Nationale Agentur für öffentliche Gesundheit, Frankreich*)

Johannes Kiesel (*Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege*)



LEKTORAT UND KORREKTORAT

Aureliano Piva, Nora Leszczynski, Nathalie Morelle, Živa Novljan, Stephanie Wolff, Gabriele Florà, Laura Wittkopp (*Ständiges Sekretariat der Alpenkonvention*)

FOCAL POINTS DER ALPENKONVENTION

ÖSTERREICH

Katharina Zwettler (*Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie*)

FRANKREICH

Isabelle Paillet (*Ministère de la transition écologique – Ministerium für ökologischen Wandel*)

DEUTSCHLAND

Christian Ernstberger (*Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*)

ITALIEN

Paolo Angelini (*Ministero della transizione ecologica – Ministerium für ökologischen Wandel*)

LIECHTENSTEIN

Heike Summer (*Amt für Umwelt*)

MONACO

Wilfrid Deri (*Département des relations extérieures et de la coopération, Principauté de Monaco – Ministerium für Auswärtige Angelegenheiten und Zusammenarbeit, Fürstentum Monaco*)

SLOWENIEN

Majda Lovrenčič (*Ministrstvo za okolje in prostor – Ministerium für Umwelt und Raumplanung*)

SCHWEIZ

Marc Pfister (*Bundesamt für Raumentwicklung – Office fédéral du développement territorial – Ufficio federale dello sviluppo territoriale*)

EUROPÄISCHE UNION (EU)

Andrea Bianchini (*Europäische Kommission, Generaldirektion für Umwelt – GD Umwelt*)



VORWORTE

Die Vorstellung von einer „reinen Bergluft“ erinnert an eine von menschlichen Eingriffen unberührte Umwelt. Dies ist jedoch eine zu starke Vereinfachung: Die Alpen – und damit die Alpenluft – sind meteorologischen Phänomenen, chemischen Reaktionen in der Atmosphäre und menschlichen Aktivitäten ausgesetzt. All diese Prozesse machen nicht an Landesgrenzen halt, und wir müssen sie durch eine transnationale Zusammenarbeit in Angriff nehmen. Zudem darf nicht vergessen werden, dass es keinen Schwellenwert gibt, unter dem Luftschadstoffe keine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen: Wenn man den Alpenraum nur mit unbelasteter, sauberer Luft in Verbindung bringt, besteht die Gefahr, dass die Gesundheitsrisiken, denen die AlpenbewohnerInnen ausgesetzt sind, unterschätzt werden und dadurch die Entwicklung einer vernünftigen öffentlichen Politik behindert wird.

All dies zeigt deutlich, warum es für die Alpenkonvention wichtig war, den achten Alpenzustandsbericht dem Thema Luftqualität zu widmen. Damit hat die Alpenkonvention als internationaler Vertrag zwischen den acht Alpenländern und der EU, der ein alpenweites Netzwerk von politischen EntscheidungsträgerInnen, WissenschaftlerInnen und zivilen Organisationen zusammenbringt, einmal mehr einen guten Rahmen geboten, um den aktuellen Zustand der Luftqualität im Alpenraum eingehend zu untersuchen, die wichtigsten spezifischen Quellen der Luftschadstoffe in den Alpen zu erkennen, den politischen Umgang damit darzustellen, und wirksame, praktische Empfehlungen zur Verbesserung der Luftqualität zu geben. Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse des Berichts, dass die Luftqualität gut ist, jedoch verbessert werden kann und sollte. Darüber hinaus wird deutlich, dass es in den Alpen Herausforderungen und Risikofaktoren gibt, insbesondere in einigen bestimmten Gebieten und in Bezug auf bestimmte Schadstoffe. Vor allem aber zeigt der Bericht, dass es wichtig ist, gemeinsam und zeitnah zu handeln, um die Gesundheit und das Wohl der AlpenbewohnerInnen und -besucherInnen sicherzustellen!

Daher danke ich dem französischen Vorsitz der Alpenkonvention für die Wahl dieses Themas sehr, und ebenso danke ich der internationalen Ad-hoc-Arbeitsgruppe dafür, dass sie die Situation so detailliert, zeitgemäß und gründlich untersucht hat und damit den Weg für präzisere und wirksamere Lösungen auf den verschiedenen Verwaltungsebenen ebnet.

Alenka Smerkolj

Generalsekretärin der Alpenkonvention



Selten werden die Alpen mit Luftverschmutzung in Verbindung gebracht. Unsere Berge gelten oft zu Recht als Rückzugsorte mit sauberer Luft zum Atmen. Sie bilden einen Gegenpol zu den Städten, von denen viele als verschmutzt und durch Verkehrsemissionen belastet gelten. Aber sind wir sicher, dass wir in den Bergen gute Luft finden? Wie steht es wirklich um die Luftqualität in den Alpentälern? Muss die Luftqualität in den Alpen noch verbessert werden? Wie sähen mögliche Lösungen aus?

Mit diesen Fragen befasste sich die Alpenkonvention während des französischen Vorsitzes 2019-2020 im achten Alpenzustandsbericht. Es wurden genaue Daten gesammelt und die Mechanismen der Luftverschmutzung und ihrer Folgen für die Gesundheit und die Natur wurden untersucht. Die neuesten Forschungsergebnisse zur Luftqualität in den Alpen und Best-Practice-Beispiele zur Verbesserung derselben wurden zusammengetragen und aufbereitet.

Der Bericht bestätigt, dass die Luftqualität in den Alpen gut ist. Trotzdem leiden einige Alpentäler unter hoher Luftverschmutzung. Der Gehalt an Feinstaubpartikeln mit einem Durchmesser von über 2,5 µm ist generell zu hoch im Vergleich zu den von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Werten.

Holzverbrennung, Verkehr und Landwirtschaft sind je nach Ort und Jahreszeit die Hauptverursacher dieser Luftverschmutzung. Die lokalen Gemeinschaften und die Staaten ergreifen zahlreiche Initiativen zur Verringerung der Schadstoffbelastung. Einige Maßnahmen haben dabei positive Nebeneffekte, wie die Reduktion der Treibhausgasemissionen oder der Lärmbelastung.

Der Bericht schließt seine Analyse mit zehn Empfehlungen, wie die Luftqualität in den Alpen weiter verbessert, die BewohnerInnen stärker geschützt und die Alpen für BesucherInnen noch attraktiver gemacht werden können. Es sei mir erlaubt, die Hoffnung auszudrücken, dass diese Empfehlungen gehört werden und dass die politischen Stellen in dieser Bandbreite von Möglichkeiten die Maßnahmen finden, die es ihnen erlauben, den Anspruch der BürgerInnen auf saubere Luft als Voraussetzung für eine gute Gesundheit zu gewährleisten.

Ich möchte auch unterstreichen, dass dieser achte Alpenzustandsbericht vor allem ein gemeinsames Werk ist. Von allen Mitgliedsstaaten der Alpenkonvention wurden qualifizierte und engagierte ExpertInnen ernannt, die an der Datenerhebung und Zusammenfassung der daraus gewonnenen Erkenntnisse mitwirkten. Hochrangige ExpertInnen sichteten die neueste Fachliteratur über die Quellen von Luftschadstoffen, ihren Transport in der Atmosphäre und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme. Diese Zusammenarbeit prägte auch unsere Sitzungen, von denen viele wegen der aktuellen Gesundheitslage als Videokonferenzen abgehalten wurden.

Ich durfte diese Gruppe koordinieren, und es war mir eine Freude, den Teamgeist aller Beteiligten, die ständige Suche nach Kompromissen und vor allem die Empathie zwischen uns allen zu sehen und zu spüren. Es ist dieser Geist, der die Alpenkonvention groß macht. Ich danke allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe sowie den Vertragsparteien der Alpenkonvention, die sie unermüdlich unterstützt haben.

Éric Vindimian

Koordinator der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe zur Vorbereitung des achten Alpenzustandsbericht

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGEN	14
TABELLEN	16
ABKÜRZUNGEN, SYMBOLE UND FORMELN	18
ZUSAMMENFASSUNG	21
<hr/>	
1 EINLEITUNG UND ZIELE	25
<hr/>	
2 DER RECHTSRAHMEN IM BEREICH LUFTQUALITÄT	28
2.1 Die EU-Gesetzgebung	28
2.1.1 Luftqualitätsrichtlinien	28
2.1.2 Die Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe	30
2.2 Nationale Regelungen in Österreich, Liechtenstein, Monaco und der Schweiz	31
2.2.1 NO ₂	32
2.2.2 Feinstaub	32
2.3 Luftreinhaltepläne	32
2.4 Internationale Übereinkommen, Abkommen und Koordinierung	33
2.4.1 Das Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung	33
2.4.2 WHO-Leitlinien	34
2.4.3 Sonstige Aktivitäten der UNO	34
<hr/>	
3 BESCHREIBUNG VON LUFTSCHADSTOFFEN UND ATMOSPHÄRISCHEN PROZESSEN IN DEN ALPEN	35
3.1 Meteorologische und klimatische Prozesse	35
3.1.1 Die Meteorologie in den Alpen begünstigt die Luftverschmutzung	35
3.1.2 Ozonregime	38
3.1.3 Weiträumiger Transport von Luftmassen	39
3.1.4 Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftqualität in den Alpen	40
3.2 Schadstoffquellen	41
3.2.1 Verbrennung von Biomasse (Holz)	42
3.2.2 Straßenverkehr	46
3.2.3 Grenzüberschreitende Verschmutzung	47
3.2.4 Quellen von Vorläuferemissionen, die sekundäre Aerosole bilden	47
3.2.4.1 Sekundäre anorganische Aerosole	48
3.2.4.2 Sekundäre organische Aerosole	48



4	AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG	50
4.1	Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit: Sterblichkeit	50
4.2	Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit: Morbidität	50
4.3	Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit im Alpenraum	52
4.4	Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Ökosysteme	53
5	DER ZUSTAND DER LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN	55
5.1	Datenquellen	55
5.1.1	Die geografische Verteilung: ein Überblick	55
5.1.2	Die geografische Verteilung der Messstationen nach Luftschadstoffen	58
5.2	Stand der Konzentrationen	61
5.2.1	Vergleich mit europäischen Umweltzielen und WHO-Leitlinien	61
5.2.2	Vergleich mit nationalen Grenzwerten	67
5.3	Trendanalyse und Korrelation mit Minderungsstrategien	67
5.3.1	NO ₂	70
5.3.2	Ozon	70
5.3.3	PM ₁₀	71
5.3.4	PM _{2,5}	71
5.3.5	BaP	71
6	RELEVANTE FORSCHUNGSPROJEKTE UND OBSERVATORIEN FÜR DIE LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN	72
6.1	Das Umweltforschungsprojekt „PureAlps“	72
6.2	Hochalpine Umweltmessstationen	73
6.3	Das bestehende Monitoringnetzwerk im Alpenperimeter zur Messung der Luftverschmutzung (neben den Messstationen nach den Richtlinien 2008/50/EG und 2004/107/EG)	74
6.3.1	Deutsches Netzwerk für Ultrafeinstaub	74
6.3.2	NextData-Projekt zur Ozonforschung	74
6.4	Die Beobachtung der Luftqualität im Alpenraum als Teil des Virtuellen Alpenobservatoriums (VAO) - Ein Beitrag der Alpenkonvention	75
6.4.1	Das Bioklimatische Informationssystem (BioClis)	78
6.4.2	Zwei Beispiele für Szenarien	78
6.5	Die Luftschadstoffüberwachung in der Zukunft	79

7	BEISPIELE UND INTELLIGENTE LÖSUNGEN ZUR REDUKTION DER LUFTVERSCHMUTZUNG	80
7.1	Biomasseverbrennung und Heizungsanlagen im Allgemeinen	80
7.1.1	Finanzielle Anreize	80
7.1.1.1	<i>Reduktion der Partikelemissionen aus Holzverbrennung in Privathaushalten, Frankreich</i>	80
7.1.2	Wissenserweiterung	81
7.1.2.1	<i>Maßnahmen zum Einsatz von Holz zum Heizen, Slowenien</i>	81
7.1.2.2	<i>Wissenstransfer auf verschiedenen Verwaltungsebenen: Cercl'Air Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute, Schweiz</i>	81
7.1.2.3	<i>Abkommen über kleine Holzfeuerungsanlagen, Italien</i>	81
7.1.3	Nah- und Fernwärme	82
7.1.3.1	<i>Maßnahmen für Gebäudeheizungen in Übereinstimmung mit dem Luftreinhalteplan, Slowenien</i>	82
7.1.3.2	<i>Holz-Wärmeverbund, Disentis-Mustér, Schweiz</i>	82
7.1.3.3	<i>Ausbau der Fernwärme, Bayern, Deutschland</i>	82
7.1.3.4	<i>Umweltförderung für Biomasse-Nahwärme in Österreich</i>	83
7.2	Emissionsreduktion von VOC/Ozon-Vorläuferemissionen	83
7.2.1.1	<i>Die schweizerische Gesetzgebung für NMVOC</i>	83
7.2.1.2	<i>Strengere Vorschriften für VOC-emittierende Betriebe, Deutschland</i>	84
7.3	Der Verkehrssektor mit Blick auf die NO₂- und Feinstaubreduktion	84
7.3.1	Regulierungsmaßnahmen und Politik zur Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene: Personen- und Güterverkehr	85
7.3.1.1	<i>Verkehrsverlagerung im Güterverkehr, alpenweit</i>	85
7.3.1.2	<i>Verlagerungspolitik der Schweiz im alpenquerenden Güterverkehr</i>	86
7.3.1.3	<i>Verkehrsverlagerung und Fahrverbote für ältere Fahrzeuge im alpenquerenden Güter- und Personenverkehr in Österreich</i>	87
7.3.1.4	<i>Umweltzonen und Kaufprämien für Fahrzeuge, Frankreich</i>	88
7.3.1.5	<i>Ein Best-Practice-Beispiel aus dem maritimen Bereich: ein Emissionskontrollgebiet für Seeschiffe, Fürstentum Monaco</i>	89
7.3.1.6	<i>Dynamische Steuerungsmaßnahmen – BrennerLEC, Italien</i>	90
7.3.2	Mobilitätsmanagement	90
7.3.2.1	<i>Eine Koordinationsstelle als institutioneller Rahmen für nachhaltige Mobilität, Schweiz</i>	90
7.3.2.2	<i>SchweizMobil für autofreies Reisen quer durch das Land durch die Verlinkung von Tourismus, Freizeit, Unterkünften und Sehenswürdigkeiten, Schweiz</i>	91
7.3.2.3	<i>Mobilitätskonzept in Kärnten, Österreich</i>	91
7.3.2.4	<i>Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs durch kostenlose Beförderung von SchülerInnen, Zuschüsse für den ÖPNV, kostenlose Nutzung des ÖPNV an Wochenenden, Bayern, Deutschland</i>	92
7.3.2.5	<i>Mobilitätskonzept in Form eines S-Bahn-Projekts: Verkehrsbereich, Liechtenstein</i>	93
7.3.2.6	<i>Förderung des Radverkehrs in Salzburg, Österreich</i>	93



7.3.2.7	Förderung des Umstiegs vom Auto auf das Fahrrad in Bayern, Deutschland	94
7.3.2.8	Förderung smarter Mobilität mit dem PostAuto zur Steigerung des Anteils des öffentlichen Verkehrs, Schweiz	94
7.3.2.9	Förderung der sanften Mobilität, Fürstentum Monaco	95
7.3.3	Technische Maßnahmen: Alternative Kraftstoffe / Antriebssysteme	95
7.3.3.1	Energiestrategie 2050 / Energieeinsparung, Schweiz	95
7.3.3.2	Eingehende Analyse der Förderung nichtfossiler Verkehrsträger im öffentlichen Straßenverkehr, Schweiz	96
7.3.3.3	Förderung der E-Mobilität, Bayern, Deutschland	96
7.3.4	Entwicklung des Straßengüterverkehrs	98
7.4	Integrierte Planung: Mobilitätsplanung und Raumplanung	98
7.4.1.1	Das Raumkonzept Schweiz, Schweiz	99
7.4.1.2	Ein integrierter Luftreinhalteplan, Frankreich	100
7.4.1.3	Ein gemeinsames regionales Programm für saubere Luft in verschiedenen Bereichen, bspw. Verkehr, Italien	100
7.5	Reduktion der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft in Berggebieten	101
7.5.1.1	Reduktion der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen, Schweiz	101
<hr/>		
8	FAZIT UND EMPFEHLUNGEN AN DIE POLITIK	103
8.1	Reduktion der Feinstaub- und BaP-Emissionen aus der Holzverbrennung	103
8.1.1	Messung und Information	103
8.1.2	Förderung der Modernisierung von Kleinheizungsanlagen	103
8.2	Förderung sauberer Mobilität	104
8.2.1	Verfolgung einer ambitionierten Mobilitätspolitik	104
8.2.2	Investitionen für einen sauberen Verkehr	104
8.3	Verringerung der Emissionen aus der Landwirtschaft	105
8.4	Luftreinhaltepolitik	105
8.4.1	Entwicklung von Initiativen zur Luftreinhaltung in den Alpen	105
8.4.2	Ausweitung des Anwendungsbereichs des Übereinkommens von Espoo und des LRTAP-Übereinkommens	106
8.4.3	Unterstützung der Green Deal-Initiative der EU im Bereich Luftverschmutzung	106
8.5	Verbesserung des Wissens über die anthropogenen Ursachen der Luftverschmutzung	106
<hr/>		
9	LITERATURVERZEICHNIS	108
<hr/>		
ANHANG 1:	ÜBERBLICK ÜBER DIE HÄUFIGSTEN SCHADSTOFFE	116
ANHANG 2:	RELEVANTE PROJEKTE IM ALPENRAUM	120

ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Karte des Perimeters der Alpenkonvention.	25
Abbildung 2:	Temperaturunterschied auf zwei Höhen und PM ₁₀ -Konzentration im Arve-Tal.	36
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Prozesse, die verunreinigte Luft aus der Grenzschicht aus angrenzenden Ebenen und Tälern bis zu den Gipfeln transportieren.	36
Abbildung 4:	Die drei Reihen zeigen die Verteilung der CO-, NO ₂ - und O ₃ -Konzentrationen im Inntal (Tirol, AT).	37
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der für das Ozon in der Troposphäre verantwortlichen chemischen und physikalischen Prozesse.	38
Abbildung 6:	Emissionsentwicklung von Einzelraumfeuerungsanlagen in der Schweiz.	42
Abbildung 7:	Ergebnisse des Projekts „SOURCES“, welche die Beiträge der PM ₁₀ -Quellen an verschiedenen Orten in Frankreich zeigen.	49
Abbildung 8:	Karte des erwarteten Mortalitätsrückgangs bei einem nicht-anthropogenen Verschmutzungsszenario in den verschiedenen Gemeinden des Arve-Tals.	52
Abbildung 9:	Maximale Überschreitung der kritischen Belastungsgrenzen in Schweizer Wäldern und naturnahen und natürlichen Ökosystemen durch Stickstoffdepositionen im Jahr 2010 pro km ² .	54
Abbildung 10:	Geografische Verteilung der Messstationen, die im Zeitraum 2016-2018 im Alpenraum in Betrieb waren, unter Hinzunahme der Stationen aus den kantonalen und kommunalen Messnetzwerken der Schweiz für den gleichen Zeitraum.	56
Abbildung 11:	Histogramm, das die Verteilung der Messstationen im Alpenraum nach Höhenlage zeigt, einschließlich der Stationen aus den kantonalen und kommunalen Messnetzwerken der Schweiz, die im Zeitraum 2016-2018 in Betrieb waren.	56
Abbildung 12:	Karten der Messstationen in den Alpen für Stickstoffdioxid, Ozon PM ₁₀ , PM _{2,5} , Benzo(a)pyren und Schwermetalle.	58
Abbildung 13:	Verteilung der Jahresmittelwerte der NO ₂ -Konzentrationen 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum.	62
Abbildung 14:	Karte der Entwicklung der Überschreitung des langfristigen Ziels von O ₃ für den Schutz der menschlichen Gesundheit im Alpenraum.	62
Abbildung 15:	Verteilung der Jahresmittelwerte der PM ₁₀ -Konzentrationen 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum.	63
Abbildung 16:	Überschreitung des PM ₁₀ -Tagesgrenzwertes für den Schutz der menschlichen Gesundheit 2016, 2017 und 2018 in den französischen und italienischen Gebieten des Alpenraums.	64
Abbildung 17:	Verteilung der Jahresmittelwerte der PM _{2,5} -Konzentrationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum.	65
Abbildung 18:	Karte der Jahresmittelwerte der PM _{2,5} -Konzentration im Jahr 2018 in den Alpen.	65

Abbildung 19:	Verteilung der Jahresmittelwerte der BaP-Konzentrationen im PM_{10} in den Jahren 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum. Die gelb gepunktete Linie stellt den Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie (2008/50/EG) dar.	66
Abbildung 20:	Karte der Jahresmittelwerte der BaP-Konzentration 2018 im Alpenraum.	66
Abbildung 21:	Veränderung der Jahresmittelwerte der NO_2 -Konzentrationen in $\mu g/m^3$ im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018...	68
Abbildung 22:	Veränderung der Anzahl der Tage, an denen die Ozonkonzentration den achtstündigen maximalen Tagesmittelwert von $120 \mu g/m^3$ an über 8 Stunden im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018 überschritten hat.	68
Abbildung 23:	Entwicklung der Jahresmittelwerte der O_3 -Konzentrationen nach Klassifizierung der Messstationen zwischen 2009 und 2018. Als ländlich, vorstädtisch und städtisch eingestufte Messstationen sind Hintergrundstationen.	69
Abbildung 24:	Veränderung der Jahresmittelwerte der PM_{10} -Konzentrationen in $\mu g/m^3$ im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018.	69
Abbildung 25:	Entwicklung der $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerte in $\mu g/m^3$ an städtischen und vorstädtischen Hintergrundstationen im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018.	70
Abbildung 26:	Der jüngste Trend von BaP an einer italienischen Messstation in den Alpen.	70
Abbildung 27:	Ergebnis aus der luftmassenbezogenen Messung: Anströmung der Alpengipfel aus drei dominierenden Richtungen.	73
Abbildung 28:	Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze.	73
Abbildung 29:	Sonnblick Observatorium.	74
Abbildung 30:	Mittlere Konzentration der troposphärischen NO_2 -Säule für den Zeitraum Januar Juni 2019 über dem Alpenraum (satellitengestützte Messungen von Sentinel 5P der ESA, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).	75
Abbildung 31:	Bioklimatisches Informationssystem nach Landkreisen.	76
Abbildung 32:	Simulation des Einflusses einer Verdoppelung des Straßenverkehrs für einen Zeitraum von zehn Tagen im Februar 2018 auf die NO_2 -Konzentration und die Feinstaubkonzentration (PM_{10}).	77
Abbildung 33:	Differenz zwischen den an 25 Bodenstationen in der Lombardei gemessenen NO_2 -Konzentrationen und dem Modell WRF-POLYPHEMUS / DLR für den Zeitraum vom 1. Februar 2020 bis zum 13. April 2020.	78
Abbildung 34:	Verkehrswege über die Alpen.	85
Abbildung 35:	Vergleich der Zusatzfaktoren für die externen Kosten des Straßen- und Schienenverkehrs im Alpenraum.	86
Abbildung 36:	Luftschadstoff- und CO_2 -Emissionsentwicklung 2004-2018 auf der A2 und A13 im Alpenraum.	87
Abbildung 37:	Verlauf der Emissionsfaktoren für NO_x und NO_2 auf der A12 in Österreich.	88
Abbildung 38:	Beobachtung und Analyse der alpenquerenden Güterverkehrsströme in zwei transalpinen Tunneln.	97

TABELLEN

Tabelle 1:	Luftqualitätsstandards für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation gemäß den EU-Luftqualitätsrichtlinien.	29
Tabelle 2:	Vergleich der Luftqualitätsstandards für Feinstaub, Stickstoffdioxid und Benzo(a)pyren im Alpenraum.	31
Tabelle 3:	Leitlinien für die Luftqualität (AQG) und geschätzte Referenzwerte (RW).	32
Tabelle 4:	Beitrag von Biomasseverbrennung, Verkehr und Bildung von sekundären Aerosolen zur PM ₁₀ -Konzentration in ausgewählten Alpentälern.	41
Tabelle 5:	Emissionsfaktoren für ausgewählte Heizungssysteme, die für die Österreichische Luftschadstoff-Inventur verwendet werden (pro Terajoule erzeugter Energie).	44
Tabelle 6:	Vergleich der bestehenden Emissionswerte von Holzheizungen mit den zukünftigen Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG in Verbindung mit der Verordnung (EU) 2015/1185.	45
Tabelle 7:	Überschreitung der kritischen Belastungsgrenze von Stickstoffnährstoffen in verschiedenen geschützten Ökosystemen in der Schweiz in den Jahren 1990, 2000 und 2010.	54
Tabelle 8:	DVerteilung der 234 Messstationen nach Art der Umgebung.	55
Tabelle 9:	Luftmessstationen im Perimeter der Alpenkonvention.	57
Tabelle 10:	Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Nahwärmanlagen.	83
Tabelle 11:	Vergleich der Emissionen zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr. Bezugsjahr: 2018.	86



ABKÜRZUNGEN, SYMBOLS UND FORMELN

AEI	Indikator für die durchschnittliche Exposition (<i>Average exposure indicator</i>)	FL	Fürstentum Liechtenstein
AlpEnDAC	Alpen-Umweltdatenanalysezentrum	FR	Frankreich
AQG	Luftgüteleitlinien (<i>Air quality guidelines</i>)	GAW	Globale Überwachung der Atmosphäre (<i>Global Atmosphere Watch Programm</i>)
As	Arsen	Hg	Quecksilber
AT	Österreich	HULIS	Atmosphärische, humusähnliche Substanzen (<i>Atmospheric humic-like substances</i>)
BAFU	Schweizerisches Bundesamt für Umwelt	IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung (<i>International Agency for Research on Cancer</i>)
BaP	Benzo(a)pyren	IT	Italien
BioClis	Bioklimatisches Informationssystem	LEZ	Umweltzone (<i>Low Emission Zone</i>)
C₆H₆	Benzol	LKW	Lastkraftwagen
Cd	Kadmium	LRV	Schweizer Luftreinhalte-Verordnung
CH	Schweiz	MC	Fürstentum Monaco
CLRTAP	Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (<i>Convention on Long-range Transboundary Air Pollution</i>)	NEC	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtungen für bestimmte Luftschadstoffe (<i>National Emission Ceilings</i>)
CNG	Komprimiertes Erdgas	NH₃	Ammoniak
CO	Kohlenmonoxid	Ni	Nickel
DE	Deutschland	NMVO	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (<i>Non-methan volatile organic compounds</i>)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	NO	Stickstoffmonoxid
EC	Europäische Kommission (<i>European Commission</i>)	NO₂	Stickstoffdioxid
EU	Europäische Union	NO_x	Stickstoffoxide
EUA	Europäische Umweltagentur	O₃	Ozon
EUSALP	EU-Strategie für den Alpenraum		



OCP	Organochlorpestizide	UNEP	Umweltprogramm der Vereinten Nationen (<i>United Nations Environment Programme</i>)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	US EPA	US-Umweltbehörde (<i>United States Environmental Protection Agency</i>)
Pb	Blei	VAO	Virtuelles Alpenobservatorium
PCB	Polychlorierte Biphenyle	VOC	Flüchtige organische Verbindungen
PER	Perchlorethylen	WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organisation</i>)
PM	Feinstaub (<i>Particulate matter</i>)	WMO	Weltorganisation für Meteorologie (<i>World Meteorological Organisation</i>)
PM₁₀	Feinstaub mit einem Durchmesser kleiner als 10 µm	YLL	Verlorene Lebensjahre (<i>Years of life lost</i>)
PM_{2,5}	Feinstaub mit einem Durchmesser kleiner als 2,5 µm		
POA	Primäre organische Aerosole		
POP	Persistente organische Schadstoffe (<i>Persistent Organic Pollutant</i>)		
ppb	Teile pro Milliarde (<i>Parts per Million</i>)		
SA	Sekundäre Aerosole		
SI	Slowenien		
SO₂	Schwefeldioxid		
SOA	Sekundäre organische Aerosole		
SOMO35	für Ozon die Summe der Mittelwerte über 35 ppb (höchste tägliche 8-Stunden- Mittelwerte)		
UFP	Ultrafeinstaub mit einem Durchmesser kleiner als 0,1 µm		
UFS	Umweltforschungsstation Schneefernerhaus Zugspitze		
UNECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>)		

IM ANHANG 1 WIRD EIN ÜBERBLICK ÜBER DIE HÄUFIGSTEN SCHADSTOFFE GEGEBEN



ZUSAMMENFASSUNG

Gesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung für Europa und für die Alpenländer sowie internationale Übereinkommen zur Bekämpfung der Luftverschmutzung regen dazu an, das Wissen über Luftverschmutzung zu erweitern, die dahinterliegenden Mechanismen und Trends zu verstehen und geeignete politische Initiativen zur Verbesserung der Luftqualität zu ergreifen.

Diese umfangreichen Regelungen und Abkommen bilden zwar einen sehr nützlichen Rahmen, sind jedoch nicht eigens auf die Situation im Alpenraum zugeschnitten. Die Alpen sind im Allgemeinen ein Gebiet mit hoher Luftqualität, von der BewohnerInnen und BesucherInnen profitieren: Saubere Luft ist sowohl ein Gut für die Einheimischen als auch ein attraktives Element für alle UrlauberInnen, die die alpinen Landschaften und Freizeitaktivitäten genießen. Gleichzeitig muss betont werden, dass eine niedrige Luftqualität schädlich für die menschliche Gesundheit ist. Luftverschmutzung ist der bedeutendste ökologische Risikofaktor für die menschliche Gesundheit und hat negative Auswirkungen auf einen Großteil der Ökosysteme, wie in der wissenschaftlichen Literatur vielfach belegt ist.

Bei einer Analyse der verfügbaren Daten aller statischen Messstationen in den Alpen wird deutlich, dass die Schadstoffbelastung zum Großteil unter den von der Europäischen Union (EU) vorgeschriebenen Grenzwerten liegt. Wird die Luftverschmutzung in den Alpen jedoch an anderen Qualitätszielen gemessen, wie z.B. denen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zum Schutz der menschlichen Gesundheit, sieht die Lage anders aus: So liegt beispielsweise die gemessene Konzentration von Feinstaubpartikeln mit einem Durchmesser von weniger als $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) in einigen Fällen über den von der WHO empfohlenen Werten, auch wenn sie in letzter Zeit zurückgegangen ist. Dasselbe kann an einigen Messstationen für den an Feinstaubpartikel gebundenen krebserregenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff Benzo(a)pyren (BaP) beobachtet werden. Darüber hinaus übersteigt die Stickstoffdeposition in Verbindung mit Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft die kritischen Belastungsgrenzen für einige Wälder in den Alpen. Es wurde jedoch eine Trendanalyse durchgeführt, die zeigt, dass sich die Lage in den letzten zehn Jahren generell für alle untersuchten Schadstoffe mit

Ausnahme von Ozon verbessert hat.

Dieser Bericht analysiert die Phänomene der Luftverschmutzung, wie sie in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur beschrieben werden. In den vergangenen zehn Jahren wurden im Alpenraum diverse Forschungsprogramme durchgeführt, deren veröffentlichte Ergebnisse auf die Quellen der Luftverschmutzung hin analysiert wurden. In den Alpen werden Schadstoffe vor allem dort freigesetzt, wo sich Verkehr und städtische Infrastruktur konzentrieren. Häufig wird mit Holz geheizt, was zwar aus Sicht des Klimaschutzes gut ist, jedoch Vorkehrungen zur Vermeidung der Feinstaubemissionen erfordert. Sekundäre Aerosole (SA) aus verschiedenen Quellen, unter anderem aus der Landwirtschaft, erhöhen die Feinstaubbelastung und den Stickstoffeintrag im Boden. Auch bestimmte Wetterlagen spielen in den Alpen eine Rolle. Besonders hervorzuheben sind Inversionswetterlagen, welche die vertikale Durchmischung der Luftmassen verhindern, so dass die Luftverschmutzung unten am Boden gehalten wird. Infolgedessen gibt es in den Alpen einige Orte mit hoher Luftschadstoffbelastung. Grundsätzlich ist es möglich die Luftqualität zu verbessern und dadurch den sehr hohen Standard zu erreichen, der von der Alpenkonvention in ihrem Ziel C gefordert wird: „drastische Verminderung von Schadstoffemissionen und -belastungen im Alpenraum [...] auf ein Maß, das für Menschen, Tiere und Pflanzen nicht schädlich ist“ (Alpenkonvention, 2018).

Der Bericht beschreibt auch eine Reihe von Best-Practice-Beispielen und intelligenten Lösungen, die in den Alpenländern von regionalen und lokalen Behörden sowie von den Kommunen umgesetzt werden. Auch wenn diese Sammlung intelligenter Lösungen nicht vollständig ist, zeigt sie doch deutlich, dass die Menschen in den Alpen aktiv an der Verbesserung der Luftqualität arbeiten. Diese Maßnahmen reichen von Heizsystemen über Verkehrssteuerung und Mobilitätspolitik bis hin zur Förderung umweltfreundlicher Technologien und lokalen Regelungen.

Schließlich werden ausgehend von diesen Beispielen Empfehlungen gegeben, die den politischen EntscheidungsträgerInnen bei der Verbesserung der Luftqualität in den Alpen helfen sollen.

EMPFEHLUNG 1

Unterstützung relevanter Organisationen:

- bei Vor-Ort-Messungen von Feinstaub, insbesondere von Benzo(a)pyren aus Holzheizungen und -kesseln;
- bei der Information der Bevölkerung über die Bedeutung der Holzverbrennung für die Gesundheit.

EMPFEHLUNG 2

Reduzierung der Emissionen aus privaten Heizungsanlagen durch Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Erneuerung bestehender Heizungen durch emissionsarme Anlagen sowie Unterstützung und Begleitung der BetreiberInnen:

- bei der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden;
- beim Austausch alter umweltbelastender Heizanlagen und -kessel;
- beim Umstieg von herkömmlichen Brennstoffen auf saubere Energien.

EMPFEHLUNG 3

Nach Beratung und Umweltverträglichkeitsprüfung: Einführung regionaler und lokaler Mobilitätsinitiativen für den Personen- und Güterverkehr; öffentliche Verkehrsmittel und aktive Mobilitätsformen fördern und dort, wo wesentliche Beeinträchtigungen der Luftqualität zu erwarten sind, Anreize mit Auflagen verbinden.

EMPFEHLUNG 4

Förderung einer Strategie für saubere Mobilität und emissionsfreie Fahrzeuge, zum Beispiel durch ein ausgewogenes Steuer- und Anreizsystem für die Internalisierung der externen Kosten der Umweltverschmutzung zur Abbildung der wahren Kosten des Verkehrs und Verstärkung der Marktsignale zugunsten sauberer Mobilität und emissionsfreier Fahrzeuge.

EMPFEHLUNG 5

Förderung des Einsatzes einer intelligenten Verkehrssteuerung, z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen, Straßenbenutzungsgebühren, Förderung sauberer Fahrzeuge auf alpenquerenden Autobahnen und in alpenquerenden Tunneln zur Emissionsverringering, sowie:

- Förderung der Implementierung alternativer Verkehrstechnologien und des kombinierten Verkehrs;
- Integration des öffentlichen Verkehrs in multimodale Mobilitätssysteme;
- Förderung der Verlagerung des Personen- und Güterverkehrs.

**EMPFEHLUNG 6**

Unterstützung der Entwicklung guter landwirtschaftlicher Praktiken zur Begrenzung der Emissionen von Stickstoffverbindungen wie Ammoniak und der Verbrennung von Grünabfällen und Schlagabraum im Freien.

EMPFEHLUNG 7

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention werden ermutigt, Initiativen zur Luftreinhaltung zu entwickeln, inklusive Maßnahmen zur Verringerung der wichtigsten Quellen von Umweltverschmutzung in ihren Ländern, wie private Heizungen, Mobilität, Energie, Industrie und Landwirtschaft

EMPFEHLUNG 8

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention sollten mit den Nachbarländern und -regionen zusammenarbeiten, um die Reduktion des grenzüberschreitenden Schadstofftransports im geografischen Gebiet der Alpenkonvention zu fördern.

EMPFEHLUNG 9

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention sollten:

- das Kapitel Luftqualität des europäischen Green Deals unterstützen;
- die Anpassung an die WHO-Luftgüteleitlinien anstreben.

EMPFEHLUNG 10

Entwicklung eingehender und spezifischer Studien zur Luftqualität in den Alpen, insbesondere dort, wo Probleme mit der Luftqualität bekannt sind oder aufgrund der Überwachung der Situation zu erwarten sind, um den Einfluss der Quellen von Luftverschmutzung und auch die damit verbundenen sozialen und politischen Fragen zu untersuchen.



1. EINLEITUNG UND ZIELE

Die Alpen sind das zentrale Gebirge in Europa. 14 Millionen Menschen leben im Alpenraum, und Millionen von UrlauberInnen genießen die herrliche Landschaft, das Kulturerbe, die Freizeiteinrichtungen und die saubere Luft. Das Perimeter der Alpenkonvention erstreckt sich über 190.700 km² in acht Ländern, inklusive mehrerer Städte mit mehr als 100.000 EinwohnerInnen; zudem ist das Gebiet von europäischen Großstädten umgeben. Dieser Bericht befasst sich mit dem Thema Luftqualität innerhalb des Perimeters der Alpenkonvention, welches in Abbildung 1 dargestellt ist.

Die Luftqualität in den Alpen ist grundsätzlich als gut zu bezeichnen. Allerdings gibt es auch im Alpenraum Quellen für Luftschadstoffe, wie z.B. Ballungsräume und Hauptverkehrswege, aber auch Emissionen aus der Holzverbrennung und

Industrie. Darüber hinaus können regionale und weiträumig transportierte Luftmassen zur Verschmutzung der Luft in den Alpen beitragen. Obwohl einige natürliche Emissionen mit Phänomenen der Atmosphärenchemie verbunden sind, sind menschliche Aktivitäten die Hauptursache für die Luftschadstoffbelastung in den Alpen.

Die besondere Orographie der Alpen führt zu einer komplexen Verteilung und Konzentration von Luftschadstoffen in den dicht besiedelten Tälern. Täler und Alpenvorland sind ein geografischer und meteorologischer Schadstofffänger. Zudem ist der Alpenraum ein außerordentlich empfindliches Ökosystem. Saubere Luft hat in den Alpen insbesondere für den Tourismus, Outdoor-Freizeitaktivitäten und den Schutz der Ökosysteme eine hohe Bedeutung. Deshalb wird der Analyse und Ver-

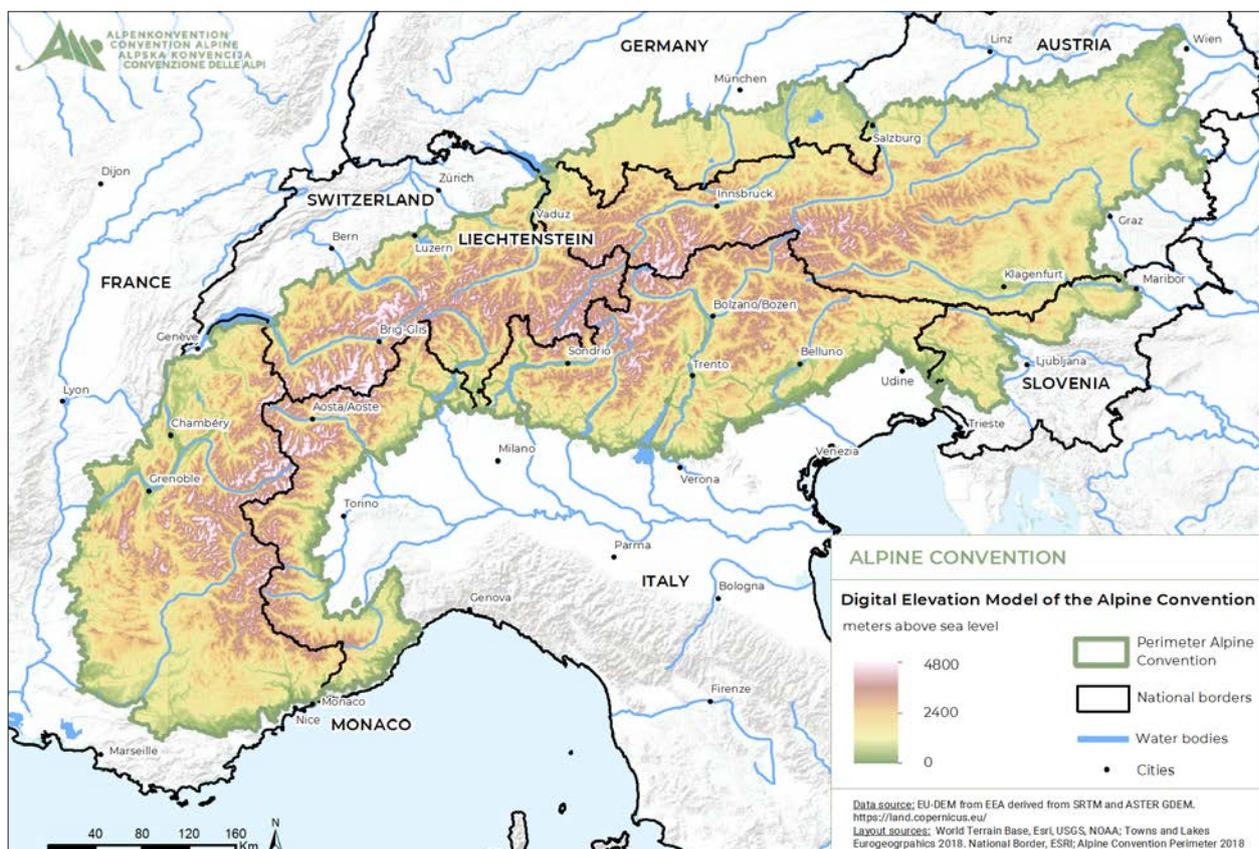


Abbildung 1: Karte des Perimeters der Alpenkonvention.

besserung der Luftqualität in den Alpen von den Vertragsparteien der Alpenkonvention eine hohe Priorität eingeräumt.

Im Hinblick auf die menschliche Gesundheit und den Umweltschutz werden die Hauptschadstoffe durch EU-Regelungen und in der Schweiz durch nationale Vorschriften kontrolliert. Zudem sind die Schweiz, die EU-Mitgliedstaaten und ihre Partner Vertragsparteien des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP), in dessen Rahmen mehrere Protokolle die Grenzwerte weiterer Stoffe, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), persistente organische Schadstoffe (POP) oder Schwermetalle festhalten.

Auf Vorschlag des damals künftigen französischen Vorsitzes beschloss die XV. Alpenkonferenz (Innsbruck, AT, 4. April 2019), dass der achte Alpenzustandsbericht das Thema Luftqualität in den Alpen behandeln soll. Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurde eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich aus ExpertInnen aller Alpenländer zusammensetzte. Daraufhin erarbeitete die Gruppe den vorliegenden Bericht und legte ihn der XVI. Alpenkonferenz (10. Dezember 2020) vor, die ihn offiziell verabschiedete. Der Vorschlag des französischen Vorsitzes trug der Tatsache Rechnung, dass seit 2006, als der erste Alpenzustandsbericht das Thema Verkehr und Mobilität behandelt hatte, die Luftqualität von der Alpenkonvention nicht angemessen berücksichtigt wurde. Neben dem Klimawandel und der Anpassung daran, der Erhaltung der Biodiversität und der Förderung einer Kreislaufwirtschaft, ist die Erhaltung einer hohen Luftqualität nun ein zentrales Ziel der Umwelt- und Gesundheitspolitik. Ziel der Alpenkonvention ist es, „unter Beachtung des Vorsorge-, des Verursacher- und des Kooperationsprinzips eine ganzheitliche Politik zur Erhaltung und zum Schutz der Alpen“ (Alpenkonvention, 2018) sicherzustellen. Absatz C der allgemeinen Verpflichtungen der Rahmenkonvention (Art. 2) lautet wie folgt: „Luftreinhaltung mit dem Ziel der drastischen Verminderung von Schadstoffemissionen und -belastungen im Alpenraum und der Schadstoffverfrachtung von außen, auf ein Maß, das für Menschen, Tiere und Pflanzen nicht schädlich ist“.

Der Schutz der menschlichen Gesundheit ist eine Hauptaufgabe und Priorität in der Luftreinhaltungspolitik, auch wenn die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Nutzpflanzen und Ökosysteme wichtige Anliegen bleiben. Luftschadstoffe werden ungeachtet nationaler Grenzen über weite Strecken transportiert und wirken sich negativ auf

die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme aus: Sie sind unter anderem für Versauerung, Eutrophierung und bodennahe Ozonbelastung verantwortlich. Der achte Alpenzustandsbericht behandelt fünf spezifische Themen, die von der XV. Alpenkonferenz in Auftrag gegeben wurden:

- Bestandsaufnahme der Luftqualität in den Alpen und Untersuchung der komplexen Phänomene, die die Luftqualität beeinflussen;
- Erfassung der einschlägigen internationalen, nationalen und lokalen Regelungen;
- Übersicht zu den Gesundheitsproblemen in Verbindung mit Luftverschmutzung und zu den Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Ökosysteme;
- Darstellung von alpenspezifischen, lokalen Best-Practice-Beispielen zur Verbesserung der Luftqualität;
- Empfehlungen an die politischen EntscheidungsträgerInnen.

Im ersten Kapitel des Berichts wird der Rechtsrahmen analysiert und die gesetzlichen Bestimmungen dargestellt, welche die Schwellenwerte (Immissions- und Emissionsgrenzwerte, Zielwerte, usw.) für die Luftschadstoffkonzentrationen, die Überwachungssysteme, die Meldepflichten und die Regelungen für das Ergreifen von Maßnahmen bei Überschreitungen festlegen. Die angeführten Umweltziele sind die Referenzstandards, mit denen die vorliegenden Luftqualitätsberichte und -daten verglichen werden.

ExpertInnen stellten unter Verwendung von epidemiologischen, toxikologischen und Expositionsstudien jedoch fest, dass die Luftverschmutzung auch dann negative Auswirkungen auf den Menschen hat, wenn sie weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegt. Für einige Luftschadstoffe, wie z.B. Feinstaub, gibt es keinen Beleg für einen Schwellenwert, unter dem keine gesundheitlichen Auswirkungen zu erwarten sind. In den Fällen, in denen die Wahrscheinlichkeit einer Auswirkung proportional zur Expositionskonzentration zunimmt, können die Qualitätsziele konventionell auf die Konzentrationen festgelegt werden, die die Wahrscheinlichkeit einer schädlichen Wirkung von 1:100.000 bedingen. Auch aus diesem Grund hat die WHO eine Reihe von globalen Leitlinien für die Luftqualität formuliert, die derzeit überarbeitet werden. Die Europäische Kommission kündigte zuletzt im Rahmen des „Green Deal“ (EC, 2019) an, dass sie *eine Überarbeitung der Luftqualitätsnormen vorschlagen wird, um sie stärker an die Emp-*



fehlungen der Weltgesundheitsorganisation anzupassen.

Luftverschmutzung wird als ein Gemisch gasförmiger, flüssiger und fester Schadstoffe definiert. Viele davon werden als Primärschadstoffe bezeichnet, das sind Stoffe, die direkt in die Atmosphäre freigesetzt werden. Hingegen entstehen Sekundärschadstoffe durch chemische Reaktionen von sogenannten Vorläufern in der Atmosphäre, einschließlich der Wechselwirkung mit Wasser oder Sonneneinstrahlung. Für ein umfassendes Verständnis von Luftqualität ist es sehr wichtig zu wissen, welche Schadstoffe vorhanden sind und welche Phänomene ihrer Freisetzung, Ausbreitung, Entstehung, Veränderung und Exposition zugrunde liegen. Diese Fragen werden im Anschluss an das Kapitel über den Rechtsrahmen behandelt. Die von den Mitgliedern der Ad-hoc-Arbeitsgruppe durchgeführte Analyse berücksichtigt die Ergebnisse mehrerer jüngst abgeschlossener Forschungsprojekte zum Thema Luftqualität in den Alpen.

Ein zentrales Kapitel befasst sich mit der Analyse der Luftqualität, wobei unter anderem Messergebnisse aus der Datenbank der Europäischen Umweltagentur (EUA) als Grundlage dienen. Die Zusammenstellung der Informationen und die Datenanalyse wurden so durchgeführt, dass eine homogene Datenerhebung und -berechnung ge-

währleistet war. Dieser Teil des Berichts enthält auch aktuelle Informationen und Karten zur Luftqualität und zu Trends der Luftverschmutzung in den Alpen. Erkennbar ist, dass sich die Luftqualität in den Alpen sukzessive verbessert hat und die gesetzlichen Grenzwerte im Allgemeinen eingehalten werden. Die Analyse macht aber auch deutlich, dass strengere Schutzziele immer noch nicht erreicht werden, insbesondere beim Luftschadstoff Feinstaub ($PM_{2,5}$).

Danach gibt der Bericht einen Überblick über relevante Forschungsprojekte und Observatorien für die Luftqualität in den Alpen und analysiert die Probleme, die in Zukunft an Bedeutung gewinnen könnten.

Ein weiterer wichtiger Beitrag der Arbeitsgruppe ist die Ermittlung von Best-Practice-Beispielen, die von dieser als *intelligente Lösungen* bezeichnet werden. So führt das darauffolgende Kapitel Beispiele von Maßnahmen an, die in den Alpen umgesetzt wurden, um die in den ersten Teilen des Berichts aufgeworfenen Fragen zu unterschiedlichen politischen Ebenen in Angriff zu nehmen.

Unter anderem basierend auf den zuvor genannten *intelligenten Lösungen* formuliert der Bericht unter Berücksichtigung aller im Text hervorgehobener Aspekte im letzten Teil verschiedene Empfehlungen zum Thema Luftqualität in den Alpen.

2. DER RECHTSRAHMEN IM BEREICH LUFTQUALITÄT

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den geltenden Rechtsrahmen, indem die einschlägigen luftreinhalterechtlichen Bestimmungen in den Alpenländern vorgestellt werden. Der Schwerpunkt liegt auf den Regelungen, die die Außenluft betreffen und es wird hauptsächlich Bezug auf die Gesetzgebung der Europäischen Union (EU) und ähnliche Rechtsvorschriften in den Vertragsstaaten der Alpenkonvention, die nicht Mitglied der EU sind, genommen.

2.1 DIE EU-GESETZGEBUNG

Der Rechtsrahmen im Bereich der Luftqualität wird im Gebiet der Alpenkonvention maßgeblich durch die EU-Gesetzgebung bestimmt. Seit Anfang der 1970er Jahre hat die EU einen Rechtsrahmen zur Verbesserung der Luftqualität entwickelt.

Die EU-Politik zu sauberer Luft basiert auf drei Säulen:

- Luftqualitätsstandards in Form von Grenz- und Zielwerten für die Schadstoffkonzentrationen, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt insgesamt in den Luftqualitätsrichtlinien festgelegt sind.
- Nationale Emissionen von bestimmten Luftschadstoffen werden in der Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (NEC) geregelt. In dieser Richtlinie werden unter anderem die Anforderungen an die nationalen Emissionsinventare, nationale Emissionsreduktionsverpflichtungen für fünf zentrale Luftschadstoffe sowie die Vorgaben hinsichtlich der nationalen Luftreinhalteprogramme normiert, mit denen die Einhaltung dieser Ver-

pflichtungen gewährleistet werden soll.

- Emissionsnormen und Energieeffizienzstandards für die wichtigsten Luftverschmutzungsquellen, einschließlich Fahrzeugemissionen, Produkte und Industrieanlagen. Diese Regelungen sind in verschiedenen EU-Rechtsvorschriften verankert und betreffen beispielsweise Industrieemissionen, Emissionen aus der Energieerzeugung, Treibstoffe sowie die Energieeffizienz von Produkten und mobilen Maschinen und Geräten.

2.1.1 LUFTQUALITÄTSRICHTLINIEN

Die zentralen Instrumente der ersten Säule des EU-Rechtsrahmens im Bereich der Luftqualität sind zwei Richtlinien, welche die Luftqualitätsnormen normieren: Richtlinie 2008/50/EC und Richtlinie 2004/107/EC, die zuletzt durch die Richtlinie (EU) 2015/1480 der Kommission geändert wurden. Diese Richtlinien basieren auf früheren Rechtsvorschriften, die seit Anfang der 1980er Jahre schrittweise entwickelt wurden. Sie legen Luftqualitätsziele für eine Reihe von Schadstoffen fest, unter anderem für Ozon (O₃), Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5})¹ und Stickstoffdioxid (NO₂) sowie für Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe² (Richtlinie 2004/107/EC). Zusammen bilden sie den aktuellen Rechtsrahmen³ für die Verbesserung der Luftqualität in der EU und legen für 13 Luftschadstoffe Luftqualitätsstandards (siehe Tabelle 1) fest, die in der gesamten EU verbindlich sind. Da nach wie vor Herausforderungen bei der Verbesserung der Luftqualität bestehen⁴, wurde der aktuelle Rechtsrahmen vor Kurzem einem Fitness-Check⁵ unterzogen, der sich auf den Zeitraum 2008 – 2018 konzentriert hat.

1. PM₁₀ sind Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 µm; der Durchmesser von PM_{2,5} ist kleiner als 2,5 µm.

2. <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution/>.

3. Die Rahmenrichtlinie und die ersten drei Tochterrichtlinien wurden im Jahr 2008 in einer einzigen Richtlinie konsolidiert.

4. Gegen mehrere Mitgliedstaaten wurden Vertragsverletzungsverfahren eingeleitet.

5. Mehr Informationen hierzu können gefunden werden auf: https://ec.europa.eu/environment/air/quality/aqd_fitness_check_en.htm. Der Fitness-Check hat ergeben, dass die Luftqualitätsrichtlinien dazu beigetragen haben, die Schadstoffkonzentrationen zu verringern und die Überschreitungswerte zu senken. Dennoch besteht insbesondere hinsichtlich zweier Punkte Verbesserungspotential: Die sind Luftqualitätsstandards der EU stimmen nicht vollständig mit anerkannten Gesundheitsempfehlungen überein (und sie enthalten auch keinen expliziten Mechanismus zur Anpassung der Standards an den neuesten technischen und wissenschaftlichen Stand), und es gab erhebliche Verzögerungen seitens der Mitgliedstaaten bei der Umsetzung wirksamer Maßnahmen zur Einhaltung der Luftqualitätsstandards bzw. bei den Bemühungen die Dauer der Überschreitungen zumindest so kurz wie möglich zu halten.



SCHADSTOFF	MITTELUNGS-ZEITRAUM	KONZENTRATION	RECHTSNATUR	BEMERKUNGEN
LUFTQUALITÄTSSTANDARDS FÜR DEN SCHUTZ DER MENSCHLICHEN GESUNDHEIT				
PM ₁₀	1 Tag	50 µg/m ³	Grenzwert	darf nicht öfter als 35 mal im Kalenderjahr überschritten werden
	Kalenderjahr	40 µg/m ³		
PM _{2,5}	Kalenderjahr	25 µg/m ³	Grenzwert	Indikator für die durchschnittliche Exposition (AEI) ⁶ im Jahr 2015 (Mittelwert 2013-2015)
		20 µg/m ³	Verpflichtung in Bezug auf die Expositions-konzentration	
		0-20% Reduzierung der Exposition	Nationales Ziel für die Reduzierung der Exposition	
Ozon (O ₃)	Höchster 8-Stunden-Mittelwert pro Tag	120 µg/m ³	Zielwert	darf an höchstens 25 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über drei Jahre
		120 µg/m ³	Langfristiges Ziel	
	1 Stunde	180 µg/m ³	Informationsschwelle	
		240 µg/m ³	Alarmschwelle	
Stickstoffdi-oxid (NO ₂)	1 Stunde	200 µg/m ³	Grenzwert	darf nicht öfter als 18 mal im Kalenderjahr überschritten werden
		400 µg/m ³	Alarmschwelle	In drei aufeinander folgenden Stunden in einem Bereich von 100 km ² oder im gesamten Gebiet zu messen
	Kalenderjahr	40 µg/m ³	Grenzwert	
Benzo(a)pyren (BaP) ⁷	Kalenderjahr	1 ng/m ³	Zielwert	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion
Schwefeldioxid (SO ₂)	1 Stunde	350 µg/m ³	Grenzwert	darf nicht öfter als 24 mal im Kalenderjahr überschritten werden
		500 µg/m ³	Alarmschwelle	In drei aufeinander folgenden Stunden in einem Bereich von 100 km ² oder im gesamten Gebiet zu messen
	1 Tag	125 µg/m ³	Grenzwert	darf nicht öfter als drei Mal im Kalenderjahr überschritten werden
Kohlenmono-oxid (CO)	Höchster 8-Stunden-Mittelwert pro Tag	10 mg/m ³	Grenzwert	
Benzol	Kalenderjahr	5 µg/m ³	Grenzwert	
Blei (Pb)	Kalenderjahr	0,5 µg/m ³	Grenzwert	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion
Arsen (As)	Kalenderjahr	6 ng/m ³	Zielwert	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion
Kadmium (Cd)	Kalenderjahr	5 ng/m ³	Zielwert	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion
Nickel (Ni)	Kalenderjahr	20 ng/m ³	Zielwert	Gesamtgehalt in der PM ₁₀ -Fraktion
LUFTQUALITÄTSSTANDARDS FÜR DEN SCHUTZ DER VEGETATION				
O ₃	AOT40 ⁸ kumuliert von Mai bis Juli	18 000 µg/m ³ · h	Zielwert	gemittelt über fünf Jahre
		6 000 µg/m ³ · h	Langfristiges Ziel	
Stickstoffoxide (NO _x)	Kalenderjahr	30 µg/m ³	Kritischer Wert	
SO ₂	Kalenderjahr und Winter (1. Oktober bis 31. März)	20 µg/m ³	Kritischer Wert	

Tabelle 1: Luftqualitätsstandards für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation gemäß den EU-Luftqualitätsrichtlinien (Europäische Umweltagentur, 2019).

6. AEI: Ermittelt anhand von Messungen an Messstationen für den städtischen Hintergrund, die zu diesem Zweck von den Mitgliedstaaten festgelegt werden, berechnet als gleitender Jahresmittelwert der Konzentration für drei Kalenderjahre.

7. BaP (Benzo(a)pyren) gilt als Leitsubstanz für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe mit karzinogenem Potenzial

8. AOT40 steht für die kumulierte Ozonexposition, ausgedrückt in µg/m³/h, über einem Schwellenwert von 40 ppb. Es ist die Summe der Differenz zwischen 1-Stunden-Konzentrationen > 80 µg/m³ (40 ppb) und 80 µg/m³, kumuliert über alle 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 08:00 Uhr und 20:00 Uhr (MEZ).

Die Luftqualitätsrichtlinien wurden verabschiedet, um Maßnahmen festzulegen, die den folgenden Zielen dienen⁹:

- Definition und Festlegung von Luftqualitätszielen zur Vermeidung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt;
- Beurteilung der Luftqualität in den Mitgliedstaaten anhand einheitlicher Methoden und Kriterien;
- Gewinnung von Informationen über die Luftqualität als Beitrag zur Bekämpfung von Luftverschmutzungen und -belastungen und zur Überwachung der langfristigen Tendenzen und der Verbesserungen, die aufgrund von Maßnahmen erzielt werden, die auf allen einschlägigen Regierungsebenen beschlossen werden;
- Sicherstellung des Zugangs der Öffentlichkeit zu Informationen über die Luftqualität;
- Erhaltung der Luftqualität dort, wo sie bereits gut ist und Verbesserung der Luftqualität, wo das nicht der Fall ist;
- Förderung der verstärkten Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedstaaten zur Verringerung der Luftverschmutzung;
- Erarbeitung von Luftreinhalteplänen, um im Fall von Überschreitungen die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte in möglichst kurzer Zeit zu erreichen.

Die europäischen Rechtsvorschriften im Bereich der Luftqualität bauen auf mehreren Grundsätzen auf, um das übergeordnete Ziel der Minimierung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt zu erreichen. Zur Überwachung der Schadstoffkonzentrationen und der Einhaltung der geltenden Luftqualitätsnormen müssen die Mitgliedstaaten in ihrem gesamten Hoheitsgebiet Gebiete und Ballungsräume definieren und diese nach vorgeschriebenen Beurteilungskriterien einstufen, um die Methode zur Beurteilung der Luftqualität zu bestimmen: Messungen, Modellrechnungen und/oder Techniken der objektiven Schätzung. Hierfür legen die Luftqualitätsrichtlinien einheitliche Methoden und Kriterien für die Standortwahl von Probenahmestellen fest. Die Positionierung der Probenahmestellen ist auf den Schutz der menschlichen Gesundheit, der Vegetation und der natürlichen Ökosysteme aus-

gerichtet. Die Mitgliedstaaten haben der Europäischen Kommission über die erhobenen Luftqualitätsdaten Bericht zu erstatten (siehe Kapitel 5).

Sofern die ermittelten Konzentrationen die geltenden Grenz- oder Zielwerte überschreiten, müssen die Mitgliedstaaten einen Luftreinhalteplan erstellen, der sich mit den maßgeblichen Emissionsquellen, die für die Verschmutzung verantwortlich sind, befasst, um die Einhaltung des entsprechenden Grenz- oder Zielwertes zu gewährleisten. Im Fall der Überschreitung von Grenzwerten müssen diese Pläne geeignete Maßnahmen enthalten, um sicherzustellen, dass der Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich gehalten wird. Darüber hinaus müssen Informationen über die Luftqualität der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

2.1.2 DIE RICHTLINIE ÜBER DIE REDUKTION DER NATIONALEN EMISSIONEN BESTIMMTER LUFTSCHADSTOFFE

Das wichtigste Rechtsinstrument der zweiten Säule der EU-Politik für saubere Luft ist die Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter atmosphärischer Schadstoffe (häufig weiterhin als NEC-Richtlinie¹⁰ bezeichnet), welche die Richtlinie 2001/81/EC ersetzt hat. Durch die Vorgabe der Emissionsreduktionsverpflichtungen von fünf zentralen Luftschadstoffen trägt die NEC-Richtlinie zur Erreichung der Ziele der EU-Luftreinhaltepolitik bei, indem die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2005 um die Hälfte reduziert und die Umweltauswirkungen verringert werden sollen.

Zu diesem Zweck übermitteln die Mitgliedstaaten nationale Emissionsinventare und prognosen, welche die Emissionen der vergangenen Jahre darstellen und die Entwicklung künftiger Emissionen prognostizieren. Diese Berichterstattung steht im Einklang mit den Vorgaben zur Berichterstattung im Rahmen des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP), dessen wesentliche Inhalte in Kapitel 2.4.1 dargestellt werden.

Die Emissionsinventare werden zur Überwachung und Analyse der Luftverschmutzung und zur Überprüfung der Einhaltung der nationalen Verpflich-

9. Gemäß Artikel 1 der Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG.

10. Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe.



tungen zur Emissionsreduktion verwendet, die jeweils für den Zeitraum 2020-2029 und ab dem Jahr 2030 festgelegt wurden. Die Reduktionsverpflichtungen für den Zeitraum 2020-2029 entsprechen den Verpflichtungen, die die EU-Mitgliedstaaten im Rahmen des im Jahr 2012 überarbeiteten Göteborg-Protokolls und des CLRTAP eingegangen sind. Darüber hinaus legt die NEC-Richtlinie noch ambitioniertere Reduktionsverpflichtungen fest, die im Jahr 2030 erreicht werden müssen.

Die NEC-Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten auch dazu, ein nationales Luftreinhalteprogramm¹¹ zu erstellen, umzusetzen und regelmäßig zu aktualisieren. In diesen Programmen werden Maßnahmen festgelegt, die von den Mitgliedstaaten ergriffen werden, um die Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2020-2029 und ab 2030 (Anhang II der Directive (EU) 2016/2284) zu gewährleisten.

Schließlich schreibt die NEC-Richtlinie den Mitgliedstaaten auch vor, die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Ökosysteme mit Hilfe einer Vielzahl von Überwachungsstationen und der Berichterstattung über Leitindikatoren zu überwachen. Dadurch sollen Informationen bereitgestellt werden, um sicherzustellen, dass die Luftverschmutzung nicht die Konzentrationen oberhalb der Belastungsgrenzen und kritischen Eintragswerte in den verschiedenen Ökosystemen in der EU erreicht.

2.2 NATIONALE REGELUNGEN IN ÖSTERREICH, LIECHTENSTEIN, MONACO UND DER SCHWEIZ

Im Allgemeinen gelten in der Schweiz, Monaco und Liechtenstein ähnliche Regeln, die auf den

SCHADSTOFF	MITTELUNGSZEITRAUM, RECHTSNATUR	GÜLTIGKEIT IN	KONZENTRATION	BEMERKUNGEN
PM ₁₀	1 Tag, Grenzwert	Schweiz, Liechtenstein	50 µg/m ³	Darf nicht öfter als 3 Tage im Jahr überschritten werden
		Österreich		Darf nicht öfter als 25 Tage im Jahr überschritten werden
		Alle anderen Länder		Darf nicht öfter als 35 Tage im Jahr überschritten werden
	Kalenderjahr, Grenzwert	Schweiz, Liechtenstein	20 µg/m ³	
Alle anderen Länder		40 µg/m ³		
PM _{2,5}	Kalenderjahr, Grenzwert	Schweiz, Liechtenstein	10 µg/m ³	
		Alle anderen Länder	25 µg/m ³	
NO ₂	0,5 Stunde, Grenzwert	Schweiz, Liechtenstein	100 µg/m ³	Darf nicht öfter als 18 Stunden im Jahr überschritten werden
		Österreich	200 µg/m ³	
	1 Stunde, Grenzwert	Alle anderen Länder	200 µg/m ³	Darf nicht öfter als 18 Stunden im Jahr überschritten werden
		Kalenderjahr, Grenzwert	Österreich, Schweiz, Liechtenstein	30 µg/m ³
Alle anderen Länder	40 µg/m ³			
BaP	Kalenderjahr, Grenzwert	Österreich	1 ng/m ³	

Tabelle 2: Vergleich der Luftqualitätsstandards für Feinstaub, Stickstoffdioxid und Benzo(a)pyren im Alpenraum.

11. Die nationalen Luftreinhalteprogramme (NAPCP) können online abgerufen werden unter: <https://ec.europa.eu/environment/air/reduction/NAPCP.htm>.

EU-Luftqualitätsrichtlinien basieren. Regelungen für Luftschadstoffe werden in der Schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV)¹² getroffen, die ihre Grundlage im Bundesgesetz über den Umweltschutz findet. Die Verordnung (Stand 2018) definiert Luftqualitätsstandards für Luftschadstoffe gemäß den Empfehlungen der WHO aus dem Jahr 2005, die für einige Luftschadstoffe strenger sind als die geltenden Grenzwerte des EU-Rechtsrahmens im Bereich der Luftqualität, wie in Tabelle 2 aufgeführt ist.

Der Artikel 193 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union gestattet den EU-Mitgliedstaaten in Bezug auf diejenigen Schutzmaßnahmen, die aufgrund des Artikels 192 des Vertrags zur Umweltpolitik der EU definiert werden, beizubehalten oder zu verstärken sofern diese mit den EU-Verträgen vereinbar sind. So hat beispielsweise das österreichische Immissionschutzgesetz, in dessen Rahmen die Luftqualitätsrichtlinien umgesetzt wurden, Gebrauch von dieser Bestimmung gemacht und strengere nationale Grenzwerte für NO₂, PM₁₀ und BaP beibehalten bzw. festgelegt, wie aus nachstehender Tabelle 2 ersichtlich wird. Diese Normen basieren auf wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentrationen, die in den 1970er und 1980er Jahren von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften entwickelt wurden.

Das Fürstentum Monaco vergleicht derzeit im Rahmen seiner Rechtsvorschriften zur Luftreinhaltung anhand einheitlicher Methoden und Kriterien die Luftqualitätsdaten mit den Grenzwerten, Informations- und Alarmschwellen der EU-Luftqualitätsrichtlinien für die Schadstoffe PM, O₃, NO_x, SO₂ und CO und berücksichtigt dabei die langfristigen WHO-Ziele für 2030.

2.2.1 NO₂

Bei NO₂ gibt es nicht nur bei den Schwellenwerten Unterschiede, sondern auch bei deren Mittelungszeiträumen. Die Grenzwerte für den Jahresmittelwert der Konzentration schwanken zwischen 30 µg/m³ (Österreich¹³, Schweiz und Liechtenstein) und 40 µg/m³ (alle anderen EU-Mitgliedstaaten). Bei den Kurzzeitgrenzwerten legen die Schweiz und Liechtenstein einen Halbstundengrenzwert von 100 µg/m³ fest, wobei 18 Überschreitungen zu-

lässig sind. In Österreich ist für den Halbstundenmittelwert ein Grenzwert von 200 µg/m³ festgelegt, während in allen anderen EU-Mitgliedstaaten der EU-Grenzwert für den 1-Stunden-Mittelwert von 200 µg/m³ gilt. Unterschiede ergeben sich auch bei der Anzahl der zulässigen Überschreitungen der Kurzzeitgrenzwerte pro Jahr für NO₂: Die anderen EU-Mitgliedstaaten erlauben gemäß der Luftqualitätsrichtlinie 18 Überschreitungen des 1-Stunden-Grenzwertes pro Kalenderjahr, während in Österreich der Halbstunden-Grenzwert nicht überschritten werden darf.

2.2.2 FEINSTAUB

Bei PM₁₀ ist im Einklang mit den Empfehlungen der WHO ein Jahresmittelwert von 20 µg/m³ in der Schweiz und in Liechtenstein festgelegt, in den EU-Mitgliedstaaten beträgt der geltende Jahresmittelwert 40 µg/m³. Der Grenzwert für den Tagesmittelwert für PM₁₀ beträgt 50 µg/m³ in allen Ländern des Alpenraums; allerdings schwankt die Anzahl der zulässigen Überschreitungen pro Jahr zwischen drei Tagen in der Schweiz, 25 Tagen in Österreich und 35 Tagen in allen anderen EU-Mitgliedstaaten.

Bei PM_{2,5} betragen die Jahresmittelwerte 10 µg/m³ entsprechend den Empfehlungen der WHO in der Schweiz und 25 µg/m³ (Jahresmittelwert) in den EU-Mitgliedstaaten.

2.3 LUFTREINHALTEPLÄNE

Gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie müssen für den Fall, dass die Immissionsgrenzwerte überschritten werden, Luftreinhaltepläne mit geeigneten Maßnahmen erstellt werden, welche die Einhaltung der Grenzwerte in möglichst kurzer Zeit sicherstellen. Die Regelungen in Bezug auf die Erstellung der Pläne sind in den einzelnen Mitgliedstaaten unterschiedlich gestaltet. In Bayern liegt die Zuständigkeit beispielsweise bei den Bezirksregierungen, in Italien sind hingegen die Regionalverwaltungen und in Österreich die Landeshauptleute für die Erstellung und Umsetzung der Luftreinhaltepläne zuständig.

12. LRV, SR 814.318.142.1. Online: <https://www.admin.ch/opc/en/classified-compilation/19850321/index.html#app7ahref0>.

13. Eine gleichbleibende Toleranzmarge von 5 µg/m³ gilt seit dem 1.1.2010.

2.4 INTERNATIONALE ÜBEREINKOMMEN, ABKOMMEN UND KOORDINIERUNG

Internationale Organisationen, nationale und lokale Behörden, NGOs und sonstige Interessengruppen haben angesichts des steigenden Bewusstseins für die Auswirkungen und Kosten der Luftverschmutzung damit begonnen Maßnahmen zu ergreifen (siehe Kapitel 1). Insbesondere die Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE), die WHO und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) haben globale Maßnahmen zur Bekämpfung der Luftverschmutzung getroffen.

2.4.1 DAS ÜBEREINKOMMEN ÜBER WEITRÄUMIGE GRENZÜBERSCHREITENDE LUFTVERUNREINIGUNG¹⁴

Das Genfer Luftreinhalteabkommen (CLRTAP) wurde 1979 verabschiedet und befasst sich mit dem

Schutz der Umwelt vor Luftverschmutzung sowie mit der schrittweisen Reduktion und Vermeidung von Luftverschmutzung, einschließlich der weiträumigen grenzüberschreitenden Luftschadstoffverfrachtung. Es wurde durch acht Protokolle ergänzt, die sich verschiedenen Luftschadstoffen widmen, wobei das jüngste Protokoll¹⁵ ein Multi-Effekt- bzw. Multikomponentenprotokoll zur Minderung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon ist. Dieses Protokoll legt für seine Vertragsparteien Grenzwerte für mehrere Hauptemittenten fest und gibt nationale Emissionsreduktionsverpflichtungen für fünf zentrale Schadstoffe vor, die denen der EU-NEC-Richtlinie für den Zeitraum 2020-2029 entsprechen.

Das CLRTAP bietet Zugang zu Emissions-, Mess- und Modellrechnungsdaten sowie Informationen über die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Ökosysteme, die menschliche Gesundheit, Nutzpflanzen und Materialien. Darüber hinaus fungiert es als wichtiger Rechtsrahmen für eine Reihe von Arbeitsgruppen, Zentren und internationalen Kooperationsprogrammen, welche Forschungsergeb-

SCHADSTOFF	MITTELUNGSZEITRAUM	LEITLINIE FÜR DIE LUFTQUALITÄT (AQG)	REFERENZWERTE (RW)	BEMERKUNGEN
PM ₁₀	1 Tag	50 µg/m ³		99-Perzentil (3 Tage pro Jahr)
	Kalenderjahr	20 µg/m ³		
PM _{2,5}	1 Tag	25 µg/m ³		99-Perzentil (3 Tage pro Jahr)
	Kalenderjahr	10 µg/m ³		
O ₃	Höchster 8-Stunden-Mittelwert pro Tag	100 µg/m ³		
NO ₂	1 Stunde	200 µg/m ³		
	Kalenderjahr	40 µg/m ³		
BaP	Kalenderjahr		0,12 ng/m ³	
SO ₂	10 Minuten	500 µg/m ³		
	1 Tag	20 µg/m ³		
CO	1 Stunde	30 mg/m ³		
	Höchster 8-Stunden-Mittelwert pro Tag	10 mg/m ³		
Benzol	Kalenderjahr		1,7 µg/m ³	
Pb	Kalenderjahr	0,5 µg/m ³		
As	Kalenderjahr		6,6 ng/m ³	
Cd	Kalenderjahr	5 ng/m ³		
Ni	Kalenderjahr		25 ng/m ³	

Tabelle 3: Leitlinien für die Luftqualität (AQG) und geschätzte Referenzwerte (RW).

14. Auch Genfer Luftreinhalteabkommen genannt. Online: <https://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html.html>.

15. Protokoll zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon (Göteborg-Protokoll) aus dem Jahr 1999 in der geänderten Fassung von 2012.

nisse und wissenschaftliche Beurteilungen zu relevanten Fragen in Verbindung mit der Luftqualität bereitstellen.

2.4.2 WHO-LEITLINIEN

Die WHO erarbeitet globale Standards für die Umweltqualität und hat Leitlinien für Luftqualitätsziele entwickelt, die im Jahr 1987 veröffentlicht und 1997 und 2005 überarbeitet wurden. Die Grundlagen dieser Leitlinien werden in Kapitel 4.1 erläutert. Tabelle 3 fasst die von der WHO vorgeschlagenen Werte (derzeit in Überarbeitung) zur Verringerung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit und natürlichen Ökosysteme zusammen.

Im Rahmen der Überarbeitung der europäischen Luftqualitätspolitik im Jahr 2013 hat die Europäische Kommission zur Unterstützung des Überarbeitungsprozesses eine Reihe von Fragen¹⁶ an die WHO gerichtet. Die Antworten auf diese Fragen wurden im Rahmen der Projekte „Untersuchung der Erkenntnisse über die gesundheitlichen Aspekte der Luftverschmutzung“ und „Gesundheitsrisiken der Luftverschmutzung in Europa“¹⁷ ausformuliert. Im Anschluss an diese Projekte leitete die WHO im Jahr 2016 eine Aktualisierung ihrer Leitlinien für die Luftqualität¹⁸ ein. Dem jüngsten Bericht der gemeinsamen WHO/UNECE-Arbeitsgruppe zur Gesundheit¹⁹ zufolge betrifft die Aktualisierung auch PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂ und CO. Die systematischen Untersuchungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen dieser Luftschadstoffe bildeten die Grundlage für die zweite Phase des Aktualisierungsprozesses, d.h. für die Ableitung numerischer Richtwerte für die Exposition, die Festlegung von Zwischenzielen und weitere Empfehlungen. Diese zweite Phase fand im Laufe des Jahres 2020 statt und die neuen AQG sollen 2021 veröffentlicht werden.

2018 fand in Genf die erste globale WHO-Konferenz zum Thema Luftverschmutzung und Gesundheit²⁰

statt. Die Konferenz brachte die Genfer Aktionsagenda zur Bekämpfung der Luftverschmutzung (WHO, 2018) auf den Weg, welche die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduktion von Verbrennungsvorgängen in jeglicher Form und zum Schutz der am stärksten gefährdeten Bevölkerungsgruppen (z. B. Kinder) umfasst, sowie die Unterstützung der Städte bei der Verbesserung der städtischen Luftqualität. Außerdem soll ein gemeinsames Vorgehen in den Bereichen Finanz- und Gesundheitswesen sowie Umwelt gefördert werden, um spezifische Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität und für den Klimaschutz zu ermöglichen. Zudem werden die gemeinsamen Bemühungen für eine harmonisierte Überwachung der Luftqualität fortgesetzt.

Im Rahmen des europäischen „Green Deals“ hat die Europäische Kommission ihre Absicht ausgedrückt, die Bestimmungen zur Überwachung und Modellierung der Luftqualität sowie zur Erstellung von Luftqualitätsplänen zu verschärfen. Die Kommission wird auch eine stärkere Anpassung der EU-Luftqualitätsstandards an die Empfehlungen der WHO vorschlagen COM/2019/640.

2.4.3 SONSTIGE AKTIVITÄTEN DER UNO

Die Umweltversammlung der Vereinten Nationen verabschiedete in den Jahren 2014²¹ und 2017²² zwei Resolutionen sowie eine Ministererklärung im Jahr 2019²³, in denen die Mitgliedstaaten dazu aufgefordert werden, wirksame Maßnahmen zur Bekämpfung der Luftverschmutzung und zur weltweiten Verbesserung der Luftqualität zu ergreifen. Die Ministererklärung baut auf den beiden Resolutionen auf und sieht vor, die nationalen Systeme und Technologien zur Überwachung der Luftqualität zu verbessern und die nationalen Kapazitäten für das Umweltdatenmanagement zu erhöhen. Sie fordert auch, dass das UNEP die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch zwischen den Vertragsstaaten auf allen Ebenen verstärkt, um die grenzüberschreitende Luftverschmutzung zu bekämpfen.

16. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects/key-questions-for-guidance-of-eu-policies>.

17. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects>.

18. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/update-of-who-global-air-quality-guidelines>.

19. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2019/AIR/EMEP_WGE_Joint_Session/ECE_EB.AIR_GE.1_2019_17-1909805E.pdf.

20. <https://www.who.int/airpollution/events/conference/en/>.

21. Resolution 1/7 zur Luftqualität (https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17135/UNEA1_Resolution7AirQuality.pdf?sequence=1&%3BisAllowed=).

22. Resolution 3/8 zur Vermeidung und Reduzierung der Luftverschmutzung, um die globale Luftqualität zu verbessern (<https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800222.english.pdf>).

23. Ministererklärung: Auf dem Weg zu einem verschmutzungsfreien Planeten (<https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800398.english.pdf>).



3. BESCHREIBUNG VON LUFTSCHADSTOFFEN UND ATMOSPHERISCHEN PROZESSEN IN DEN ALPEN

Die Luftqualität im Alpenraum und ihre räumlich-zeitliche Variabilität sind das komplexe Ergebnis von Emissionen, lokaler und mesoskaliger Meteorologie und Topographie. Die gesamte Region setzt sich aus Mittel- und Hochgebirgen zusammen und es gibt viele unterschiedliche Arten von Alpentälern, einige davon schmal und länglich. Die teilweise großen Höhenunterschiede zwischen Talboden und Gipfeln bedingen z. T. ein extrem steiles Relief. Die meisten der rund 14 Millionen EinwohnerInnen des Alpenraums leben in den Tälern, wo die Hauptverkehrsrouten und Autobahnen verlaufen. Das bedeutet, dass die anthropogenen Emissionen in den Alpen vor allem auf die Täler beschränkt sind. Die räumliche Verteilung der Emissionen in den Tälern wird (a) durch die Verteilung der Wohnbevölkerung und (b) durch das Vorhandensein von Autobahnen bestimmt, auf die sich der überregionale Verkehr konzentriert. Rund 45 % der gesamten Alpenbevölkerung lebt in Gemeinden mit weniger als 5.000 EinwohnerInnen (Price M.F. et al., 2011); somit lebt mehr als die Hälfte der EinwohnerInnen in oder in der Nähe von mittelgroßen Städten bzw. in einer der wenigen größeren Städte.

3.1 METEOROLOGISCHE UND KLIMATISCHE PROZESSE

Bei der Interpretation der Luftverschmutzung (und Deposition) in den Alpen muss eine Reihe von meteorologischen Prozessen berücksichtigt werden:

- weiträumiger Transport (> 100 km) von außerhalb des Alpenraums freigesetzten Schadstoffe in den Alpenraum, Hebung und Transport von Luftmassen, erhöhte Deposition durch topographisch-orographisch bedingte Niederschläge;
- Transport von Schadstoffen vom flachen Alpenvorland in die Täler und hangaufwärts;

- tageszyklische Berg-Talwind-Zirkulation, die die Luftverschmutzung in den Talsystemen transportiert und verdünnt;
- atmosphärische Ausbreitungsbedingungen, ausgelöst durch vertikale Temperaturverteilung;
- komplexe Wechselwirkungen von Ozontransport, -bildung und -abbau innerhalb unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Skalen.

Die mit der Luftverschmutzung verbundene Dynamik hängt auch von der Ausdehnung (Breite und Länge) der Täler und von ihrer Ausrichtung in Bezug auf die synoptischen Winde²⁴ ab.

3.1.1 DIE METEOROLOGIE IN DEN ALPEN BEGÜNSTIGT DIE LUFTVERSCHMUTZUNG

Typische Wetterlagen in den Alpen folgen jahreszeitlichen Mustern. Zwischen Sommer und Winter gibt es signifikante Unterschiede, die sich auf die Bewegungen der Luftmassen, die Art und Intensität der Primäremissionen und die Phänomene auswirken, die zur Bildung, zum Transport, zur Verdünnung und zum Abbau von Schadstoffen beitragen.

In den Alpen wurden acht sehr unterschiedliche Klimaregionen ausgemacht (Sturman A. and Warner H., 2001): die *hochalpine* Region, die durch kaltes und feuchtes Wetter gekennzeichnet ist; die *kontinentalen Hochalpen*, die im Allgemeinen trockener sind; die *Südwestalpen*; die *nördlichen Voralpen* und das *westliche Alpenvorland*, die alle von warmen Luftmassen aus dem mediterranen Süden beeinflusst werden, mit im Allgemeinen feuchten Wintern und trockenen Sommern; die *inneralpinen Täler*, die sich durch ein kontinentales Trockenklima auszeichnen; das nördliche und *östliche Alpenvorland* mit kontinentalem Klima und regnerischen Sommern und das *südwestliche Vor-*

24. Synoptische Winde entstehen durch Druckunterschiede unabhängig von Relief- oder Konvektionseffekten (z. B. Föhnwind).

gebirge mit regnerischen Übergangsjahreszeiten (Egger I. and Hoinka K.P.,1992).

Die bogenförmige Barriere der Alpen trägt zur Entstehung von drei verschiedenen Kaltwindssystemen bei, die sich durch komplexe Blockierungs- und Kanalisierungseffekte bilden: der Mistral im westlichen Rhonetal, die Bise zwischen dem Jura und den Alpen im Norden und die Bora an der Adriaküste im östlichen Südosten der Alpen (Tibaldi S., Buzzi A., Speranza A., 1990). Darüber hinaus lassen advective Wetterlagen bedingt durch makroskalige Winde, die wiederum durch große Luftdrucksysteme ausgelöst werden, den Nord- und Südfohn entstehen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der alpinen Umwelt sind die thermisch erzeugten lokalen Winde, vor allem unter schwachen Druckgradienten (Sturman A. and Wanner H., 2001). Im Sommer entwickelt sich die Durchmischungsschicht tagüber schnell aufgrund der starken Sonneneinstrahlung, die eine rasche Verdünnung und Durchmischung der lokal erzeugten Schadstoffe bedingt.

Im Winter (und gelegentlich im Herbst) sind Wetterlagen mit Windstille und ausgedehnten Hochdruckgebieten recht häufig (z. B. Diemoz H. et al., 2019a). Solche Bedingungen führen zu atmosphärischer Stabilität: Temperaturinversionen bleiben mehrere Tage lang bestehen und wirken sich stark

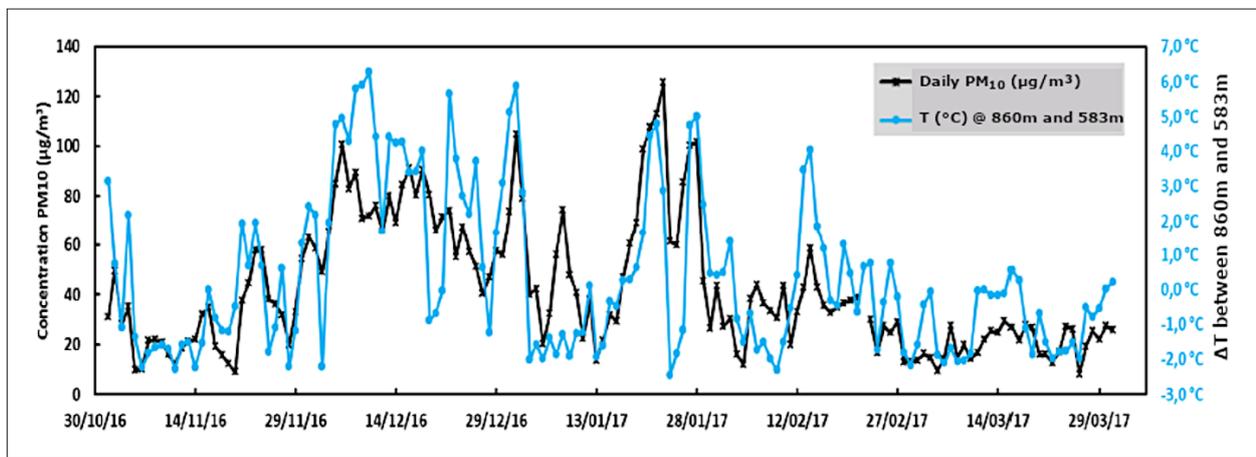


Abbildung 2: Temperaturunterschied auf zwei Höhen und PM_{10} -Konzentration im Arve-Tal (Favez O. et al., 2017a). Die blaue Linie zeigt den Temperaturunterschied zwischen 583 m und 860 m Höhe in Grad Celsius (rechte Y-Achse), die schwarze Linie gibt den Tagesmittelwert der PM_{10} -Konzentration (linke Y-Achse) im Tal an. Die beiden Linien verlaufen parallel, was darauf schließen lässt, dass Temperaturunterschiede zwischen Talboden und Talschluss mit einer höheren PM_{10} -Belastung korrelieren.

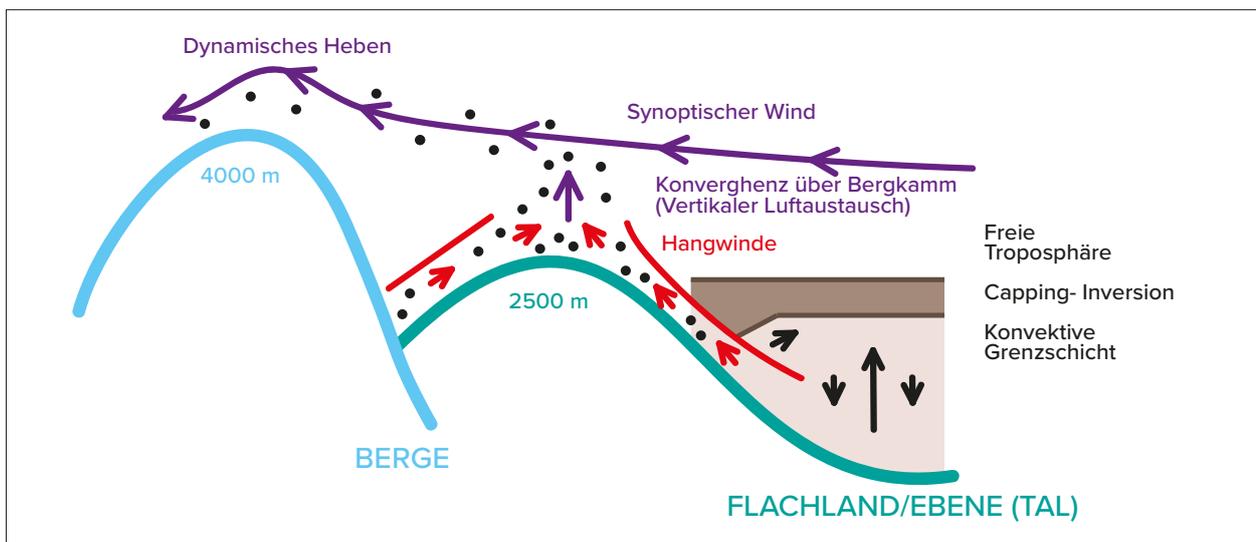


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Prozesse, die verunreinigte Luft aus der Grenzschicht aus angrenzenden Ebenen und Tälern bis zu den Gipfeln transportieren. Von dort können die Schadstoffe in die freie Atmosphäre gelangen. (Eigene Darstellung nach Seibert P. et al., 1996.)

auf die Luftqualität aus, da eine niedrige Höhe der Durchmischungsschicht in Kombination mit einer geringen vertikalen Durchmischung unter der Inversion die Verteilung und Verdünnung der Schadstoffe reduziert (Abbildung 2). Es muss angemerkt werden, dass im Alpenraum eine Inversionshöhe von 800 m über dem Meeresspiegel u. U. einer Höhe von weniger als 200 m über den Tälern entspricht, was die Schadstoffakkumulationen und -konzentrationen in der bodennahen Atmosphäre in den Tälern besonders kritisch macht. Wenn der Boden darüber hinaus noch schneebedeckt ist, kann die Luft den ganzen Tag über und sogar an mehreren aufeinander folgenden Tagen stabil geschichtet bleiben. Tagsüber werden die unteren Schichten in der Regel gut durchmischt, oft verhindert jedoch eine anhaltende Inversionswetterlage im Tal eine

vollständige vertikale Durchmischung (Heimann D. et al., 2007; ALPNAP-Bericht Kap. 4).

Eine längere atmosphärische Stabilität mit stabilen, kalten, bodennahen Luftschichten, die am Talboden verbleiben, ist durch eine stark geschichtete Temperaturinversion gekennzeichnet. Dadurch wird die vertikale Schadstoffdurchmischung unterbunden, und es kommt zu einer Akkumulation von Schadstoffen in der unteren Troposphäre (Chemel C. et al., 2016). Im Alpenraum zeichnen sich die Täler überwiegend durch atmosphärische Stabilität aus. Neben dem Vorhandensein vieler Emissionsquellen führt dies zu signifikanten Konzentrationen von sekundären Aerosolen in der Luft in den Tälern.

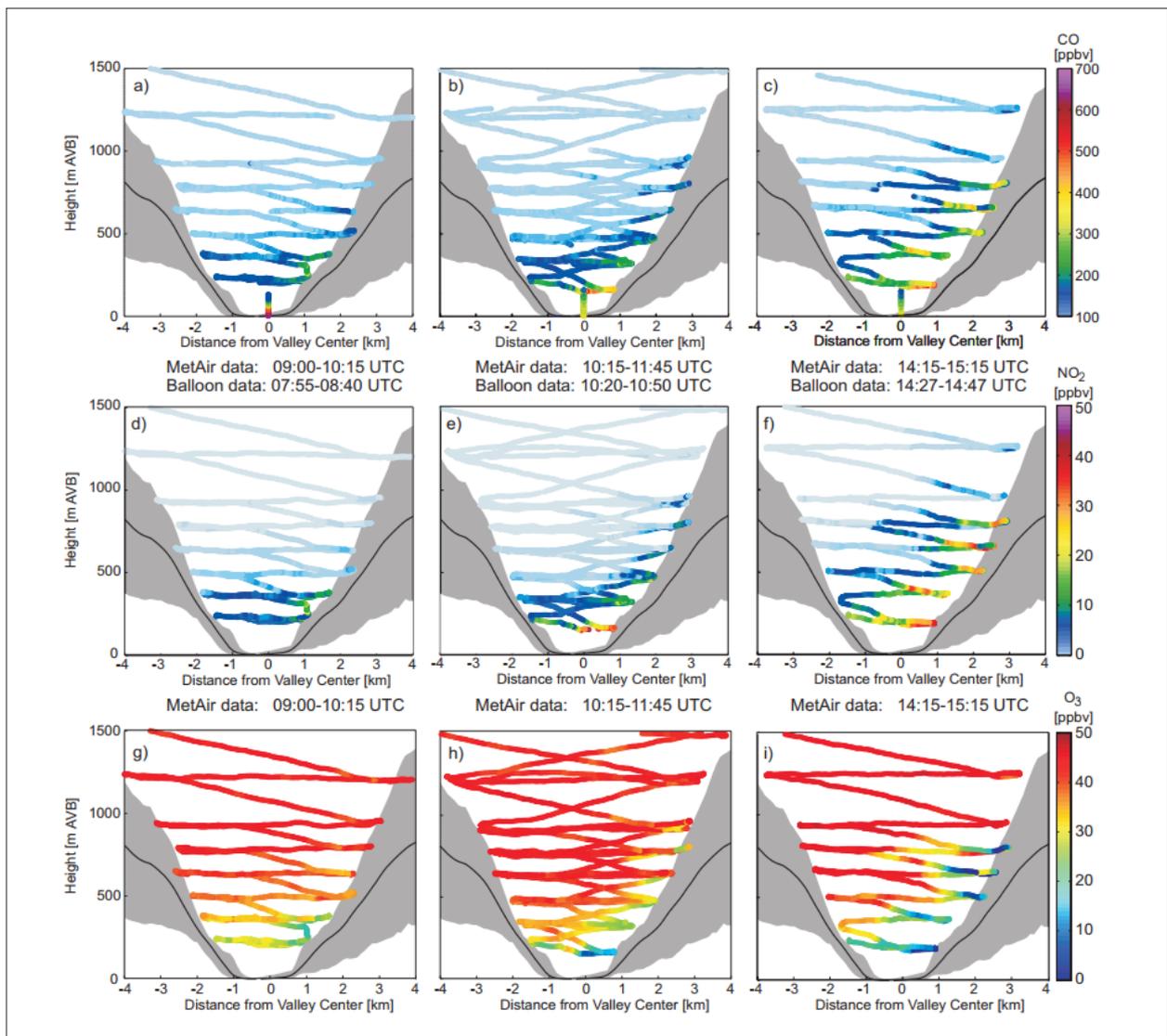


Abbildung 4: Die drei Reihen zeigen die Verteilung der CO-, NO₂- und O₃-Konzentrationen im Inntal (Tirol, AT) am 1. Februar 2006 am Morgen (erste Spalte), am Vormittag (zweite Spalte) und am Nachmittag (dritte Spalte). Der Blick geht talaufwärts Richtung Südwesten. Die Sonnenseite ist also die rechte. (Mit freundlicher Genehmigung von Schnitzhofer R. et al., 2009.)



sche Schadstoffe, vor allem Ozon. Die Prozesse, welche die Veränderung der Ozonkonzentration in der Regel maßgeblich beeinflussen, sind der Langstreckentransport durch Advektion, vertikale Durchmischung, durch UV-Strahlung ausgelöste Ozonbildung und Trockendeposition. Ein allgemeiner Überblick über die Hauptmechanismen, die die Ozonbildung und -zerstörung bedingen, wird in Abbildung 5 gegeben.

Die alpinen Hintergrundkonzentrationen von Ozon werden hauptsächlich durch den mesoskaligen Transport und die Ozonbildung in der Grenzschicht aus Vorläuferemissionen in Mitteleuropa bestimmt – mit regional hohen Beiträgen z.B. aus der Poebene und Süddeutschland und einigen Gebieten im Osten und einem hohen Anteil aus dem kontinentalen und hemisphärischen Hintergrund (Wotawa G. et al., 2000; Wierzbicka A. et al., 2005).

Auf einer subregionalen Skala werden Ozonwerte und ihr zeitliches Muster durch das tageszyklische Zirkulationsmuster (Berg-Talwind-Zirkulation) ausgelöst (s. Abbildung 4 und Abschnitt 3.1.1).

Die Beziehungen zwischen der Verfügbarkeit von Vorläuferemissionen, den zeitlichen und räumlichen Mustern und den chemischen Reaktionen von Ozonbildung/-abbau haben sich als komplex und nicht linear erwiesen. So wurden in verschiedenen Studien sowohl flüchtige organische Verbindungen (VOC) als auch eine NO_x -limitierte Ozonbildung nachgewiesen (Mazzuca G.M. et al., 2016 und Verweise darin). Zum Beispiel können Terpen und Isopren aufgrund der Reaktion mit Hydroxyl-Radikalen signifikant zur Ozonbildung beitragen (Derognat C. et al., 2003): Die Auswirkungen biogener Isopren- und Terpen-Emissionen auf die Konzentrationen photochemischer Substanzen wurden in mehreren Studien untersucht (Deutsches Umweltbundesamt, 2019). Eine im Raum Grenoble durchgeführte Studie weist beispielsweise nach, dass biogene flüchtige organische Verbindungen stark zu nicht Methan-haltigen VOC (NMVOC) beitragen (etwa 59 %). Wegen der Laub- und Kiefernwälder in den Bergen rund um die Stadt könnten biogene Emissionen für die Ozonbelastung, vor allem unter extrem trockenen Bedingungen wie bei Hitzewellen, von Bedeutung sein (Chaxel E. and Chollet J.P., 2009).

Dies ist ein wichtiger Aspekt, der zeigt, dass ein Verständnis der lokal bedeutsamen Prozesse erforderlich ist, um mit Minderungsstrategien Erfolge zu erzielen.

Ozonspitzenkonzentrationen treten um die Mit-

tagszeit auf, da in diesem Zeitraum die Bildung in den Schadstofffahnen zu einer bereits hohen Hintergrundkonzentration von Ozon durch intensive Vermischung hinzukommt. Am späten Nachmittag schwächt sich der Talwind allmählich ab: Die Atmosphäre wird stabil, und die Ozonkonzentration nimmt, bedingt durch die Reaktion des Ozons mit dem in der planetaren Grenzschicht angesammelten Stickstoffmonoxid, und die Trockendeposition ab. Obwohl Hintergrundozon weitgehend auf mesoskalige Phänomene zurückzuführen ist, können lokale Quellen von Vorläuferemissionen gelegentlich eine bedeutende Rolle im beobachteten Ozon-Tageszyklus spielen.

Aufgrund der Erderwärmung werden Hitzewellen in Zukunft vermutlich häufiger auftreten. Diese Ereignisse sind durch anhaltende hohe Temperaturen und Bodentrockenheit gekennzeichnet, wobei nachts hohe Temperaturen herrschen, und die Bodenbedeckung während der Hitzewelle immer trockener wird. Belege für mögliche Auswirkungen eines Temperaturanstiegs auf erhöhte Ozonkonzentrationen wurden durch Modellsimulationen abgeleitet. Eine Studie, die im Modell einen Temperaturanstieg von 1°C simulierte, ergab, dass die Atmosphärendynamik so gut wie unverändert blieb. Daher wurde angenommen, dass die Ozonzunahme auf die chemische Kinetik zurückzuführen ist. Die Autoren beobachteten insbesondere, dass hohe Temperaturen die Bildung von Radikalen auslösten, was die Ozonbildung beschleunigte. Eine Ausnahme bilden Stadtzentren, wo die Ozontitration durch NO überwiegt (Chaxel E. and Chollet J.P., 2009).

3.1.3 WEITRÄUMIGER TRANSPORT VON LUFTMASSEN

Weiträumiger Transport kann verunreinigte Luftmassen in die Alpen leiten, wo die Hebung die vertikale Verteilung der Schadstoffe entlang des Gebirgsprofils auslöst.

Persistente organische Schadstoffe (POP)

In der Fachliteratur wird die Advektion von Luftmassen durch weiträumigen Transport als Hauptursache für das Vorhandensein erhöhter persistenter organischer Schadstoffe (POP) in der Luft, im Schnee, Wasser und Boden im Hochgebirge angesehen. Die hohen Gebirgslagen halten persistente organische Schadstoffe wegen der niedrigen Temperaturen, die in solchen Höhenlagen herrschen, zurück (Finizio A. et al., 2006). Im Rah-

men des MONARPOP-Projekts wurden organische Schadstoffe in entlegenen Alpenwäldern in Österreich, Deutschland, Italien, Slowenien und in der Schweiz überwacht (Offenthaler I. et al., 2009; Weiss P. et al., 2015). Dabei wurde festgestellt, dass die PAK-Konzentrationen in den Fichtennadeln und im Boden höher waren als die entsprechenden Emissionen im Alpenraum, was darauf hindeutet, dass die Alpen eine Senke für PAK sind, die aus den umliegenden Gebieten durch Advektion herbeigeführt werden.

In alpinen Systemen stellen Wälder ein wichtiges Kompartiment dar, um den Transport und die Ablagerung von POP in höheren Lagen zu reduzieren, indem POP in Waldböden gebunden werden (McLachlan M.S. et al., 1998; Wania F. et al., 2001; Meijer S.N. et al., 2003). Die Vegetation fungiert als Zwischenkompartiment für den POP-Austausch zwischen der Atmosphäre und dem Boden (Jaward F.M. et al., 2005).

Feinstaub

Der Einfluss des weiträumigen Transports auf die Feinstaubkonzentration und -zusammensetzung an Hintergrundstandorten im europäischen Hochgebirge wurde auch im Rahmen des CARBOSOL-Projekts untersucht. In einer Trajektorienanalyse der Luftmassen wurde festgestellt, dass Emissionen, die durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Biomasse in den baltischen Ländern, Belarus, den westlichen Regionen Russlands und in Kasachstan erzeugt werden, zu erhöhten Konzentrationen von Feinstaubkomponenten im Frühjahr und Herbst beitragen (Salvador P. et al., 2010).

Zudem grenzt der Alpenraum auch an die Poebene, von wo aus Luftmassen zuströmen, die mit sekundären anorganischen (Ammoniumsulfat und Nitrat) und organischen Aerosolen angereichert sind (Diemoz H. et al., 2019b). Das Phänomen wiederkehrender Episoden einer windbedingten Ankunft von Aerosolschichten in den nordwestitalienischen Alpen wurde schwerpunktmäßig im Aostatal mit Hilfe eines integrierten Messdatensatzes an mehreren Standorten und Sensoren sowie Modellierungstools gründlich untersucht (Diemoz H. et al., 2014; Diemoz H. et al., 2019a; Diemoz H. et al., 2019b). Günstige Entwicklungsbedingungen für Advektionen treten durchschnittlich an über 50 % der Tage auf (basierend auf einem Beobachtungszeitraum von drei Jahren); vor allem in den Wintermonaten wehen die synoptischen Winde hauptsächlich von Ost (Poebene) nach West. Unter diesen Bedingungen können die PM_{10} -Massenkonzentrationen bis

zu einem Tagesmittelwert von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ansteigen. Durch Advektion herangetragene Partikel im Akkumulationsmodus (Partikel etwa zwischen $0,07$ und $1 \mu\text{m}$) tragen maßgeblich zu den erhöhten Massenkonzentrationen bei. Chemische Analysen zeigen eine Zunahme der sekundären anorganischen Fraktion, die sich aus Nitrat, Sulfaten und Ammonium zusammensetzt, was ebenfalls auf einen Ursprung in der Poebene hinweist

3.1.4 DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE LUFQUALITÄT IN DEN ALPEN

Das Klima beeinflusst vor allem Ökosysteme, aber auch die Austauschprozesse mit der Atmosphäre (Emissionen und Deposition). Der Klimawandel hat Einfluss auf die Verteilung der Luftmassen, die Durchmischung und die vertikale Struktur der Atmosphäre sowie die chemische Kinetik. Gegenwärtig sind die Informationen und Erkenntnisse darüber, wie der Klimawandel die Luftqualität und damit auch die menschliche Gesundheit beeinflusst, noch begrenzt. Es wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel den Verkehr auf regionaler Ebene, die Luftbewegungen in den Alpentälern und die vertikale Durchmischung durch die sich verändernden Klima- und Vegetationszonen an den Hängen der Alpentäler verändern wird. Während dieser Prozess alle Bestandteile der Atmosphäre betrifft, werden verschiedene Luftqualitätsindikatoren von spezifischeren Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein.

So wird NO_x , insbesondere NO_2 , entsprechend der Reduktion der anthropogenen NO_x -Emissionen angesichts der Veränderungen im Verkehrs- und Energiesektor, voraussichtlich abnehmen (siehe Abschnitt 3.2.2). Eine sich potenziell verändernde Radikalchemie mit Auswirkungen auf die NO_x -Lebensdauer wird als weniger bedeutend erachtet (siehe unten).

Was Ozon betrifft, sind zwei gegenläufige Entwicklungen mit einem noch unklaren Trend bekannt. Einerseits wird aufgrund der anthropogenen NO_x -Emissionsreduktionen eine geringere regionale und lokale photochemische Ozonbildung erwartet, die größtenteils NO_x -limitiert ist. Andererseits führen niedrigere NO_x -Emissionen zu geringeren Titrationsverlusten und damit zu höheren Ozonwerten in der Nähe von Emissionsgebieten. Darüber hinaus wird voraussichtlich ein vermehrtes Auftreten von Hitzewellen in Verbindung mit Dürreperioden die Ozondepositionsgeschwindigkeit wegen des höheren stomatären Widerstands der

wassergestressten Vegetation verringern (Lin M. et al., 2020). Weitere Aspekte wie die Veränderung der Radikalchemie durch UV-Strahlung, Schadstoffbelastung und kinetische Veränderungen sind spekulativ und können noch nicht eingeschätzt werden. Insgesamt ist es im Hinblick auf den Klimawandel wichtig, dass das Ozonsystem mitsamt der Vorläufer- und Transportveränderungen überwacht wird.

Der Klimawandel wirkt sich auch auf den Feinstaub aus. Mildere Temperaturen im Winter werden die heizungsbedingten PM-Emissionen reduzieren. Die sich verändernde Zusammensetzung

und Verbreitung der Vegetation an den Hängen der Alpentäler, steigende Temperaturen und dadurch verlängerte Vegetationsperioden werden die biogenen VOC-Emissionen verändern, können diese verstärken und zu einer höheren Konzentration von sekundären organischen Aerosolen (SOA) beitragen.

3.2 SCHADSTOFFQUELLEN

Die Hauptquellen von Luftschadstoffen im Alpenraum liegen in lokalen anthropogenen Aktivitäten;

Jahr (Jahreszeit ^(a))	Messstelle (Land)	Gebiet	Beitrag zu PM ₁₀ (in % der PM-Masse)			Literaturhinweise
			Biomasse-Verbrennung %	Verkehr %	Sekundäre Aerosole % ^(b)	
2008 (w)	Erstfeld (CH)	Erstfeld	21 - 30	15 - 30	15 - 25	Ducret-Stich R.E. et al., 2013a Vom BAFU finanziertes Projekt
2008 (s)			8 - 15	13 - 15	35 - 40	
2010 (y)	Lanslebourg (FR)	Maurienne	57	31	9	Projekte Lanslebourg 2010-2014 (in: Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht)
2010 (y)	Lescheraines (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	58	6	n.d.	PPARTICUL'AIR (in: Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht)
2010 (y)	Grenoble (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	42	10	n.d.	FORMES (in: Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht)
2013-14	Air RA (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	21	2	~ 20	AERA (in: Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht)
2013-14 (w)	Chamonix (FR)	Arve	70	5	15	Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht
2013-14 (s)			10	5	35	
2013-14 (w)	Marnaz (FR)	Arve	64 - 71	4 - 8	8 - 12	DECOMBIO (in: Favez O. et al., 2017a; SOURCES-Projektbericht)
2013-14 (s)			< 3	8	30 - 35	
2013-14 (w)	Passy (FR)	Arve	66 - 74	4 - 8	12 - 15	
2013-14 (s)			< 3	5 - 10	40 - 50	
2013-14 (w)	Chamonix (FR)	Arve	57 - 62	3 - 14	18 - 21	
2013-14 (s)				7 - 12	38 - 43	

Tabelle 4: Beitrag von Biomasseverbrennung, Verkehr und Bildung von sekundären Aerosolen zur PM₁₀-Konzentration in ausgewählten Alpentälern. (a) Winter = W; Sommer = S, Jahr = J. (b) SA ist als Summe aller aus jeder Studie verfügbaren anorganischen und organischen Komponenten angegeben.

dabei überwiegen die Verbrennung von Biomasse und der Straßenverkehr (Price M.F. et al., 2011).

Weitere lokale Quellen sind die Landwirtschaft und, an einigen Standorten, die Industrie, Kraftwerke oder Fernheizwerke. Darüber hinaus können biogene VOC-Emissionen wie die aus dem Blätterdach des Waldes in einigen Teilen der Alpen signifikant sein. Durch die für den Alpenraum spezifische Topografie treten Dynamik und Prozesse in der Atmosphäre, insbesondere der weiträumige Transport und die atmosphärische Stabilität, in kritische Wechselwirkung mit den Schadstoffquellen.

Die Beurteilung der Relevanz der einzelnen Luftverschmutzungsquellen ist der Schlüssel zur Entwicklung einer Politik für saubere Luft, die sich in erster Linie auf die Verschmutzungsursachen konzentriert. Bei Feinstaub ist zum Beispiel in vielen alpinen Gebieten der Beitrag der Biomasseverbrennung zu PM_{10} vergleichbar mit dem des Straßenverkehrs (oder sogar höher) (Gianini M.F.D. et al., 2012). Dies ist in Tabelle 4 zu sehen, in der die Ergebnisse von Quellenzuordnungsstu-

dien und -projekten mit dem räumlichen Schwerpunkt Talstandorte im Alpenraum angeführt sind, die für die drei Hauptquellen, d.h. Biomasseverbrennung, Verkehr und sekundäres Aerosol, den quantitativen Beitrag (in Prozent der PM_{10} -Masse) zur PM-Masse aufzeigen.

3.2.1 VERBRENNUNG VON BIOMASSE (HOLZ)

Seit Jahrhunderten wird Biomasse in den Alpenregionen zum Kochen, Heizen und zur Warmwassererzeugung genutzt. In den letzten zwei Jahrzehnten wurde die Nutzung von Holz vorangetrieben, um fossile Brennstoffe zu ersetzen und die lokale Wirtschaft zu fördern. Rechtliche, finanzielle und institutionelle Anreize erhöhten den Anteil von Holz am Energiemix des Haushalts- und des Energiesektors (Stromerzeugung und Fernwärme). Andererseits sind jedoch Holzheizsysteme in einigen Regionen der Grund für Waldrodungen und eine Quelle für Feinstaubemissionen, Black Carbon, VOC und PAK (z.B. BaP). Die Bedeutung der Holzverbrennung als Quelle gas- und partikelförmiger Schadstoffe wurde in vielen Studien

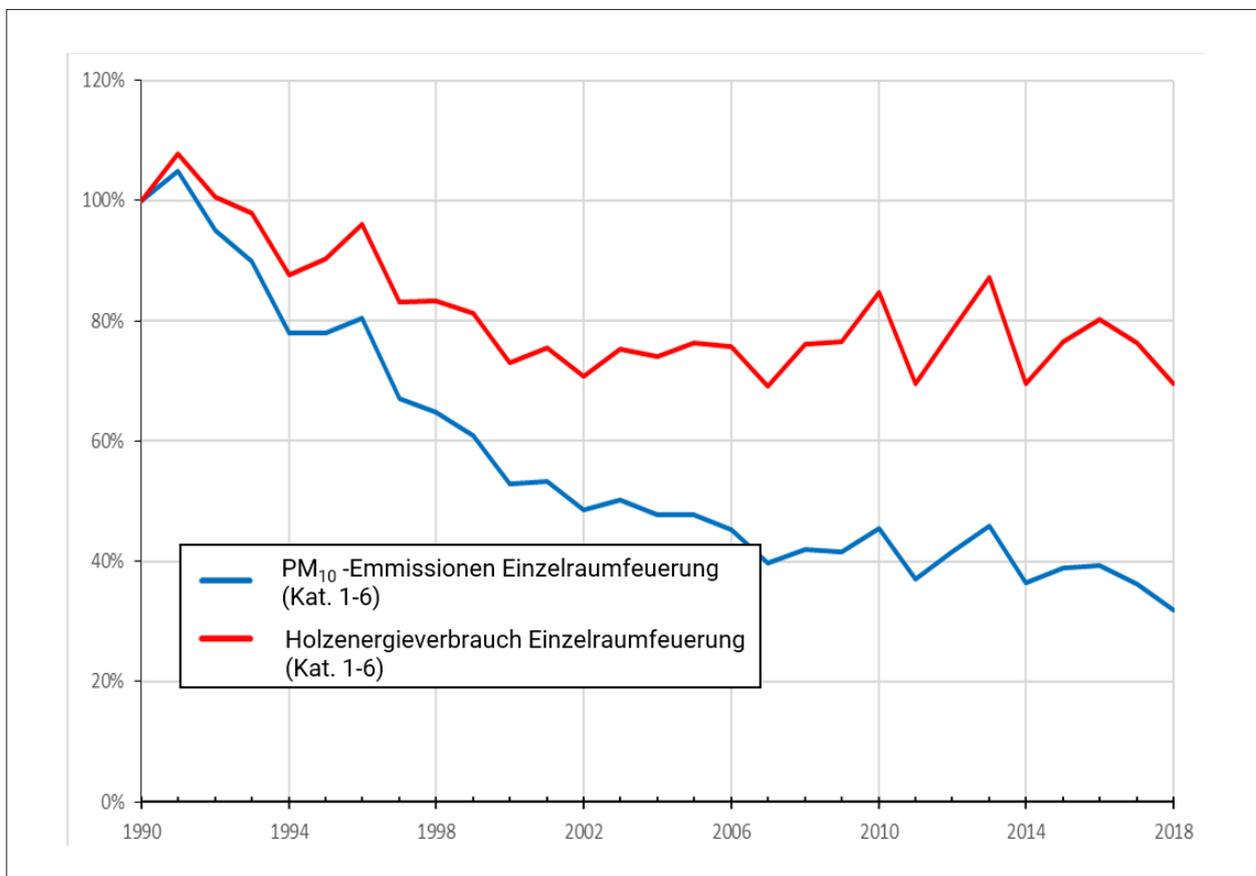


Abbildung 6: Emissionsentwicklung von Einzelraumfeuerungsanlagen in der Schweiz.



nachgewiesen, was darauf hindeutet, dass sie im Alpenraum in der kalten Jahreszeit die vorherrschende Ursache für kohlenstoffhaltige Aerosole ist. In der Tat ist die Holzverbrennung in Öfen als Haupt- oder zusätzliche Heizquelle für Wohnräume weit verbreitet (Szidat S. et al., 2007; Gilardoni S. et al., 2011; Pietrodangelo A. et al., 2014; Piot C., 2011; Herich H. et al., 2014). Zur Verringerung der negativen Auswirkungen der Holzverbrennung wurde ein Rechtsrahmen geschaffen, der Grenzwerte für kleine Geräte im häuslichen Bereich, mittelgroße und große Fernheizwerke und Kraftwerke umfasst.

Die neuesten landesweiten Statistiken über die Feinstaubemissionen von Holzöfen verzeichnen unterschiedliche Zahlen. So gingen beispielsweise zwischen 1990 und 2017 in Österreich sowohl die PM_{10} - als auch die $PM_{2,5}$ -Emissionen jeweils um 30 % bzw. 40 % zurück, und auch die Emissionen des Haushaltssektors nahmen um 32-34 % ab. In der Schweiz gingen zwischen 1990 und 2018 die PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Emissionen von Holzöfen um rund zwei Drittel zurück, wie aus Abbildung 6 ersichtlich wird, während ihr Energieverbrauch um 30 % abnahm. Dieser Rückgang wurde durch einen Maßnahmenmix erreicht, u. a. durch Sensibilisierung, Förderprogramme, Technologieentwicklung und rechtliche Instrumente. Es gibt in Österreich allerdings Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern. So war z. B. der Rückgang der Emissionen des Haushaltssektors in Tirol und Vorarlberg (zwei österreichische Bundesländer im Alpenraum) nicht so deutlich wie in den anderen österreichischen Bundesländern. In der Tat sind die PM-Emissionen in den letzten zehn Jahren generell zurückgegangen, der relative Anteil der Holzverbrennung an den Gesamtemissionen in den Alpenregionen muss jedoch noch weiter beobachtet werden.

Emissionen aus der Holzverbrennung enthalten viele organische Komponenten und Metalle (Zhang W. et al., 2014; Pietrodangelo A. et al., 2014; Hasan M. et al., 2009; Wierzbicka A. et al., 2005; Avakian M.D. et al., 2002; Lighty J.S. et al., 2000),

erstere sowohl in der Gas- als auch in der Partikelphase, letztere hauptsächlich in der Partikelphase (Metalle). Alle partikelförmigen Bestandteile der Rauchgase aus der Holzverbrennung (organische Stoffe, Metalle und in geringerem Maße elementare Kohlenstoff- und Mineralpartikel) fallen unter die feine ($PM_{2,5}$, PM_1) oder ultrafeine (UFP: > 100 nm) Größe der Schwebeteilchen in der Luft und können somit eingeatmet werden und in den tiefsten Trakt der Atemwege gelangen. Deshalb ist der Verbrennungswirkungsgrad von Haushaltsöfen, in denen Holz verbrannt wird, für den Gesundheitsschutz von entscheidender Bedeutung.

In einer Studie, die in einem vorwiegend ländlichen Gebiet in Italien durchgeführt wurde, wurde ermittelt, dass 30-70 % der PAK im PM_{10} in der Luft aus der Holzfeuerung im Herbst und Winter stammen (Van Drooge B.L. and Ballesta P.P., 2009). In der Heizperiode kann der Beitrag der Holzfeuerung zur PM_{10} -Masse nachts manchmal um mehr als 80 % ansteigen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen einer Studie aus Augsburg (Bayern, Deutschland), wo nachts PAK-Spitzenkonzentrationen in Verbindung mit der Holzfeuerung gemessen wurden, die eng mit Levoglucosan korrelierten, einem häufigen Tracer für Holzverbrennungsaerosol im Feinstaub (Schnelle-Kreis J. et al., 2010; Elsasser M. et al., 2012; in Belis C.A. et al., 2014). Es ist sehr schwierig, eine vollständige chemische Spezifizierung der organischen Komponenten in den Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse zu erhalten, da eine Vielzahl organischer Verbindungen zugleich präsent sein kann. Vor kurzem führten Stefenelli G. et al., 2019 im Rahmen einer Studie die chemische Bestimmung der organischen Komponenten in Emissionen aus verschiedenen Holzöfen durch²⁵. Dennoch ist der Beitrag zum elementaren Kohlenstoffgehalt im Feinstaub durch die Verbrennung von Holz nicht zu vernachlässigen.

Im Jahr 2014 verglich eine Studie die Konzentrationen von elementarem Kohlenstoff, organischem Kohlenstoff und Feinstaub aus verschiedenen Untersuchungen; 23 Messstellen, die meisten davon

25. Rauchgase enthalten typischerweise eine komplexe Mischung aus schwerflüchtigen organischen Gasen mit Ausnahme von Methan (siehe Abschnitt 3.3.3.2), braunem Kohlenstoff (primäres organisches Aerosol (POA)) und Black Carbon. Die Hauptfamilien organischer Verbindungen, die in den POA identifiziert wurden, sind Furane, monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (MAK), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), humusähnliche Substanzen (HULIS) und sauerstoffhaltige Aromaten. Furane werden durch Zellulosepyrolyse freigesetzt, MAK und PAK entstehen aus der unvollständigen Verbrennung (insbesondere von Holz), und sauerstoffhaltige Aromaten werden hauptsächlich durch Ligninpyrolyse freigesetzt. Der verbleibende Teil der Rauchgase ist reich an sauerstoffhaltigen organischen Gasen, die als Vorläufer bei der atmosphärischen Bildung von sekundären organischen Aerosolen (SOA) wirken, wie im Abschnitt 3.2.3 beschrieben wird. HULIS sind ein Hauptbestandteil von braunem Kohlenstoff und spielen eine Schlüsselrolle in atmosphärischen Prozessen (z. B. wirken sie als Kondensationskerne und Eiskerne, die das hygroskopische Wachstum fördern usw.) beim Strahlungsaustausch (hohe Absorption von UV-Licht) und bei den gesundheitlichen Auswirkungen von Feinstaub in der Umgebung bedingt durch den zellulären oxidativen Stress (Fang et al., 2019; Tuet et al., 2019).

im Alpenraum, wurden für die Jahre 2005-2010 berücksichtigt. Die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen von elementarem Kohlenstoff aus der Holzfeuerung wurden an den Messstellen in Cantù (IT), Chamonix (FR), Graz (AT), Ispra (IT), Lanslebourg (FR), Lescheraines (FR), Mailand (IT), Passy (FR) und Sondrio (IT) verzeichnet. Die meisten dieser Messstellen liegen direkt in Alpentälern, während die Messstationen in Cantù, Graz, Ispra und Mailand an den Ausläufern der Alpen liegen. Hohe Konzentrationen von elementarem Kohlenstoff werden auch an den Messstellen Ebnet Kappel (CH), Grenoble (FR), Magadino (CH), Moleno (CH), Roveredo (CH), Zagorje (SL) und Zürich (CH) beobachtet. Alle Messstellen mit Ausnahme von Zürich liegen in Alpen- oder Voralpentälern, wo Inversionsschichten hohe Feinstaubkonzentrationen bedingen können (Herich H. et al., 2014).

Tabelle 5 fasst die Emissionsfaktoren für ausgewählte Heizungssysteme zusammen, die für die Österreichische Luftschadstoff-Inventur verwendet werden. Beim Einsatz von Gasöl, LPG oder Gas in technologisch modernen Anlagen kommt es zu mittleren NO_x-Emissionen, sehr geringen Emis-

sionen von PM_{2,5}, SO₂ und VOC ohne Methan und zu keinen Emissionen von BaP. Die Verbrennung von Kohle geht mit einer hohen Freisetzung aller Schadstoffe einher. Die Emissionen aus Holzverbrennungsanlagen hängen stark von der Technologie und der verwendeten Biomasse ab: Moderne Pelletkessel erreichen die niedrigsten Emissionen; auf dem Markt gibt es aber auch Technologien zur Verbrennung von gemischtem Brennholz und Holzschnitzeln (Kombi-Kessel), die im Vergleich zu älteren Systemen niedrigere Emissionen aufweisen. Es sei angemerkt, dass beispielsweise durch den Einbau kleiner Elektrofilter die PM_{2,5}-Emissionen weiter gemindert werden könnten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass solche End-of-Pipe-Technologien Kosten für den Betrieb bedeuten.

Die Schweiz, Österreich und Deutschland haben bereits Gesetze zur Minimierung der Schadstoffemissionen bei der Verbrennung von Biomasse eingeführt, und es gibt in Abhängigkeit von der Größe strenge Vorschriften für Holzverbrennungsanlagen. Die in Tabelle 6 zusammengefassten Grenzwerte sollen auch künftig zur Reduktion der

Heizungssystem	PM _{2,5}	NO _x	NMVOC	BaP	SO ₂
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	g/TJ	kg/TJ
Gasöl: Blaubrenner mit Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik	1,2	33,1	0,17	0,0	0,5
Gasgebläsebrenner	0,2	36,6	0,20	0,0	0,3
LPG-Öfen	1,8	51,0	2,00	0,0	6,0
Kohleöfen	122,4	132,0	333,30	33,4	543,0
Holzöfen und Kochherde	118,4	106,0	583,59	121,0	11,0
Kombi-Kessel	113,8	122,1	422,99	29,8	11,0
Gebläsekessel für Holz	40,0	80,0	325,00	0,2	11,0
Holzschnitzelkessel mit konventioneller Technologie	80,0	107,0	432,40	8,4	11,0
Holzschnitzelkessel mit Sauerstoffsensoren für die Emissionskontrolle	44,0	80,0	78,00	0,6	11,0
Pelletöfen	24,0	60,0	39,00	10,0	11,0
Pelletkessel	15,2	60,0	32,50	0,6	11,0

Tabelle 5: Emissionsfaktoren für ausgewählte Heizungssysteme, die für die Österreichische Luftschadstoff-Inventur verwendet werden (pro Terajoule erzeugter Energie). (Hinweis: Die Unterscheidung der Heizungssysteme variiert von Land zu Land, so dass ein direkter Vergleich der nationalen Emissionsfaktorensätze zu Fehlinterpretationen führen kann.)



Land	Festbrennstoff-Einzelraumheizgerät	Grenzwerte bezogen auf 13 % Sauerstoff	
		CO [mg/m ³]	PM
Europäische Union Verordnung (EU) 2015/1185 In Kraft ab dem 01.01.2022	Mit offener Brennkammer	2.000	50
	Mit geschlossener Brennkammer	1.500	40
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	300	20
	Herde ^(a)	1.500	40
Österreich^(b)	Mit offener Brennkammer	640	120
	Mit geschlossener Brennkammer	640	120
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	640	120
	Herde		
Frankreich Freiwillige Anforderungen des Gütesiegels <i>Flamme Verte</i> - neue Geräte seit dem 01.01.2020	Mit offener Brennkammer	1.250	
	Mit geschlossener Brennkammer	1.500	40
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	250	30
	Herde	1.500	40
Deutschland (Bundesimmissionsschutzverordnung) Neue Geräte seit dem 01.01.2015	Mit offener Brennkammer	1.250	40
	Mit geschlossener Brennkammer	1.250	40
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	250	20/30
	Herde	1.500	40
Italien^(c) Ministerdekret (DM) Nr. 186 vom 7. November 2017. Ist schon in Kraft, enthält Anforderungen, die freiwillig erfüllt werden können	Mit offener Brennkammer	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
	Mit geschlossener Brennkammer	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	364 - 250 - 250	40 - 30 - 15
	Herde	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
Liechtenstein	Mit offener Brennkammer	1.500	75
	Mit geschlossener Brennkammer	1.500	75
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	500	40
	Herde	3.000	90
Monaco	Mit offener Brennkammer	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
	Mit geschlossener Brennkammer	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
	Herde	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
Slowenien	Mit offener Brennkammer	1.250	40
	Mit geschlossener Brennkammer	1.250	40
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	400	30 - 20 ^(d)
	Herde	1.500	40
Schweiz^(e)	Mit offener Brennkammer	1.500	75
	Mit geschlossener Brennkammer	1.500	75
	geschl. Brennkammer (Holzpellets)	500	40
	Herde	3.000	90

Tabelle 6: Vergleich der bestehenden Emissionswerte von Holzheizungen mit den zukünftigen Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG in Verbindung mit der Verordnung (EU) 2015/1185.

(a) „Herd“ bezeichnet ein Festbrennstoff-Einzelraumheizgerät, das innerhalb eines Gehäuses die Funktionen eines Festbrennstoff-Einzelraumheizgerätes und einer Kochmulde und/oder eines Ofens zur Zubereitung von Speisen umfasst und über eine abgedichtete Verbindung zu einem Schornstein oder einer Öffnung der Feuerstelle verfügt oder eine Abgasanlage zur Abführung der Verbrennungsprodukte benötigt; (b) die österreichischen Emissionsgrenzwerte beziehen sich auf die Erstmessung; für die Typgenehmigung gelten strengere Emissionsgrenzwerte; (c) Erster Wert für Direktwärme, zweiter Wert für Wärmeträgerflüssigkeit; (d) Für die Schweiz gilt die Luftreinhalte-Verordnung; Anhang 4 Ziffer 212. Ab dem 01.01.2022 gelten auch die Anforderungen der EU-Verordnung 2015/1185 für die Zulassung solcher Anlagen (siehe Anhang 1.19 EnEV).

Feinstaubemissionen in den betroffenen Gebieten beitragen.

Die EU Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte) trat am 1. Januar 2020 für Biomasse-Verbrennungsanlagen (wie etwa Pelletheizungen) in Kraft. Die Verordnung (EU) 2015/1185 sieht vor, dass diese am 1. Januar 2022 für kleinere Holzheizsysteme, so genannte „Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte“, in Kraft tritt. Durch diese Richtlinie werden die Mindestanforderungen in den EU-Mitgliedstaaten vereinheitlicht. Die Wirksamkeit wird jedoch von den unterschiedlichen Kontroll- und Inspektionsregelungen abhängen. Es macht einen großen Unterschied, ob Messungen vor Ort oder auf dem Prüfstand durchgeführt werden und wer die Messung vornimmt (d.h. Eigenklärung des Herstellers oder eines zuständigen unabhängigen Labors). Die Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie muss von wirksamen Marktkontrollregelungen begleitet werden, da ansonsten billigere und umweltschädlichere Öfen auf den Markt kommen könnten.

3.2.2 STRAßENVERKEHR

Der Straßenverkehr ist eine wichtige Quelle für gasförmige (NO_2 , VOC) und partikelförmige Schadstoffe. Feinstaub aus Fahrzeugemissionen setzt sich hauptsächlich aus elementarem Kohlenstoff und PAK zusammen; laut der WHO sind Dieselaabgase als krebserregend eingestuft. Darüber hinaus trägt der Straßenverkehr von Fahrzeugen durch Fein- und Grobstaub, der durch Bremsen- und Reifenabrieb und durch die Wiederaufwirbelung von Straßenstaub freigesetzt wird, zur Feinstaub PM_{10} -Masse bei.

Die Auswirkungen und Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs betreffen nicht nur die Haupttransitstrecken in den Tälern und innerstädtischen Straßen, sondern auch Landstraßen, die Dörfer und Kleinstädte miteinander verbinden, sowie eine große Anzahl nicht asphaltierter Verkehrswege, die in naturnahen Berggebieten bis in große Höhen führen. Abbildung 34 (Kapitel 7) zeigt die Lage der Hauptverkehrsachsen in den Alpen. Zusätzlich zu den dauerhaft in den Berggebieten lebenden Menschen kommen sowohl in den Winter- als auch in

den Sommermonaten viele UrlauberInnen mit ihrem eigenen Auto über nicht asphaltierte Gebirgsstraßen zu diesen Orten (Alpenkonvention, 2007: 8, 33, 129), z. B. zum Skifahren und Wandern (vgl. Blasco M. et al., 2006, 2008; Nascimbene J. et al., 2014). Messungen, die von mobilen Messstationen in Dörfern und deren Umgebung sowie entlang von Talstraßen durchgeführt wurden, zeigen, dass der Verkehr quantitativ die dominante Quelle ultrafeiner Partikel (UFP) ist, vor allem von Partikeln, die kleiner als 50 nm sind, während die Verbrennung von Biomasse die Hauptquelle für die UFP-Masse ist (Weimer S. et al., 2009).

Die Fachliteratur belegt, dass in vielen Alpentälern die Holzverbrennung zwar ähnlich bedeutsam ist, die Kraftfahrzeugemissionen jedoch nur an Orten mit sehr hohem Verkehrsaufkommen signifikant sind (Szidat S. et al., 2007; Gianini M.F.D. et al., 2012; Zotter P. et al., 2014). Das private Auto ist im Alpenraum nach wie vor die üblichste Art des Personenverkehrs und dessen vermutete Zunahme in der Zukunft ist ein großes Problem des Alpenraums (Alpenkonvention, 2007: 64). Darüber hinaus hat der alpenquerende Güterverkehr durch die Alpentäler erhebliche Auswirkungen auf die Luftqualität, da er noch zusätzlich zum regionalen und lokalen inneralpinen Güterverkehr wirkt (Heimann D. et al., 2007). Tatsächlich sind die alpinen Standorte in den Tälern zunehmend durch Verkehrsabgase belastet (Ducret-Stich R.E. et al., 2013a; Ducret-Stich R.E. et al., 2013b). Viele Studien belegen einen erheblichen Anstieg der Konzentration von verkehrsbedingten Luftschadstoffen wie NO_2 , elementarem Kohlenstoff und Partikeln in der Nähe von Autobahnen oder Hauptstraßen in Ortschaften. Menschen, die entlang von Straßen leben, weisen eine statistisch signifikante Zunahme von Atemwegssymptomen auf, die sehr stark mit der Schadstoffbelastung zusammenhängen (Ducret-Stich R.E. et al., 2013b; Hazenkamp-von Arx M.E. et al., 2011).

Durch die komplexe Topografie der Alpen beschränkt sich die Verkehrsinfrastruktur auf einige wenige Korridore entlang von Tälern und über Pässe, wo sich die Verkehrsemissionen konzentrieren. In Anbetracht der Tatsache, dass sich auch viele Dörfer und Städte in den Alpen entlang der Täler verdichten, vor allem in jenen mit den wichtigsten Fernstraßen und Eisenbahnstrecken (Heimann D. et al., 2007), betreffen die Auswirkungen des Straßenverkehrs wahrscheinlich einen Großteil der Alpenbevölkerung.

26. WHO-IARC 2012: Diesel engine exhaust carcinogenic (https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf).

Zur Verminderung der Schadstoffemissionen sind bereits verschiedene Prozesse in Gang, so die Elektrifizierung der Fahrzeuge nach Sektoren (Stadtlogistik), die fortschreitende Hybridisierung und die Diversifizierung verschiedener Technologien / alternativer Kraftstoffe / Antriebssysteme. In flachen Abschnitten könnten Oberleitungen für elektrische Lastkraftwagen (LKW) installiert werden. Diesel-LKW werden mittelfristig gesehen nur noch mit einer Optimierung von Motoren und Abgasfilter-Reinigungssystemen eine Rolle spielen (siehe Kapitel 7.3.4). Eine Verbesserung der Luftqualität in den Alpentälern ist wahrscheinlich, vor allem wenn die Verlagerung von LKW auf die Schiene weiter vorangetrieben wird.

3.2.3 GRENZÜBERSCHREITENDE VERSCHMUTZUNG

Einige in der Fachliteratur angeführte Studien behandeln die Auswirkungen der industriellen Kohleverbrennung außerhalb Europas; nur eine Publikation enthält dagegen Ergebnisse, die Europa betreffen (Valverde V. et al., 2016). Die Verbrennung von Kohle kann eine Quelle von SO_2 , NO_x , PM Schwermetallen (Quecksilber, Blei, Arsen und Cadmium) und natürlich Kohlendioxid sein (Global energy monitor, 2019). Diese Emissionen können weiträumig transportiert werden.

Viele europäische Länder haben ihre Bereitschaft angekündigt, Kohle als Quelle für die Energieerzeugung zu verbieten. Dies entspricht 48 % des EU-CO_2 -Budgets. Unter den Mitgliedern der Alpenkonvention gibt es 2020 in Österreich, Liechtenstein, Monaco und der Schweiz keine Kohlekraftwerke mehr, Frankreich hat ein Verbot bis 2022 angekündigt, Deutschland hat den Kohleausstieg bis spätestens 2038 beschlossen und Italien will bis 2025 aus der Kohleenergie aussteigen. Slowenien betreibt derzeit den neuen 600 MWe-Kraftwerksblock 6 des Kohlekraftwerks Šoštanj, welcher 2016 gebaut wurde und bis 2054 in Betrieb bleiben soll.

Nach sorgfältiger Prüfung der wissenschaftlichen Literatur berichtet keine der bisher veröffentlichten Studien zur Luftverschmutzung und Quellenzuordnung, die sich auf den Alpenraum beziehen, über Beiträge von Kohlekraftwerken zur gemessenen Luftverschmutzung. Insofern haben diese Kraftwerke laut der Fachliteratur nur geringfügige bzw. keine Auswirkungen auf die Luftqualität im Alpenraum.

Auch wenn diese Analysen keine spezifischen Probleme aufzeigen, sind die über große Entfer-

nungen transportierten Emissionen ein wichtiges Thema, das im Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung behandelt wird. Beobachtungen, Emissionserhebungen und Modellrechnungen, wie sie das in Kapitel 6.4 vorgestellte Virtuelle Alpenobservatorium durchführt, sind wichtig, um die hinter dem Transport von Schadstoffen stehenden Mechanismen zu verstehen und um politische EntscheidungsträgerInnen und die Öffentlichkeit früh für Probleme der Luftqualität zu sensibilisieren..

3.2.4 QUELLEN VON VORLÄUFEREMISSIONEN, DIE SEKUNDÄRE AEROSOLE BILDEN

Sekundäre Aerosole entstehen aus gasförmigen Vorläuferstoffen (z.B. Ammoniak (NH_3), SO_2 , NO_x , VOC) durch chemische Reaktionen und Gas-zu-Partikel-Konversionen, wobei Partikel direkt in der Atmosphäre gebildet werden. Die Verbrennung von Biomasse und der Straßenverkehr (Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2) gehören zu den Hauptquellen, die Vorläuferemissionen für SA freisetzen. Weitere bedeutende Quellen von Vorläuferemissionen im Alpenraum sind die Landwirtschaft und Wälder. Neben den Emissionsquellen kann die atmosphärische Stabilität ein Faktor sein, der die Bildung von sekundären Aerosolen begünstigt, (Abschnitt 3.1.1) da sie gegebenenfalls chemische Reaktionen dabei unterstützt, weiterhin Partikel zu bilden und die Konzentrationen in der Luft zu erhöhen (Hao L. et al., 2018).

Die chemische Zusammensetzung von sekundären Aerosolen (SA) spiegelt die jahreszeitlich bedingte Dominanz verschiedener Quellen von Vorläuferemissionen und die unterschiedlichen physikalischen Bedingungen und Wetterlagen wider, die ihre Bildungsreaktionen in der Atmosphäre begünstigen. SA sind sowohl im Winter als auch im Sommer eine Feinstaub-Hauptkomponente im Alpenraum. Dies ist auf zwei Hauptfaktoren zurückzuführen: erhöhte Emissionen aus primär anthropogenen Quellen (hauptsächlich Verkehr und Wohnungsheizungen) im Winter und erhöhte Emissionen aus biogenen Quellen (Blätterdach der Wälder) im Sommer. Die Zusammensetzung der SA besteht sowohl aus anorganischen als auch organischen Substanzen.

Die atmosphärische Bildung von anorganischen SA (hauptsächlich Ammonium, Nitrat, Sulfat) geht auf anthropogene Quellen zurück, die NH_3 (Landwirtschaft), NO_x und SO_2 (Verkehr, Wohnungsheizungen, Biomasseverbrennung) als Vorläufer freisetzen. Andererseits ist die atmosphärische Bildung von organischen SA (eine Mischung aus

vielen verschiedenen Familien organischer Stoffe) sowohl auf anthropogene (hauptsächlich Biomasseverbrennung, Verkehr) als auch auf biogene Quellen (Kronendächer der Wälder) zurückzuführen, die VOC als Vorläufer freisetzen (Rouvière A. et al., 2006; Srivastava D. et al., 2019; Stefenelli G. et al., 2019).

3.2.4.1 Sekundäre anorganische Aerosole

Sekundäre anorganische Aerosole bestehen im Winter hauptsächlich aus Ammoniumnitrat und im Sommer aus Ammoniumsulfat, je nach den chemischen Gleichgewichten zwischen diesen Stoffen (Squizzato et al., 2013). Typische Anteile von sekundären anorganischen Aerosolen zur gesamten Feinstaub PM_{10} -Masse liegen an Standorten in den Alpentälern zwischen 5 und 15 %, wie beispielsweise in Aosta (Diemoz H. et al., 2019a), Chamonix und Grenoble (Weber S. et al., 2019), Lanslebourg (Besombes J.L. et al., 2014). In einigen Fällen wurden jedoch Anteile von bis zu 30 % festgestellt (Favez O. et al., 2017a). Der Anteil der sekundären anorganischen Aerosole an der PM-Masse hängt stark von der Konzentration von Ammonium (und seines Vorläufers Ammoniak) ab. In den Alpentälern liegen die Ammoniumkonzentrationen etwa zwischen 0,1-0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; in diesem spezifischen Fall werden die höchsten Werte im Herbst und Winter beobachtet (Favez O. et al., 2017a; Diemoz H. et al., 2019a). Ähnliche Werte werden an alpinen Messstellen auch für Ammoniak verzeichnet. Thimonier A. et al. (2019) verglichen Ammoniakmessungen in der Schweiz für die Jahre 2000 und 2014 an verschiedenen alpinen Weidestandorten und auf zwei offenen, intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen bei Lausanne und Vordemwald. Auf den Alpweiden lagen die Konzentrationen unter 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und auf den intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen zwischen 2-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei es zwischen 2000 und 2014 keine signifikanten Unterschiede gab. Da Ammonium (und sein Vorläufer Ammoniak) in erster Linie landwirtschaftlichen Aktivitäten entstammt, deuten diese Werte auf einen generell geringen Einfluss der Landwirtschaft auf die Luftqualität im Alpenraum hin (Lighty J.S. et al., 2000; Price M.F. et al., 2011).

Die Ammoniumkonzentration ist in Gebieten, die stark von landwirtschaftlichen Aktivitäten geprägt sind, wie z.B. die Poebene, wesentlich höher und liegt zwischen 5-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (durchschnittlich 5-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (z. B. Larsen et al., 2012); ähnliche Ammoniakwerte wurden auch in landwirtschaftlich geprägten Ortschaften in Österreich und Bayern (Deutschland) festgestellt (Löflund M. et al., 2002). Dieselben Autoren beobachteten jedoch eine ra-

sche Abnahme der Ammoniakkonzentration in einem Umkreis von 500 m von den Siedlungen, was darauf hindeutet, dass Ammoniak rasch abgebaut bzw. verdünnt wird und die NH_3 -Belastung deshalb lokal begrenzt bleibt.

3.2.4.2 Sekundäre organische Aerosole

Im Winter bilden sich im Alpenraum sekundäre organische Aerosole aus den Emissionen der Biomasseverbrennung und den VOC-Emissionen des Verkehrs; im Sommer hingegen werden sekundäre organische Aerosole durch die Blätterdächer der Wälder gebildet, die bedingt durch die höhere Umgebungstemperatur große VOC-Mengen freisetzen. Im Allgemeinen kommt es bei VOC, sobald sie emittiert werden, zu Oxidationsreaktionen mit atmosphärischen Oxidationsmitteln wie Hydroxylradikalen (OH), Ozon (O_3) und Nitratradikalen (NO_3^-), wobei sich sekundäre Partikel bilden.

Rouvière A. et al. (2006) analysierten die Rauchgase aus der Verbrennung von Kiefernholz im Tal von Chamonix, wo die Vegetation überwiegend aus Nadelbäumen besteht. Die Analyseergebnisse weisen auf das Vorhandensein von Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol), Alkanen (Heptan, Oktan, Nonan) und Terpenen (Isopren, Limonen, α -Pinen) hin. Wie bereits angedeutet, ist die Zusammensetzung von SOA sehr komplex, und ein umfassender Nachweis aller organischen Familien in den sekundären Aerosolen kann kaum erstellt werden. Dennoch konnten Squizzato et al. (2013) jüngst verschiedene Quellenbeiträge zu SOA unterscheiden und die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung und Quantität an einem ländlichen Standort im Großraum Paris analysieren. Mindestens zwei dieser Beiträge stammten aus Emissionen aus der Biomasseverbrennung, ein weiterer ist durch den Verkehr bedingt; zusammen machen sie etwa 15 % der gesamten SOA aus; letzterer macht rund 75 % der gesamten organischen Aerosole aus.

2003 wurde die Rolle biogener Emissionen bei der Entstehung von SOA in der Schweiz und in Italien von Andreani-Aksoyoglu S. et al. (2008) untersucht. Modellsimulationen deuteten darauf hin, dass der Beitrag der biogenen SOA (gebildet aus den von Bäumen emittierten Vorläuferemissionen) zum gesamten SOA sehr hoch war; in der Nordschweiz lag er bei etwa 80 %. In diesem Gebiet entstammt der biogene Beitrag den zahlreichen Fichtenwäldern, bedingt durch die hohen Monoterpen-Emissionen. Andererseits wurde festgestellt, dass der Beitrag der biogenen Emissionen zum SOA in der Südschweiz, wo die Monoterpen-Emissionen geringer

sind, deutlich niedriger ist (ca. 40 %), ebenso in dem stark belasteten Norditalien (Mailand: 15-25 %), wo die anthropogenen Quellen wesentlich stärker als die Vegetation zur SOA-Bildung beitragen. Ähnliche Werte wurden im Rahmen des DECOMBIO-Projekts bei den SOA biogenen Ursprungs (10-30 % der gesamten PM_{10} -Masse) in Marnaz, Chamonix und Passy nachgewiesen (Favez O. et al., 2017a).

Es muss angemerkt werden, dass erst kürzlich in Studien zur Quellenzuordnung gezeigt werden konnte, dass der Beitrag organischer Stoffe zur Gesamtzusammensetzung sekundärer Aerosole im Allgemeinen mit dem der anorganischen Komponenten vergleichbar ist (Favez O. et al., 2017a; Srivastava D. et al., 2019). Während jedoch Quellen und atmosphärische Reaktionen, die anorganische sekundäre Partikelarten bilden, weitestgehend bekannt sind, was Entscheidungen im Zusammenhang mit Minderungsmaßnahmen in Bezug auf starke Verschmutzungsereignisse stützt, sind die Zusammenhänge bei der Bildung von organischen sekundären Partikelarten noch

weitgehend unbekannt. Es mangelt sowohl an Kenntnissen über die chemischen Quellenprofile der VOC (d.h. welche VOC-Arten hauptsächlich von welchen Quellen emittiert werden) als auch an Wissen über die atmosphärischen Reaktionen, bei denen sich sekundäre Partikel aus VOC bilden (vor allem die nächtliche Atmosphärenchemie, z.B. mit Nitratradikal).

Ein wichtiger Beitrag des Projekts „SOURCES“ für die Luftreinhaltepolitik ist die Möglichkeit, den Feinstaub PM_{10} -Gesamtkonzentrationen in der Luft Verschmutzungsquellen zuzuordnen, so dass die Verschmutzung an ihrer Quelle reduziert werden kann. Abbildung 7 zeigt beispielsweise für die französischen Alpentäler die hohe Bedeutung der Biomasseverbrennung. Obwohl diese Untersuchung keinen großen Anteil nitrat- und sulfathaltiger Partikel im Zusammenhang mit intensiver Landwirtschaft belegt, scheint dieser in anderen Regionen durchaus erheblich zu sein und muss in Alpengebieten mit intensiver Landwirtschaft sorgfältig geprüft werden.

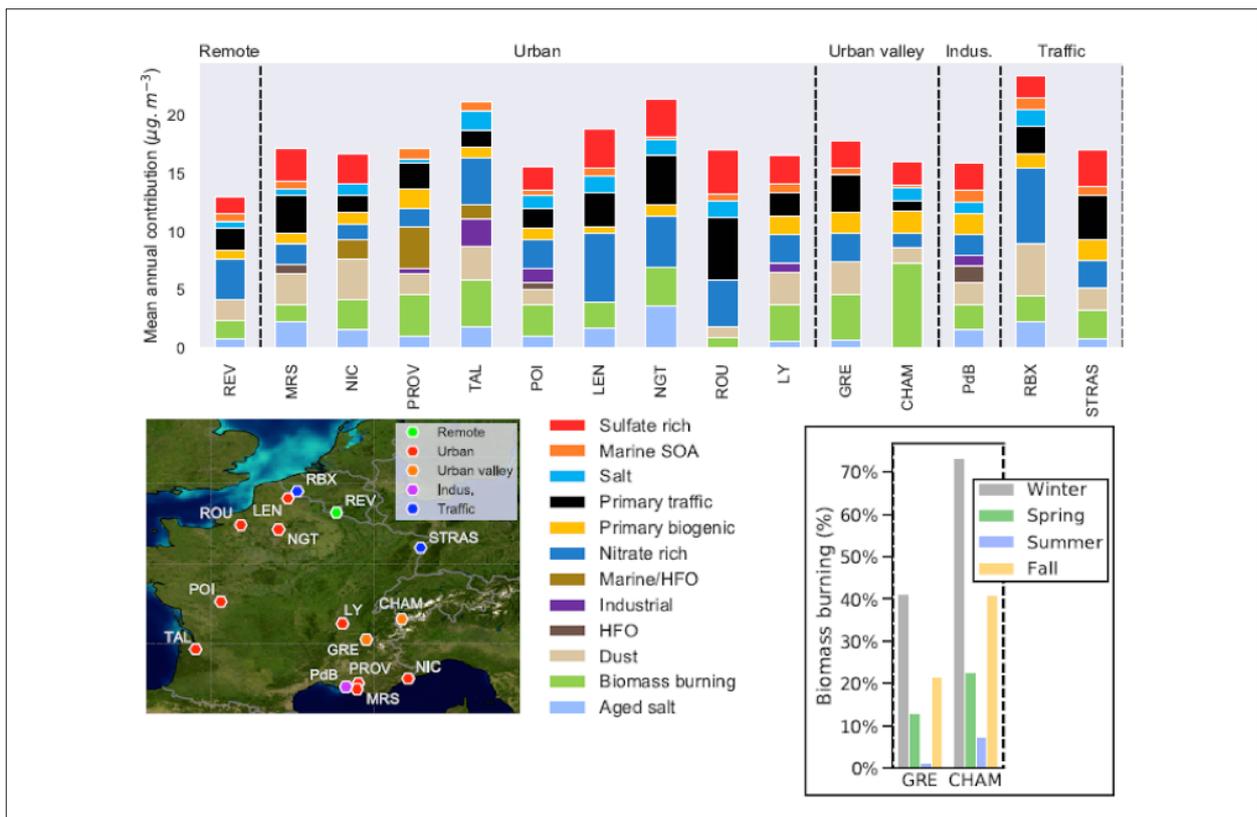


Abbildung 7: Ergebnisse des Projekts „SOURCES“, welche die Beiträge der PM_{10} -Quellen an verschiedenen Orten in Frankreich zeigen. Die Grafik oben zeigt den signifikanten Beitrag der Biomasseverbrennung in den zwei alpinen Städten Grenoble (GRE) und Chamonix (CHAM) im Vergleich zu anderen Orten (die anderen Akronyme der Städtenamen finden sich in der Studie). HFO bedeutet schweres Heizöl, sulfate rich bedeutet SO_4^{2-} -haltig, nitrate rich bedeutet NO_3 -haltig, Staub (dust) ist eine Mischung aus terrigenen Aerosolen und mineralischen Partikeln, die mit menschlichen Aktivitäten (z.B. Bauarbeiten, Wiederaufwirbelung durch Straßenverkehr usw.) verbunden sind. Die Grafik unten rechts zeigt die jahreszeitlichen Schwankungen der Quelle Biomasseverbrennung in Grenoble und Chamonix und veranschaulicht die Auswirkungen der Biomasseverbrennung im Winter (Weber S. et al., 2019).

4. AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG

Die in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen wichtigsten Luftschadstoffe sind Feinstaub ($PM_{2,5}$, PM_{10}), NO_2 und Ozon. Weitere bedenkliche Schadstoffe sind Black Carbon, PAK und andere organische Verbindungen (Furane, HULIS, sauerstoffhaltige Aromaten) sowie Schwermetalle als Teil von Feinstaub. Der wissenschaftliche Nachweis für verschiedene gesundheitsschädliche Auswirkungen basiert auf epidemiologischen und toxikologischen Studien und auf kontrollierten Expositionsstudien am Menschen. Zur Einschätzung der Belastung der gesundheitsschädlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit Luftverschmutzung entwickelte die WHO ihre Luftgüteleitlinien, die auf einer Auswertung der wissenschaftlichen Literatur durch ExpertInnen beruhen (siehe Tabelle 3).

4.1 AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT: STERBLICHKEIT

Die durch Luftverschmutzung bedingte Sterblichkeit wird mit Hilfe epidemiologischer Studien ermittelt. Die Schätzungen, die durch solche Berechnungen bereitgestellt werden, können zwischen den einzelnen Studien stark variieren. Dies hängt unter anderem von der Wahl der für die Expositionsbeurteilung verwendeten Methoden, von den verwendeten mathematischen Funktionen, die den Grad der Exposition gegenüber der Luftverschmutzung unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren mit Auswirkung auf die Sterblichkeit in Beziehung setzen, und vom Expositionsgrad, bei welchem ein minimales Risiko beobachtet wurde (Basisszenario), ab.

Die Schätzungen zur aufgrund von Luftverschmutzung reduzierten Lebenserwartung reichen von einigen Wochen bis zu wenigen Jahren, je nach Methodik der Studie und betrachteter Region. Weltweite Schätzungen mitteln die Auswirkungen von Luftverschmutzung auf die Sterblichkeit über sehr unterschiedlich stark betroffene Regionen (z.B. ländliche Gebiete, verschmutzte Städte), sodass ihre Aussagekraft begrenzt ist.

Das Health Effects Institute schätzt, dass die Luftverschmutzung weltweit die Lebenserwartung der heute geborenen Kinder um 20 Monate verringert (Health Effects Institute, 2019). In Europa ist Luftverunreinigung das größte umweltbedingte Gesundheitsrisiko (Europäische Umweltagentur, 2019). Die Europäische Umweltagentur (EUA) schätzte für das Jahr 2016 die Anzahl der verlorenen Lebensjahre (YLL), die auf die $PM_{2,5}$, NO_2 - und O_3 -Exposition zurückzuführen sind; im EUA-Bericht über die Luftqualität 2019 sind für 41 europäische Länder Informationen über die verlorenen Lebensjahre zusammengefasst. Diese Berechnungen basieren auf jährlichen, bevölkerungsgewichteten Konzentrationsmittelwerten von $14,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für $PM_{2,5}$ und $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2 . Für Ozon wurde der SOMO35 (Summe der Mittelwerte über 35 ppb²⁷ (tägliche Maxima der 8-stündigen Mittelwerte)) mit $3,811 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Tag verwendet. Insgesamt sind in Europa 4,22 Millionen verlorene Lebensjahre auf $PM_{2,5}$, 707.000 auf NO_2 und 160.000 auf Ozon zurückzuführen. Im Durchschnitt gehen jeweils 900, 100 und 30 verlorene Lebensjahre je 100.000 Einwohner in ganz Europa auf $PM_{2,5}$, NO_2 und Ozon zurück. Die Schätzungen einiger neuerer Publikationen führen doppelt so hohe Zahlen an (Lelieveld J. et al., 2020).

Obwohl die durch Luftverunreinigung bedingte Sterblichkeit erheblich ist, spielt die Morbidität – d.h. die Menge, der durch Luftverschmutzung verursachten oder verschlimmerten Krankheiten – eine noch entscheidendere Rolle für eine verminderte Lebensqualität der Menschen, manchmal schon von Kindheit an.

4.2 AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT: MORBIDITÄT

Die gesundheitsschädlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung sind die Folge verschiedener pathophysiologischer Mechanismen. Da wäre zunächst die direkte Toxizität von Schadstoffen auf die Zellen und das genetische Material zu nennen.

27. Parts per billion (Teile pro Milliarde).



Über Entzündungsprozesse, oxidativen Stress und die Schwächung der Abwehrmechanismen des Körpers haben die Schadstoffe allerdings auch indirekte Auswirkungen. All diese Prozesse wirken auf das Herz-Kreislauf-System, den Atemtrakt und andere Organe ein und führen zu verringerter Herzfrequenzvariabilität, erhöhtem Blutdruck und erhöhter Gerinnungsfähigkeit des Blutes, zum Fortschreiten von Atherosklerose, zu verringerter Atemkapazität, erhöhter bronchialer Reaktionsbereitschaft, in einigen Fällen zu unnormalem Zellwachstum, Reproduktionsstörungen, Störungen der kindlichen Entwicklung, neurologischen Störungen und Stoffwechselerkrankungen. Diese schädlichen Wirkungen hängen von der Art der Exposition, der Tiefe des Eindringens der Schadstoffe in die Lunge und von der oxidierenden und reizenden Beschaffenheit der Schadstoffe ab²⁸.

Die deutlichsten Hinweise auf gesundheitliche Auswirkungen von Luftschadstoffen finden sich im Atmungssystem bedingt durch den direkten Kontakt des Schadstoffs mit dem menschlichen Körper durch das Einatmen. Dadurch können systemische Entzündungen und oxidativer Stress, welche durch eine Lungenentzündung verursacht werden, weitere schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit bedingen, wie z. B. Herz-Gefäß-Erkrankungen und Krebs. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen gesundheitlichen Auswirkungen sind die einzigen, für die von der US-Umweltbehörde (US-EPA) ein kausaler Zusammenhang abgeleitet bzw. vermutet wird.

Ozon, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid, bei denen es sich um Reizgase mit Oxidationskapazität handelt, sind gesundheitsschädlich und erhöhen das Risiko von Lungenerkrankungen, Asthma und Bronchitis. Was die verschiedenen Größenfraktionen von Feinstaub betrifft, liegt der fundierteste wissenschaftliche Beweis für die gesundheitsschädliche Wirkung bei $PM_{2,5}$ vor. Im Allgemeinen gibt es für die meisten gesundheitlichen Auswirkungen und die Exposition gegenüber PM_{10} , $PM_{2,5}$ und Ultrafeinstaub mehrere Einschränkungen und Ungewissheiten in den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, was die Interpretation der Erkenntnisse erschwert (U.S. EPA, 2019). Dennoch belegen neuere Forschungsstudien die Rolle organischer Arten von primären und sekundären organischen Aerosolen (POA und SOA, siehe Abschnitte 3.2.1 und 3.2.4.2) im Feinstaub bei der Bildung endogener reaktiver Sauerstoff- oder Stickstoffspezies, die direkt für den zellulären oxidativen Stress im Lungengewebe verantwortlich sind. Generell wird zudem beobachtet,

dass die endogene Erzeugung von reaktiven Sauerstoff- oder Stickstoffspezies in den Zellen durch im Feinstaub enthaltene Schwermetalle vermittelt wird (Fang et al., 2019; Tuet et al., 2019).

Es wird ein kausaler Zusammenhang zwischen den Auswirkungen auf die Atemwege und einer kurzfristigen $PM_{2,5}$ -Exposition (Tagesmittelwert) vermutet, einschließlich der Verschlimmerung von Asthma, der Verschlimmerung chronisch obstruktiver Lungenerkrankungen und kombinierter Atemwegserkrankungen. Erkenntnisse aus epidemiologischen Studien weisen auf Zusammenhänge zwischen langfristiger $PM_{2,5}$ -Exposition (Jahresmittelwert) und Asthmabildung bei Kindern, Asthma-Prävalenz bei Kindern, Keuchen in der Kindheit und Entzündungen in der Lunge hin (U.S. EPA, 2019).

In Bezug auf die kardiovaskulären Folgen kommt die U.S. EPA zu dem Schluss, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen kurzfristiger $PM_{2,5}$ -Belastung und Notaufnahmen sowie stationären Aufnahmen in Krankenhäusern in Verbindung mit kardiovaskulären Erkrankungen besteht, insbesondere bei ischämischer Herzkrankheit und Herzinsuffizienz. Eine langfristige $PM_{2,5}$ -Exposition (kausaler Zusammenhang) kann die Ursache für eine Vielzahl kardiovaskulärer Erkrankungen sein, wie u. a. atherosklerotische Plaque-Progression, eine verminderte Kontraktionskraft und Leistung des Herzens sowie Veränderungen des Blutdrucks.

Vermutlich besteht auch ein kausaler Zusammenhang zwischen langfristiger $PM_{2,5}$ -Exposition und einer Reihe von Auswirkungen auf das Nervensystem, einschließlich Neuroinflammation und oxidativem Stress, neurodegenerativen Erkrankungen, kognitiven Auswirkungen (Abnahme der kognitiven Funktionen, Demenz) und Auswirkungen auf die Entwicklung des Nervensystems. Sowohl die experimentellen als auch epidemiologischen Erkenntnisse sind gut fundiert und kohärent und stützen die These eines Wirkungspfads, der die Neuroinflammation in bestimmten Gehirnregionen involviert (U.S. EPA, 2019).

In Bezug auf Krebs besteht wahrscheinlich ein kausaler Zusammenhang mit einer langfristigen $PM_{2,5}$ -Exposition. Jüngste experimentelle und epidemiologische Erkenntnisse weisen auf Genotoxizität, epigenetische Effekte und das karzinogene Potenzial der $PM_{2,5}$ -Exposition hin, zusammen mit starken epidemiologischen Indizien für ein erhöhtes Inzidenzrisiko für Lungenkrebs, vor allem bei NichtraucherInnen (U.S. EPA, 2019). 2013 stuf-

28. Agence Santé publique France, Sylvia Medina, Juni 2019, Präsentation vor der RSA8-Arbeitsgruppe.

te die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine spezialisierte Agentur der WHO, Luftverschmutzung als krebserregend für Menschen ein (WHO Europe, 2013b), da es ausreichende Beweise dafür gibt, dass die Belastung durch Luftverschmutzung Lungenkrebs verursacht. PM_{10} und $PM_{2,5}$ wurden von der IARC getrennt bewertet und ebenfalls als karzinogen eingestuft.

Jüngst haben WissenschaftlerInnen die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Verbreitung von COVID-19 und die damit verbundenen Todesfälle diskutiert. Zwei Wirkungsweisen werden erörtert: die Ausbreitung des Virus durch Feinpartikel und eine höhere Sterblichkeit aufgrund einer früheren Beeinträchtigung der Lungen von Menschen, die in Gebieten mit starker Luftverschmutzung leben. Während die erste These weitgehend abgelehnt wird, ist die zweite noch unklar und muss weiter untersucht werden, und tatsächlich befassen sich derzeit viele Forschungsprojekte auf der ganzen Welt mit dieser Frage.

4.3 AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT IM ALPENRAUM

Der Zusammenhang von verkehrsbedingter Luftverschmutzung, Wahrnehmung der Abgase und

Auswirkungen auf das Verhalten oder Krankheitssymptomen wurde 1995 in zwei Erhebungen mit 1.989 Erwachsenen und 796 Kindern in 13 kleinen Alpengemeinden in Tirol (AT) mit Hilfe von Fragebögen und Luftschadstoffmessungen untersucht. Unter den Symptomen wiesen Gefühle von Müdigkeit / Erschöpfung / depressiver Verstimmung / Nervosität und Reizungen der Augen und Bauchschmerzen einen signifikanten Zusammenhang mit der ausgewerteten Luftqualität auf. Kinder in verkehrsexponierten Gebieten verbringen weniger Zeit im Freien und zwischen der angegebenen Wahrnehmung von Autoabgasen und wiederkehrenden Erkältungen, chronischer Bronchitis und der Anzahl an hyperreaktiven Atemwegen gab es einen signifikanten Zusammenhang (Lercher P. et al., 1995).

2005 wurde eine Querschnittsstudie mit 1.839 Erwachsenen aus 10 Gemeinden entlang der alpinen Schweizer Fernstraßenkorridore durchgeführt, um die Auswirkungen von Verkehrsabgasen auf Atemwegssymptome zu untersuchen. Es wurden Zusammenhänge zwischen dem Leben in der Nähe einer Autobahn und Keuchen ohne Erkältungssymptome und chronischen Husten festgestellt. Die Symptome erreichten Hintergrundwerte in Bevölkerungsgruppen, die 400 bis 500 m von der Autobahn entfernt wohnten (Hazenkamp-von Arx M.E. et al., 2011).

In einem umfassenden dreijährigen Projekt (2005-2007) sammelte und beschrieb das ALPNAP-Konsor-

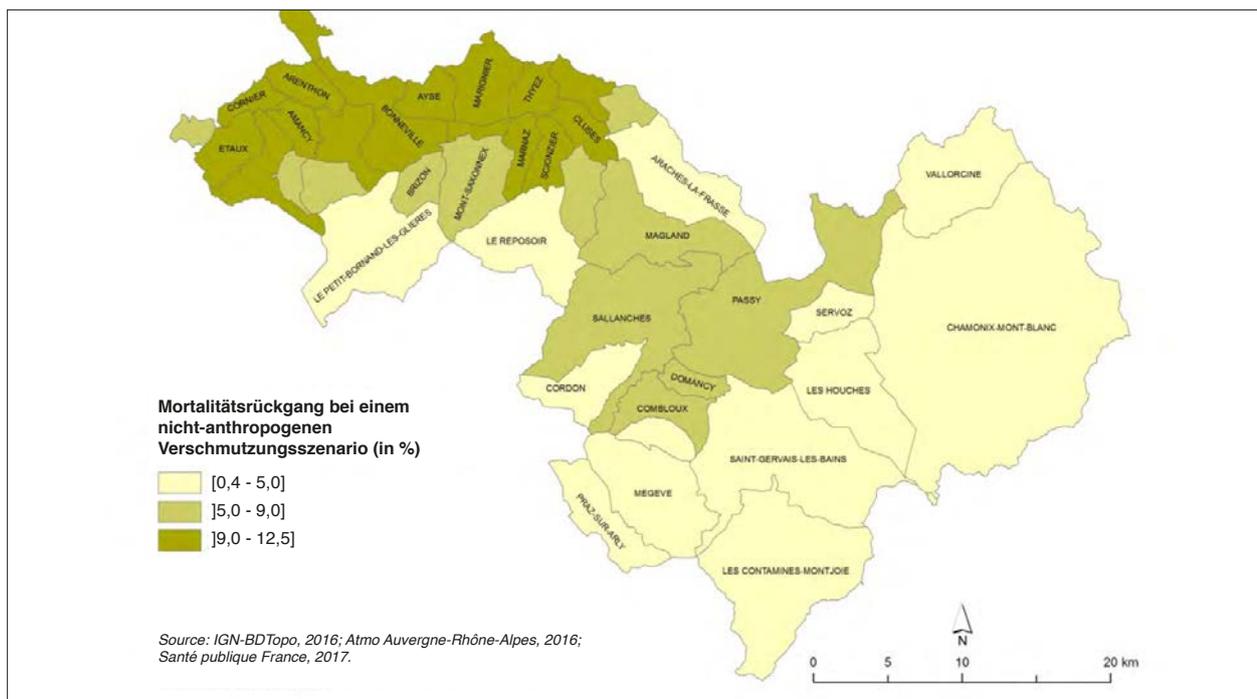


Abbildung 8: Karte des erwarteten Mortalitätsrückgangs bei einem nicht-anthropogenen Verschmutzungsszenario in den verschiedenen Gemeinden des Arve-Tals.



tium aktuelle, wissenschaftsbasierte Methoden zur Beobachtung und Vorhersage der Luft- und Lärmbelastung entlang alpenquerender Verkehrskorridore und zur Bewertung der damit verbundenen Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden. Mit Hilfe der Kombination von Bevölkerungsdaten mit einem Luftausbreitungsmodell wurden Karten über die Verteilung der exponierten Bevölkerung ausgearbeitet. Die Verwendung von Expositions-Wirkungs-Funktionen ermöglichte infolgedessen die Quantifizierung der gesundheitlichen Auswirkungen und ihrer Verteilung im untersuchten Gebiet (Heimann D. et al., 2007).

2017 führte Santé Publique France (Pascal M. et al., 2017) eine Studie über Luftverunreinigung, Sterblichkeit und Lebenserwartung im Arve-Tal in den französischen Alpen durch. Dieses Tal weist ungünstige topographische und klimatische Bedingungen mit ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen und häufigen Luftverschmutzungsspitzenwerten im Winter auf. Die Studie konzentrierte sich auf $PM_{2,5}$ als Tracer für Luftverschmutzung, für das genügend Werte vorliegen, um das Mortalitätsrisiko abzuschätzen; die $PM_{2,5}$ -Belastung ist in den Alpen weit verbreitet, wie in Kapitel 5.2. beschrieben wird. In der Studie wurden nacheinander die Meteorologie des Tals, die Emissionen von Verkehr, Industrie und Haushalten, die Ausbreitung und chemische Umwandlung der Schadstoffe und schließlich die durchschnittliche Exposition der Menschen gegenüber Feinstaub auf Gemeindeebene modelliert. Im gleichen Gebiet wurden Daten über die nicht unfallbedingte Sterblichkeit von Menschen ab einem Alter von 30 Jahren gesammelt. So konnte ein klassisch logarithmisch-lineares Modell (siehe oben, Kapitel 4.1), welches die Sterblichkeit mit der $PM_{2,5}$ -Exposition in Verbindung setzt, entwickelt werden. Damit war es möglich, den Rückgang der Mortalität in Abhängigkeit von der Abnahme von $PM_{2,5}$ abzuleiten. Politische EntscheidungsträgerInnen haben nun die Möglichkeit, das Modell zur Prüfung mehrerer politischer Handlungsmöglichkeiten zu nutzen, da es den jeweiligen Nutzen in Bezug auf Mortalität bzw. Lebenserwartung antizipieren kann (Abbildung 8).

Die Studie kam zu dem Schluss, dass die $PM_{2,5}$ -Belastung der Luft im Tal Auswirkungen in demselben Maße wie in anderen mittelgroßen Stadtgebieten in Frankreich aufweist und 8 % der Gesamtmortalität

ausmacht. Dieser Anteil ist sehr hoch, wenngleich niedriger als der in den französischen Großstädten mit der stärksten Luftverschmutzung festgestellte Wert (13 %). Sollten die $PM_{2,5}$ -Konzentrationen um 30 % gesenkt werden, würde sich die durchschnittliche Lebenserwartung um fünf Monate erhöhen. Im Großraum Genf wurde gerade ein neues Kooperationsprojekt zwischen lokalen schweizerischen und französischen Partnern zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen und Kosten der Luftverschmutzung gestartet.

4.4 AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE ÖKOSYSTEME

Luftverschmutzung wirkt sich auch schwerwiegend auf Ökosysteme und die Biodiversität aus. Mit dem Konzept der kritischen Belastungsgrenze²⁹ wird die Belastung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme durch den Eintrag von Luftschadstoffen oberhalb der schädlichen Wirkungsschwelle bewertet (Nilsson J. et al., 1988).

SO_2 scheint in Europa kein Problem mehr zu sein: Bis 2010 war der Eintrag von Schwefel um 90 % niedriger als 1980 und lag unterhalb der kritischen Belastungsgrenze. Dagegen haben Ozon, NH_3 und Stickstoffoxide (NO_x) massiv schädliche Auswirkungen auf Fauna, Flora, Wasser und Boden. Des Weiteren stellen toxische Metalle (wie Arsen, Cadmium, Blei, Nickel und Quecksilber) und POP erhebliche Risiken dar, da sie in der Umwelt verbleiben und sich zum Teil über die Nahrungskette anreichern können (Europäische Umweltagentur, 2019).

Die atmosphärische Deposition von Stickstoff verursacht in Verbindung mit der Stickstoffauswaschung aus den Böden die Eutrophierung von Flüssen und Seen und beeinträchtigt die Biodiversität. Paerl H.W. (2003) zeigte, dass die atmosphärische Stickstoffdeposition bis zu 60 % des gesamten Stickstoffeintrags im Meer ausmachen kann. Ozon interagiert als starkes Oxidationsmittel mit Pflanzenzellen, reduziert das Wachstum, beeinträchtigt die Fortpflanzung und schädigt damit Wälder, Nutzpflanzen und Grasland.

NO_x versauert auch Böden, Seen und Flüsse. Ammoniak und Stickstoffoxide schädigen Öko-

29. Kritische Belastungsgrenze: Eine quantitative Schätzung der Belastung durch den Eintrag eines oder mehrerer Schadstoffe, unterhalb derer nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine signifikanten schädlichen Auswirkungen auf empfindliche Elemente der Umwelt auftreten. Die Überschreitung einer kritischen Belastungsgrenze wird als atmosphärische Deposition des Schadstoffs oberhalb der kritischen Belastungsgrenze definiert.

systeme durch Eutrophierung (eine übermäßige Anreicherung von Stickstoffnährstoffen) und Versauerung durch Umwandlung in salpetrige Säure in der Luft, die mit dem Niederschlag wieder zurück in den Boden gelangt. Die Auswirkungen auf die Biodiversität sind erheblich. Es ist erwiesen, dass die Stickstoffdeposition den Artenreichtum von Grünland im atlantischen Europa um 50 % verringert, wenn sie 30 kg/ha/Jahr erreicht (Stevens et al., 2010). Der CLRTAP-Bericht von 2016 stellt zusammenfassend fest, „dass die bisher unternommenen nützlichen Schritte zur Verringerung der Emissionen von Stickstoffverbindungen nicht ausreichen, um Bedingungen zu schaffen, unter denen die Ökosysteme beginnen können sich von der Eutrophierung zu erholen, und dass weitere Verringerungen notwendig sind“ (Maas R., Grennfelt P. (eds), 2016).

Die spezifische Stickstoffbelastung in den Alpen wird in der wissenschaftlichen Literatur kaum behandelt. Sie könnte von lokalen Gegebenheiten in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten abhängen. Eine umfassende Studie zur Stickstoff-Deposition in den Jahren 1990 bis 2010 in der Schweiz wurde 2016 veröffentlicht (Rihm B. et al., 2016). Diese zeigt, dass die kritische Belastungsgrenze für Stickstoffverbindungen in einem Großteil des Landes überschritten wird, wobei einiges darauf hindeutet,

dass eine langsame Erholung einsetzt (Tabelle 7). Abbildung 9 zeigt eine Karte zur Überschreitung der kritischen Stickstoffbelastung in der Schweiz.

In einer experimentellen Studie wurde gezeigt, dass sich Grünland-Ökosysteme möglicherweise nur langsam erholen, wenn die Stickstoffdeposition abnimmt (Bowman W.D. et al., 2018). In dieser Studie wies neun Jahre nach Beenden der experimentellen Deposition nur eine nitrophile Art eine Erholung auf dem vorherigen Niveau auf. Ein solches Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit einer Verbesserung der Maßnahmen gegen Luftverschmutzung durch NO_x und NH_3 , um den Verlust der biologischen Vielfalt zu verhindern.

Ökosystem	Gebiet km ²	1990	2000	2010
Hochmoore	52	100 %	100 %	98 %
Flachmoore	188	91 %	82 %	76 %
Trockenwiesen und -weiden (TWW)	200	81 %	62 %	49 %
Wald	10.290	99 %	96 %	95 %

Tabelle 7: Überschreitung der kritischen Belastungsgrenze von Stickstoffnährstoffen in verschiedenen geschützten Ökosystemen in der Schweiz in den Jahren 1990, 2000 und 2010.

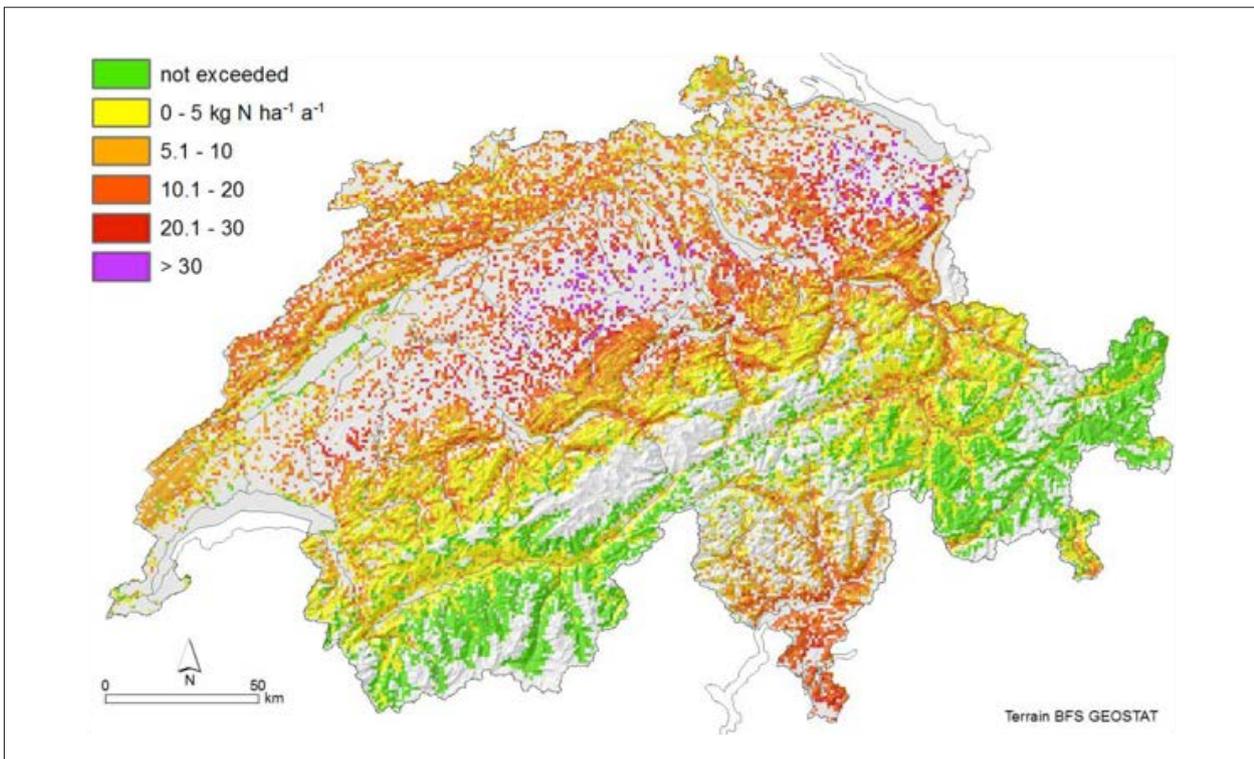


Abbildung 9: Maximale Überschreitung der kritischen Belastungsgrenzen in Schweizer Wäldern und naturnahen und natürlichen Ökosystemen durch Stickstoffdepositionen im Jahr 2010 pro km² (Rihm B. et al., 2016).



5. DER ZUSTAND DER LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN

In diesem Kapitel werden Daten aus regelmäßigen Messungen analysiert, um ein Gesamtbild vom Zustand der Luftqualität im Alpenraum zu erhalten. Die räumliche Verteilung der von den Ländern im Alpenraum betriebenen Messstationen wird im Verhältnis zu ihrer Geografie und ihrer Umgebung untersucht. Die Luftschadstoffkonzentrationen der letzten Jahre wird danach anhand eines Vergleichs der jährlichen Statistiken mit den europäischen Luftqualitätsnormen und den WHO-Leitlinien für die Luftqualität bewertet, auf die in Abschnitt 2.1 und 2.4.2 dieses Berichts verwiesen wird. Mittels Trendanalysen wird die längerfristige Entwicklung der Luftschadstoffbelastung untersucht.

5.1 DATENQUELLEN

Die Metadaten der Messstationen und die Luftgütedaten für Österreich, Frankreich, Deutschland, Italien, Slowenien und die Schweiz wurden von dem von der EUA verwalteten europäischen Luftqualitätsportal abgerufen, das die offiziellen Luftqualitätsdaten der Mitgliedstaaten und anderer EUA-Mitglieds- und Kooperationsländer zur Verfügung stellt.

Die Metadaten der Messstationen für Liechtenstein wurden vom Amt für Umwelt des Fürstentums Liechtenstein zur Verfügung gestellt und die entsprechenden Statistiken von der Website Ostluft (www.ostluft.ch) heruntergeladen. Die Metadaten der Messstationen und die Luftqualitätsdaten für Monaco wurden von der Regierung des Fürstentums zur Verfügung gestellt (Abteilung für Umwelt).

Als zusätzliche Information wurden Daten zu den kantonalen und kommunalen Messnetzen der Schweiz vom Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) bereitgestellt und die entsprechenden Statistiken von der Website des BAFU heruntergeladen. Sofern nicht ausdrücklich angegeben, sind

nur die Messstationen und Statistiken des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe der Schweiz einbezogen worden.

5.1.1 DIE GEOGRAFISCHE VERTEILUNG: EIN ÜBERBLICK

Im Alpenraum wurden an 234 Messstationen im Zeitraum 2016-2018 die Schadstoffe Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5}, NO_x einschließlich NO₂, SO₂, C₆H₆ (Benzol), O₃, Pb, BaP, Ni (Nickel), As, CO und Cd gemessen. Wie in Tabelle 8 angeführt, befinden sich zwei Drittel dieser Messstationen an vorstädtischen oder städtischen Standorten und ein Drittel an Standorten im ländlichen Raum.

Stationsumgebung	Anzahl der Messstationen	Anteil (%)
Ländlich (nicht näher spezifiziert)	38	16,2
Ländlich abgelegen	11	4,7
Ländlich regional	19	8,1
Ländlich stadtnah	10	4,3
Vorstädtisch	72	30,8
Städtisch	84	35,9

Tabelle 8: Verteilung der 234 Messstationen nach Art der Umgebung.

Abbildung 10 zeigt deren geographische Verteilung zusammen mit der von 39 weiteren Stationen, die zu den lokalen Schweizer Messnetzen gehören und im gleichen Zeitraum in Betrieb waren. Von all diesen Stationen befinden sich 14 % bzw. 8 % jeweils in Höhenlagen über 1000 m ü.d.M. bzw. 1500 m ü.d.M.

Unter Anpassung einer bestehenden Methode³⁰ wurde geschätzt, dass rund 86 % der in Abbildung

30. Um zu bestimmen, welche Messstationen sich in Tälern befinden, wurde die von A. Simcox, D. Morse und G. Hamilton, 2016 (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=646ebe715800410d9e5c02aa3653546d>) vorgeschlagene Methode an die europäischen Gegebenheiten angepasst. Täler (Gebiete, die tiefer liegen als die Nachbargebiete) wurden aus einem digitalen Höhenmodell (European Digital Elevation Model EU-DEM - Version 1.1, 25 m Auflösung) extrahiert, indem die lokale Durchschnittshöhe innerhalb eines bestimmten Radius ermittelt, die tatsächliche Höhe vom Durchschnitt abgezogen und Gebiete ausgewählt wurden, in denen die tatsächliche Höhe unter dem Durchschnitt lag. Die Landschaft wurde auf fünf Skalen (Kreise mit einem Radius von 1, 2, 4, 7 und 11 km) beprobt, um die vielfältigen Talformen und -größen zu berücksichtigen. Die auf mindestens drei Skalen ausgewählten Gebiete wurden als Täler bezeichnet.

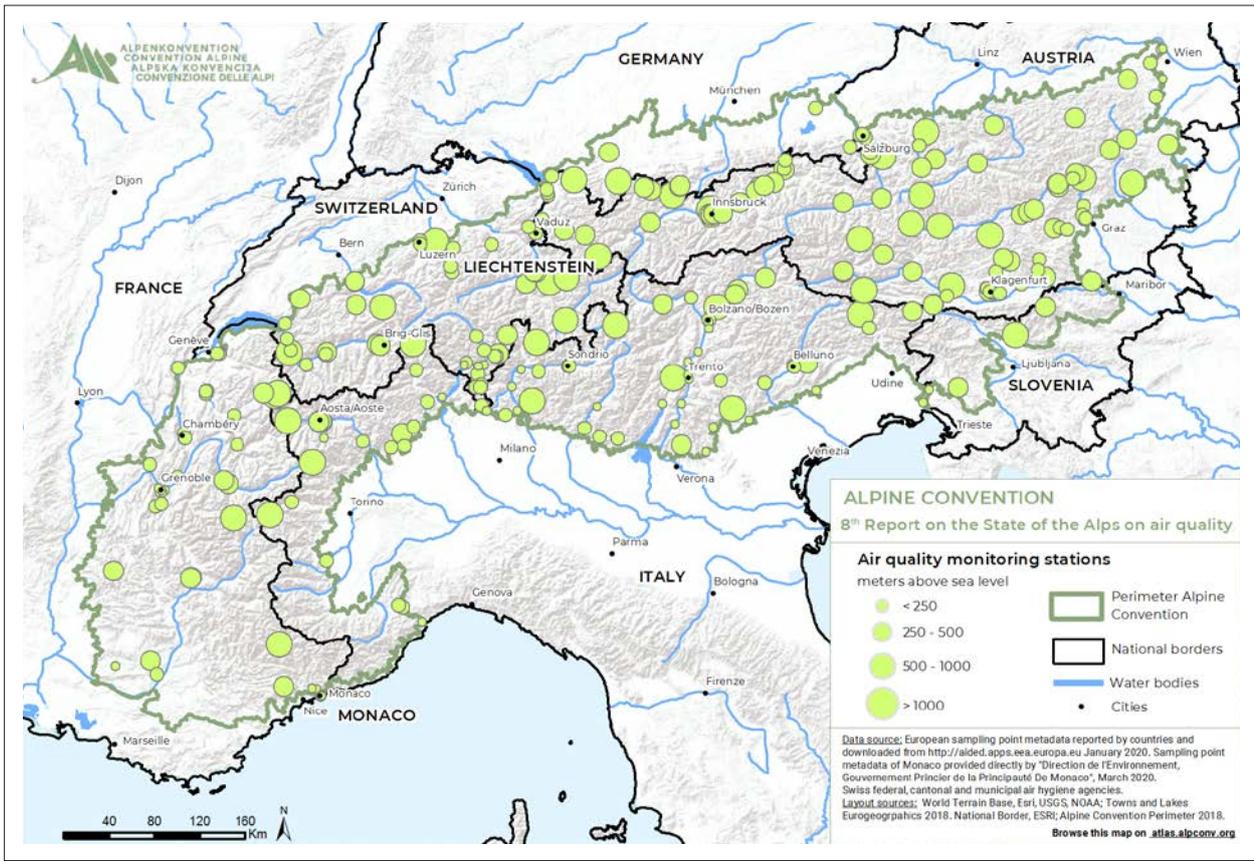


Abbildung 10: Die geografische Verteilung der Messstationen, die im Zeitraum 2016-2018 im Alpenraum in Betrieb waren, unter Hinzunahme der Stationen aus den kantonalen und kommunalen Messnetzen der Schweiz für den gleichen Zeitraum³¹.

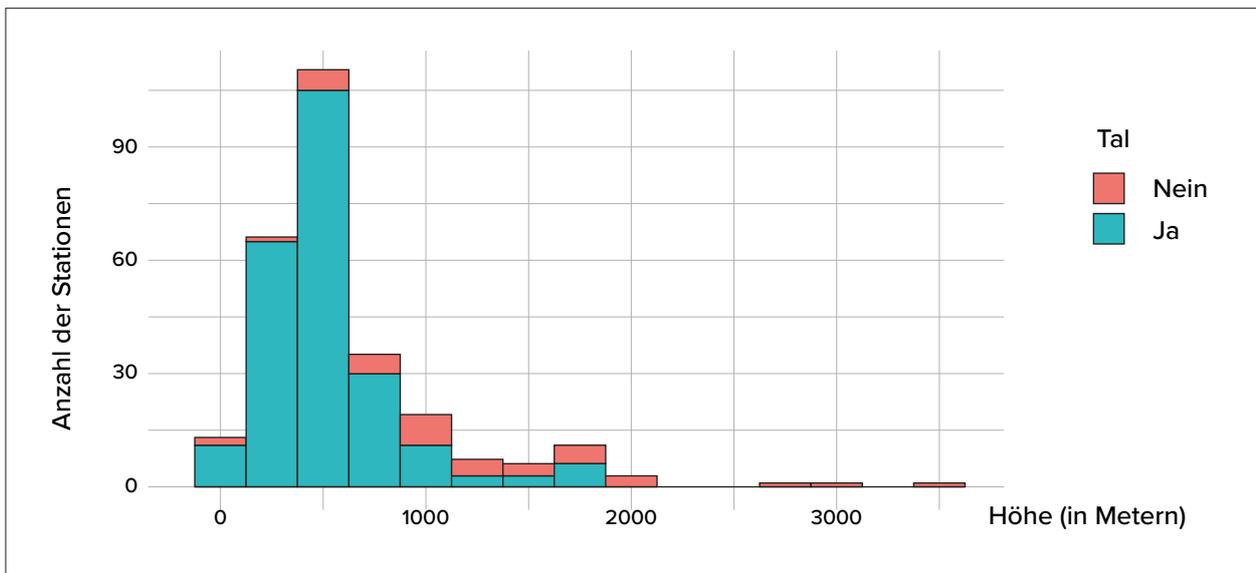


Abbildung 11: Fokus auf die Schweiz in Bezug auf die geografische Verteilung der Messstationen im Alpenraum, ergänzt durch Messstationen aus den kantonalen und kommunalen Messnetzen der Schweiz, die im Zeitraum von 2016-2018 in Betrieb waren.

31. Die Schweizer Messstellen der kantonalen und kommunalen Messnetze sind nur auf dieser Karte dargestellt. Die folgenden Karten basieren auf offiziellen Daten der EUA.



Land	Schadstoff	Klassifizierung der Messstationen						
		Ländlich	Ländlich stadtnah	Ländlich regional	Ländlich abgelegen	Vorstädtisch	Städtisch	Gesamt
Österreich	NO ₂	12	1	10	2	31	20	76
	PM ₁₀	10	0	6	1	22	19	58
	PM _{2,5}	1	0	0	1	4	8	14
	O ₃	11	2	12	7	19	7	58
	BaP	4	0	0	0	5	8	17
	Schwermetalle	2	0	1	0	1	1	5
Frankreich	NO ₂	0	1	0	1	5	22	29
	PM ₁₀	0	3	0	1	5	22	31
	PM _{2,5}	0	2	0	1	1	9	13
	O ₃	0	2	2	2	5	15	26
	BaP	0	1	0	1	1	4	7
	Schwermetalle	0	0	0	1	0	2	3
Deutschland	NO ₂	0	2	1	1	2	2	8
	PM ₁₀	0	1	1	1	1	1	5
	PM _{2,5}	0	1	0	0	2	1	4
	O ₃	0	1	1	1	2	1	6
	BaP	0	0	0	0	1	0	1
Italien	NO ₂	12	2	0	1	18	29	62
	PM ₁₀	9	1	0	0	15	27	52
	PM _{2,5}	2	1	0	0	7	14	24
	O ₃	15	2	0	1	14	18	50
	BaP	3	0	0	0	9	12	24
	Schwermetalle	2	0	0	0	6	6	14
Liechtenstein	NO ₂	0	0	0	0	1	0	1
	PM ₁₀	0	0	0	0	1	0	1
	O ₃	0	0	0	0	1	0	1
Monaco	NO ₂	0	0	0	0	0	5	5
	PM ₁₀	0	0	0	0	0	2	2
	O ₃	0	0	0	0	0	2	2
	Schwermetalle	0	0	0	0	0	2	2
Slowenien	PM ₁₀	0	0	0	0	1	0	1
	O ₃	2	0	0	0	0	0	2
	Schwermetalle	0	0	0	0	1	0	1
Schweiz	NO ₂	4	0	0	0	2	2	8
	PM ₁₀	4	0	0	0	2	2	8
	PM _{2,5}	2	0	0	0	0	1	3
	O ₃	4	0	0	0	2	1	7
	BaP	1	0	0	0	0	1	2
	Schwermetalle	4	0	0	0	0	1	5

Tabelle 9: Luftmessstationen im Perimeter der Alpenkonvention.

10 dargestellten Messstationen in Tälern stehen (Abbildung 11).

Es muss angemerkt werden, dass einige Länder vorübergehend oder langfristig mobile Messkampagnen und passive Probenahmeverfahren (NO_2 , NH_3 , Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) durchführen, um die ständigen Messstationen zu ergänzen und eine detailliertere Beschreibung der Luftqualität zu erhalten. Diese wurden in dieser Analyse, die hauptsächlich auf Informationen basiert, die über die EUA-Website verfügbar sind, nicht berücksichtigt.

5.1.2 DIE GEOGRAFISCHE VERTEILUNG DER MESSSTATIONEN NACH LUFTSCHADSTOFFEN

In diesem Abschnitt wird die räumliche Verteilung der Messstationen nach Schadstoffen entsprechend der Klassifizierung der Messstationen (Tabelle 9) untersucht.

Es ist zu beachten, dass der Stationstyp, der die Haupteinflussquelle charakterisiert, schadstoffspezifisch ist. NO_2 , O_3 und PM_{10} haben die höchste Dichte an Messstellen, wie in Abbildung 12 zu se-

hen ist. Diese Messstellen sind über den gesamten Alpenraum verteilt, mit Ausnahme von Hochgebirgsregionen oder weniger dicht besiedelten Gebieten, und ihre Anzahl bleibt über den Untersuchungszeitraum (2016 bis 2018) stabil. Während Ozon meist in Gebieten mit ländlichem oder (vor-)städtischem Charakter gemessen wird, zielt die NO_2 - und PM_{10} -Überwachung auch auf verkehrsorientierte Standorte und in geringerem Umfang auf Industriestandorte ab. Die in der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG aufgeführten Ozonvorläuferstoffe werden an einer Messstation für den städtischen Raum in Grenoble gemessen. Der vollständige nach Schadstoff und Jahr (2016, 2017, 2018) verfügbare Kartensatz kann online unter <http://www.atlas.alpconv.org/> abgerufen werden.

Eine weniger häufige, aber immer noch recht umfangreiche Überwachung von Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$ und BaP wird ebenfalls im gesamten Alpenraum durchgeführt, vor allem an Messstationen für den städtischen oder vorstädtischen Raum. Darüber hinaus wird über Messungen von anderen PAK als BaP an mehreren Messstationen in Frankreich und Italien berichtet.

Kohlenmonoxid und Benzol werden nur selten

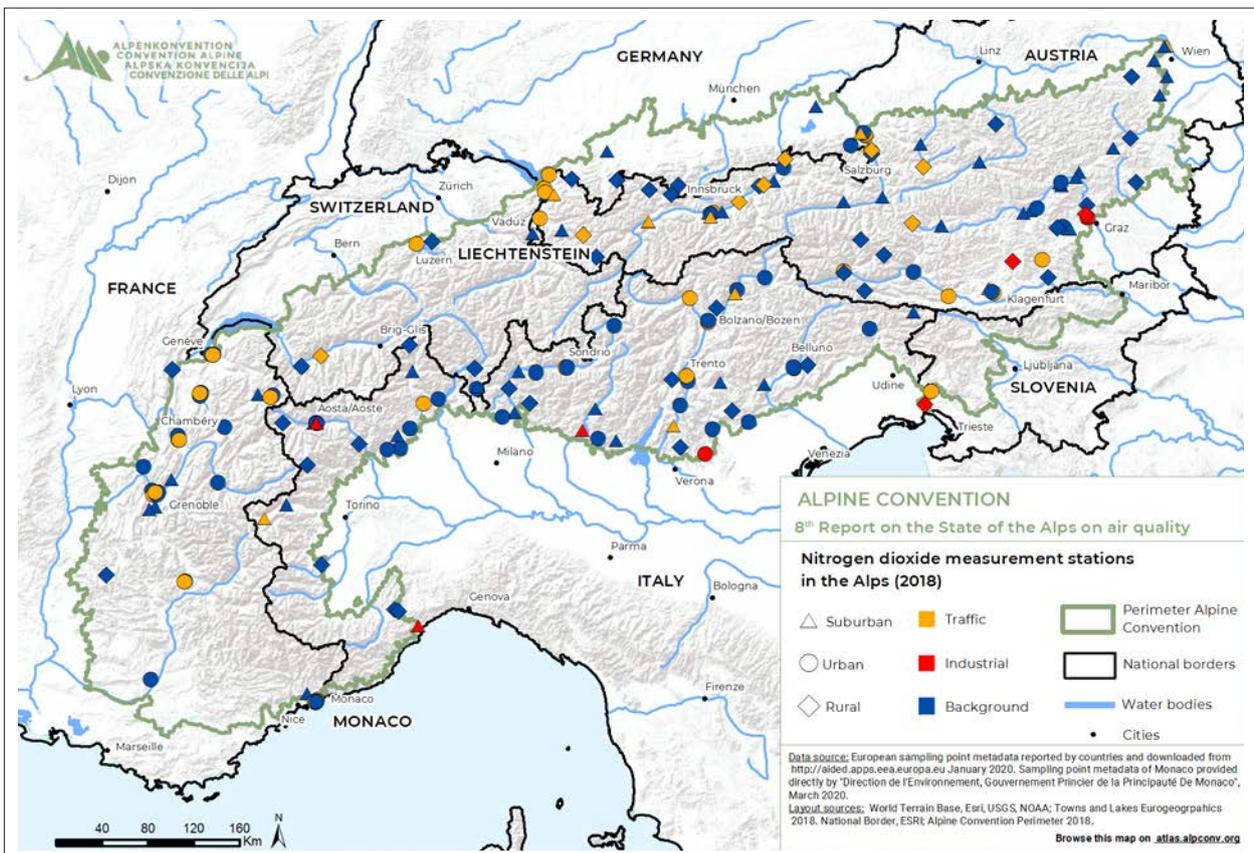


Figura 12a: Karte der Messstationen für Stickstoffdioxid in den Alpen. Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

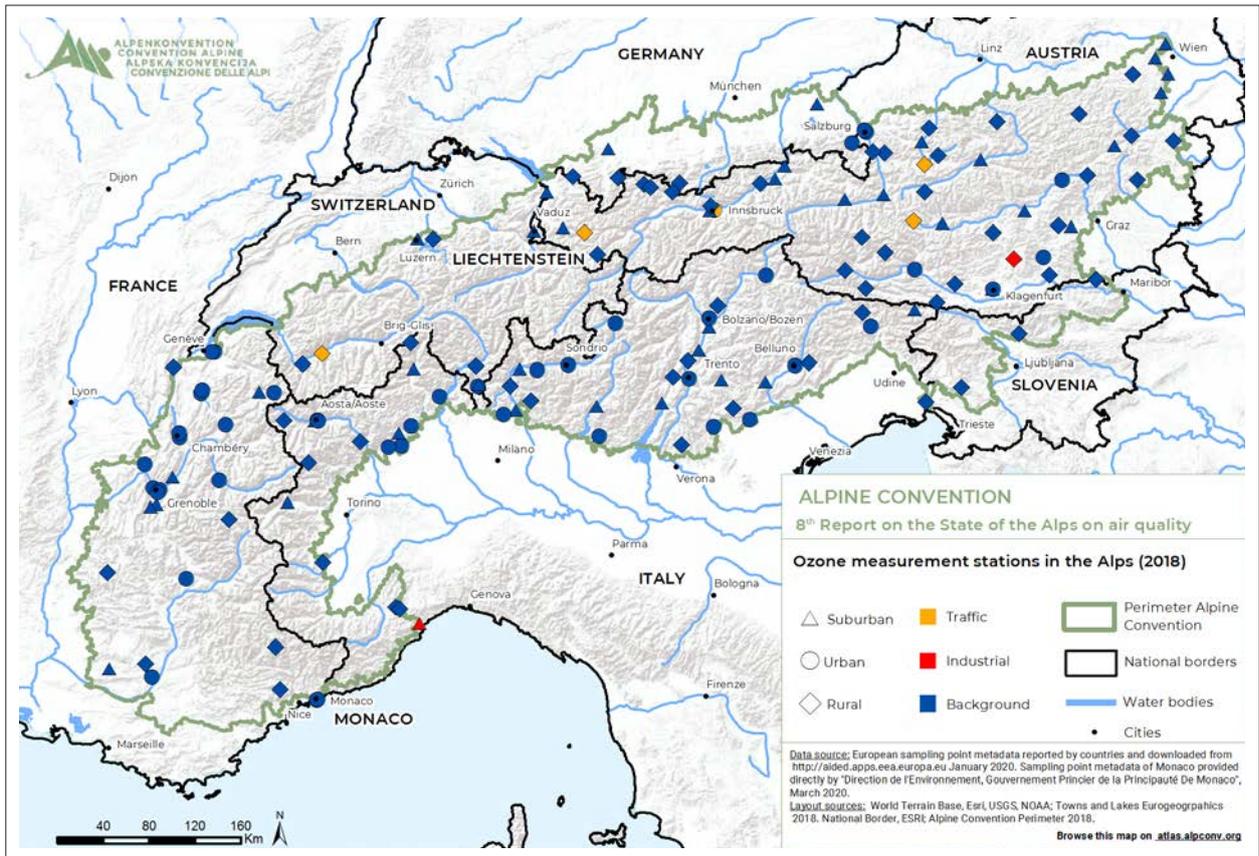


Figura 12b: Karte der Messstationen für Ozon in den Alpen.

Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

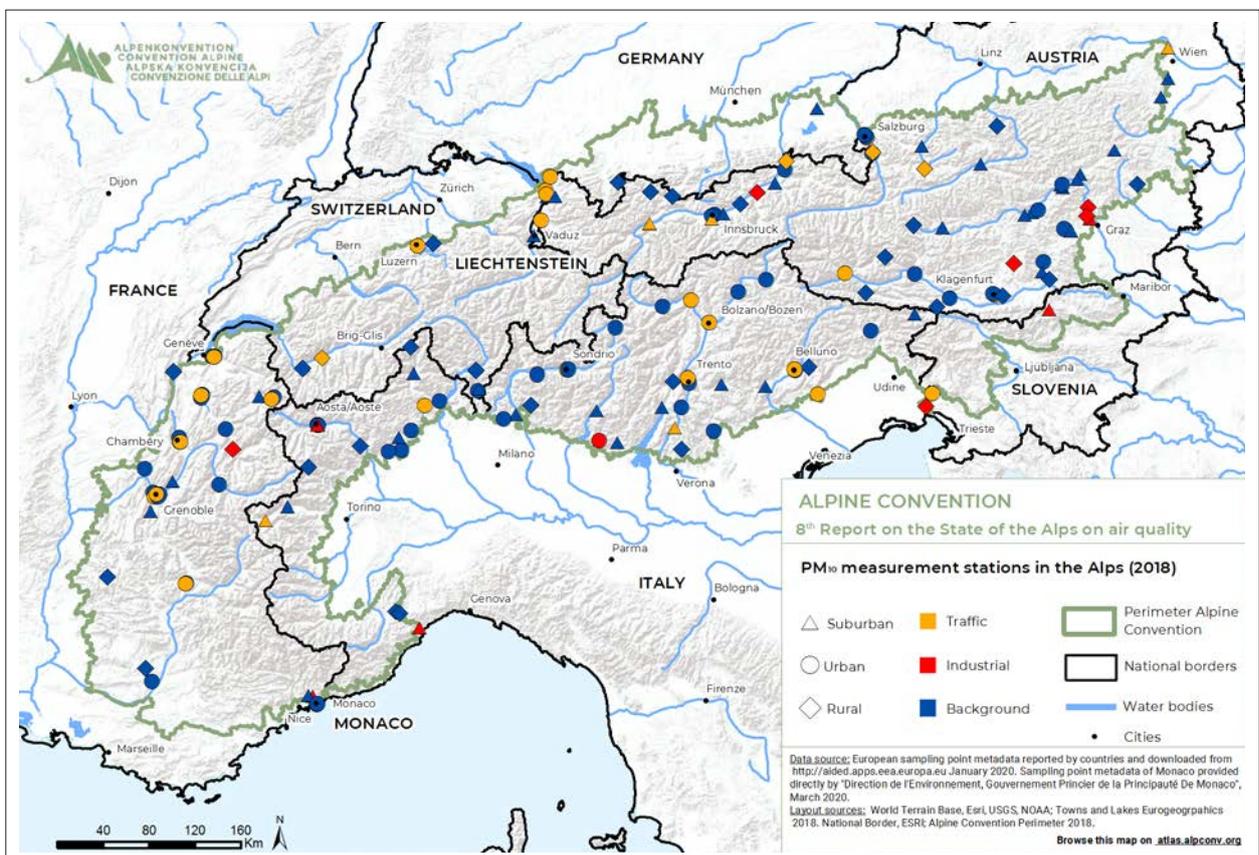


Figura 12c: Karte der Messstationen für PM₁₀ in den Alpen.

Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

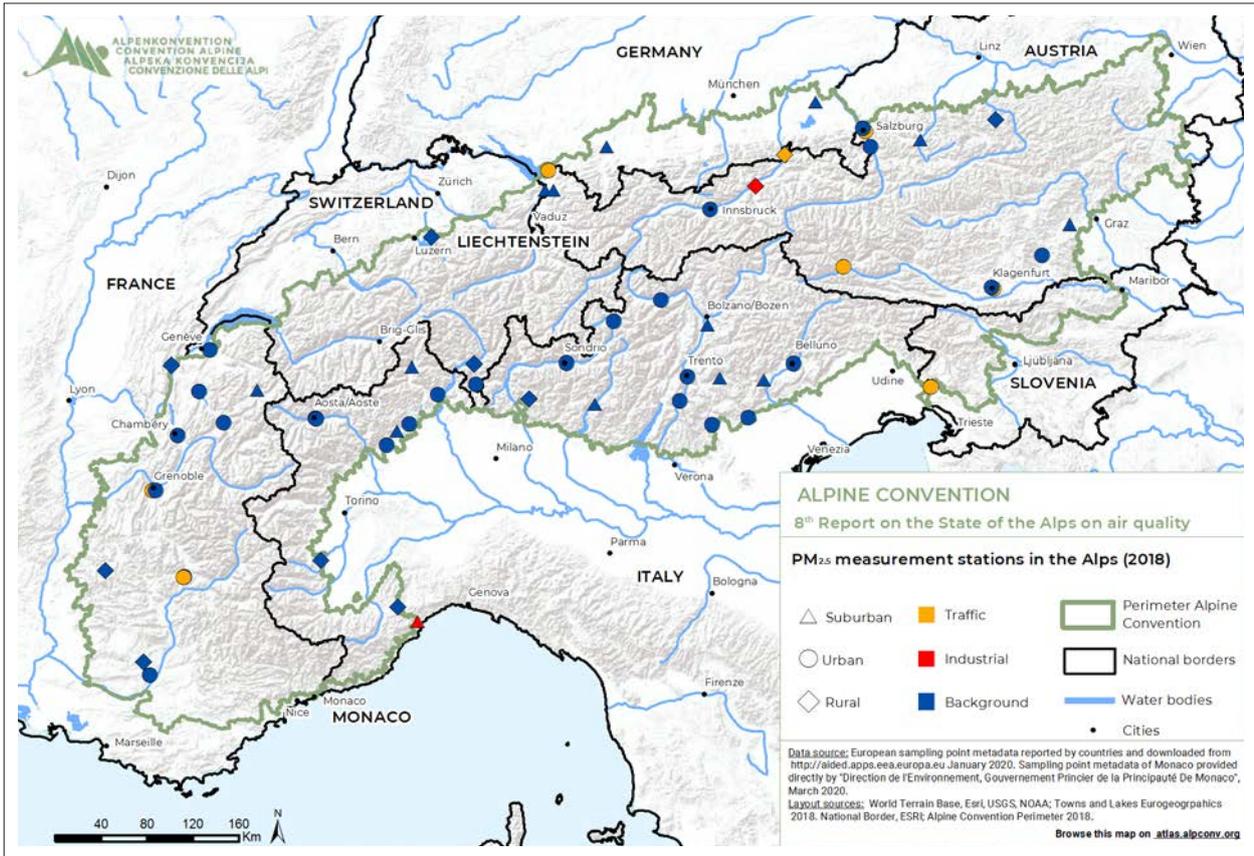


Abbildung 12d: Karte der Messstationen für PM_{2.5} in den Alpen.
Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

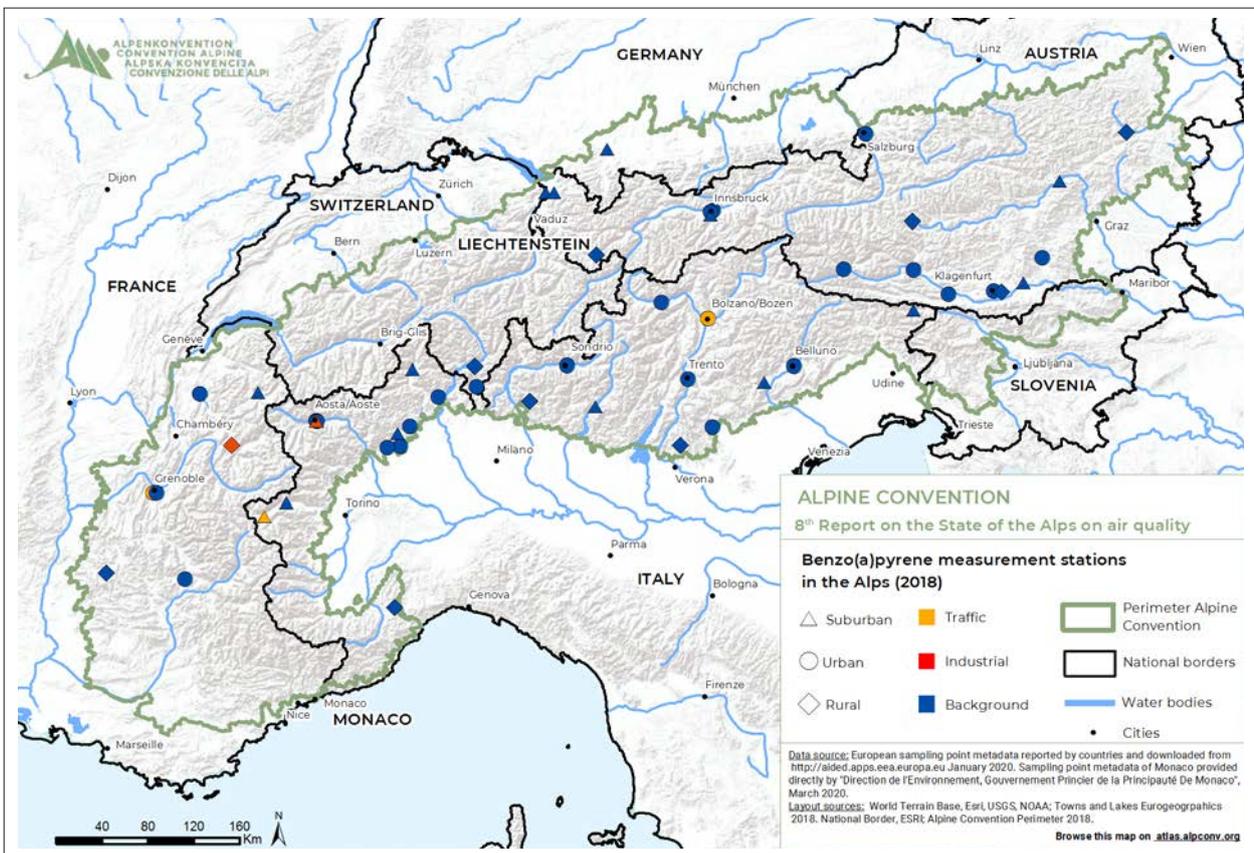


Abbildung 12e: Karte der Messstationen für Benzo(a)pyren in den Alpen.
Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

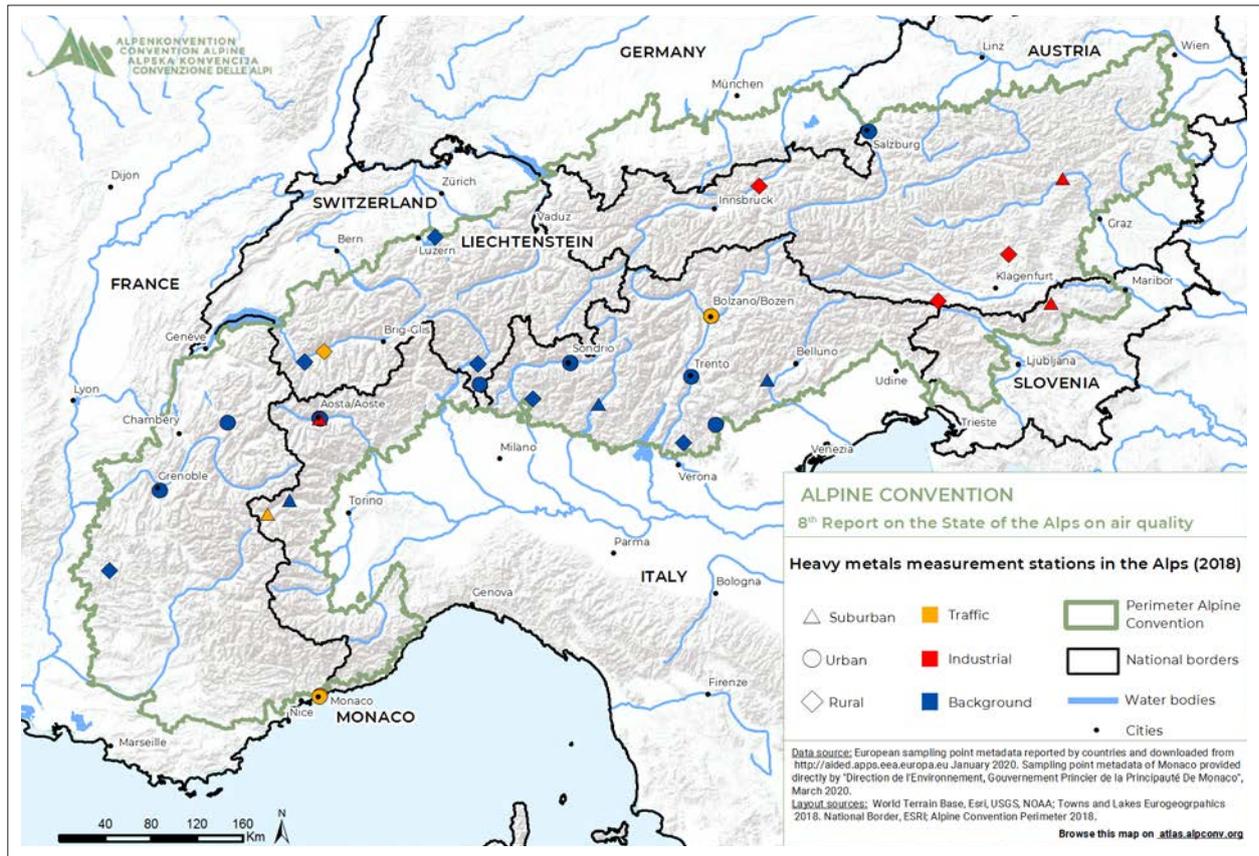


Abbildung 12f: Karte der Messstationen für Schwermetalle in den Alpen.

Suburban= Vorstädtisch; Urban= Städtisch; Rural= Ländlich; Traffic = Verkehr; Industrial = Industriell; Background = Hintergrund.

überwacht, was im Einklang mit den niedrigen Konzentrationswerten steht, die für diese Schadstoffe gemessen werden (siehe Abschnitt 5.2.2). Deshalb wird die in den EU-Richtlinien gebotene Möglichkeit genutzt, weniger strenge Beurteilungsmethoden (orientierende Messungen, Modellrechnungen, objektive Schätzungen) zu implementieren. Bei SO_2 ist die Situation ähnlich, wobei jedoch in einigen Gebieten (in den österreichischen und italienischen Teilen des Alpenraums) weiterhin eine größere Anzahl von Messstationen in Betrieb ist.

Schwermetalle gehören auch zur Kategorie der Schadstoffe, die im Vergleich zu den von der EU festgelegten Grenzwerten niedrige Konzentrationen aufweisen und deren Überwachung geringer ist. Sie werden im Allgemeinen an Hintergrundstandorten gemessen, außer in Österreich, wo die Schwermetallmessungen hauptsächlich auf Industriegebiete ausgerichtet sind. Eine zusätzliche Überwachung all dieser Schadstoffe ist auch Teil der lokalen Luftmessnetze der Schweiz.

Weitere Messungen werden im Rahmen von forschungsorientierten Programmen an Messstationen in hohen Höhenlagen durchgeführt. Sie sind nicht Gegenstand dieses Kapitels; Informationen hierüber sind in Abschnitt 6.2 zu finden.

5.2 STAND DER KONZENTRATIONEN

5.2.1 VERGLEICH MIT EUROPÄISCHEN UMWELTZIELEN UND WHO-LEITLINIEN

Dieser Vergleich basiert auf den in diesem Kapitel einleitend erwähnten statistischen Quellen. Verfügbare Statistiken der lokalen Luftmessnetze der Schweiz werden als zusätzliches Material zur Ergänzung der Ergebnisse betrachtet. Der vollständige Satz der Grafiken ist online abrufbar (www.atlas.alpconv.org). Die hier präsentierten Konzentrationen werden mit den Grenzwerten der Richtlinie 2008/50/EG, welche die Rechtsgrundlage in der EU darstellt (siehe Kapitel 2.1), und mit den WHO-Luftgüteleitlinien verglichen, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt wurden (siehe Kapitel 2.4.2).

Stickstoffdioxid

Abbildung 13 veranschaulicht die Verteilung der Jahresmittelwerte der NO_2 -Konzentrationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018. Unabhängig vom

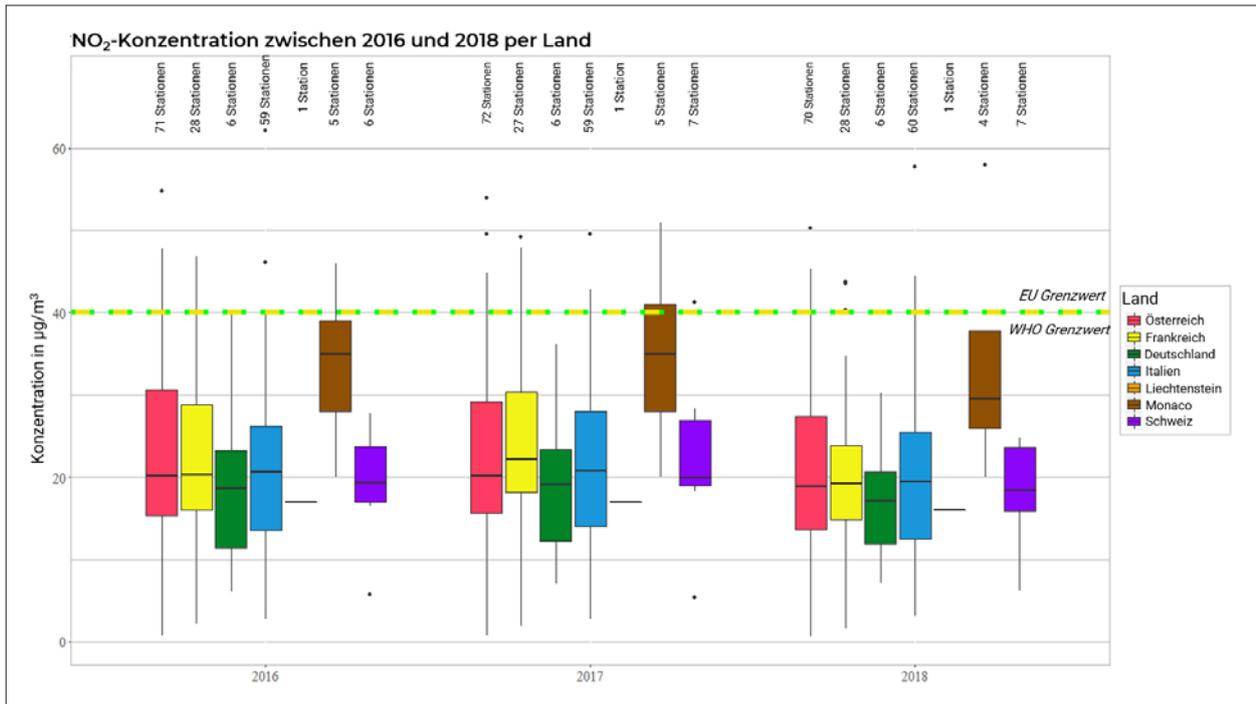


Abbildung 13: Verteilung der Jahresmittelwerte der NO_2 -Konzentrationen 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum. Die gelb gepunktete Linie stellt den Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie (2008/50/EG) dar, die grün gepunktete Linie den WHO-Richtwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit. Der untere und obere Rand der einzelnen farbigen Kästen stellen das erste und dritte Quartil dar, die waagerechte Linie in den Kästen den Medianwert und die Enden der senkrechten Linien die niedrigsten und höchsten Werte ohne Ausreißer. Die Punkte sind Einzelwerte außerhalb der Verteilung.

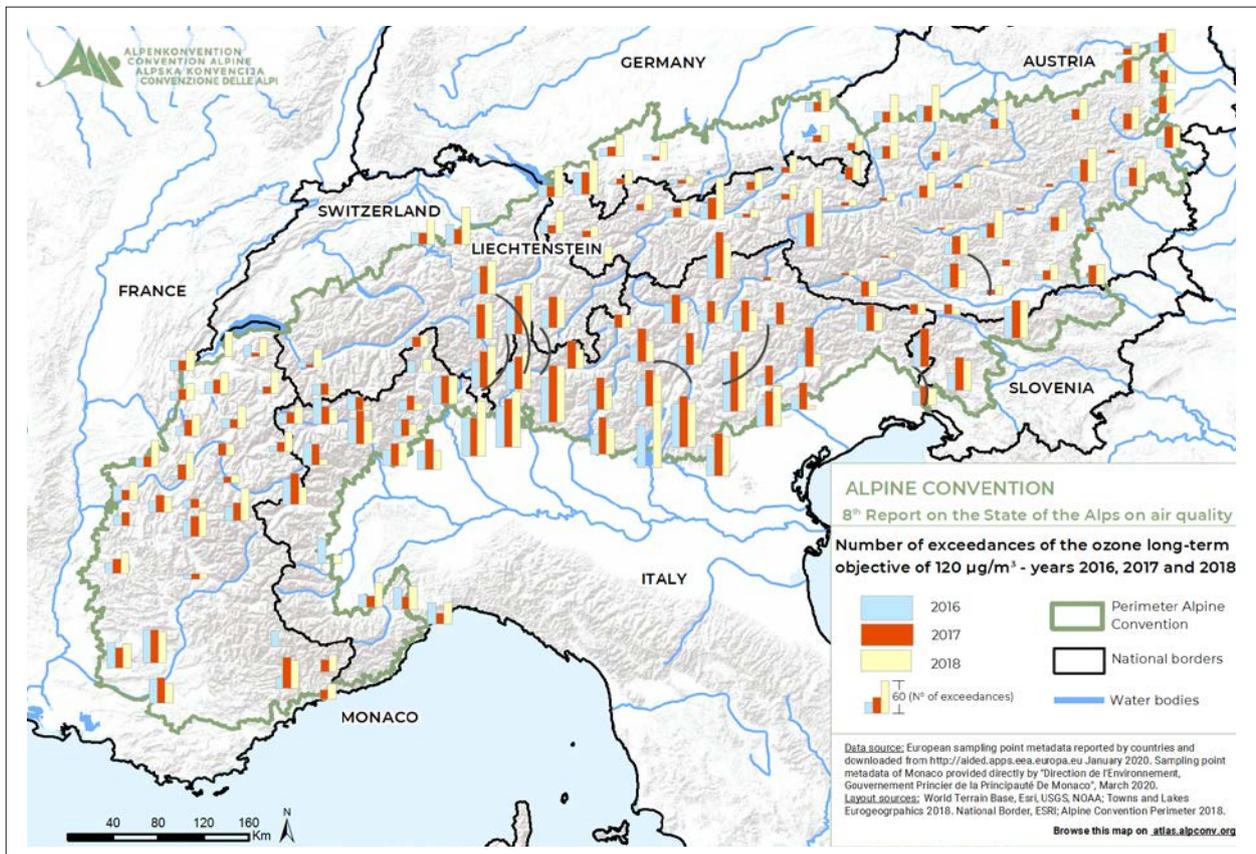


Abbildung 14: Karte der Entwicklung der Überschreitung des langfristigen Ziels von O_3 für den Schutz der menschlichen Gesundheit im Alpenraum.

Jahr wurden alle Überschreitungen des EU-Jahresgrenzwertes ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), der mit dem WHO-Jahresrichtwert übereinstimmt, an verkehrsnahen Standorten gemessen (12, 14 und 7 Überschreitungen in den Jahren 2016, 2017 und 2018). Alle von diesen Überschreitungen betroffenen Messstationen befinden sich in Tälern, in denen die Kombination von NO_x -Emissionen und Inversionswetterlagen die NO_2 -Konzentrationswerte erhöhen kann, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben wird.

Überschreitungen des Grenzwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO-Stundenrichtwert) wurden gelegentlich an einigen Messstationen gemessen (jeweils 5, 4 und 3 Messstationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018). Der EU-Grenzwert ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr) wurde nur einmal 2016 an einer französischen verkehrsnahen Messstation gemessen.

Ozon

Die Ozonbelastung ist im Alpenraum hoch. Abbildung 14 zeigt die jährliche Anzahl von Überschreitungen des langfristigen Qualitätsziels von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Messstation für die Jahre 2016, 2017 und 2018.

Der Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit wird an den meisten Messstellen und fast überall im Alpenraum überschritten, wobei Deutschland und Monaco Ausnahmen bilden. In

diesen Gebieten ist eine Variabilität zwischen den einzelnen Jahren mit einer höheren Anzahl von Überschreitungen im Jahr 2018 im Vergleich zu den Vorjahren festzustellen.

Der langfristige Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und der WHO-Richtwert ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) werden fast überall überschritten. Was den Zielwert und das langfristige Ziel für den Schutz der Vegetation betrifft, werden diese an vielen ländlichen und vorstädtischen Hintergrundstandorten im gesamten Alpenraum überschritten.

Feinstaub - PM_{10}

Abbildung 15 zeigt die Verteilung der Jahresmittelwerte der PM_{10} -Konzentrationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018. Trotz der räumlichen Unterschiede zwischen den Regionen liegen alle deutlich unter dem mittleren Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie 2008/50/EG ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Allerdings wird die WHO-Luftgüteleitlinie ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) jedes Jahr bei rund einem Viertel der Messstationen überschritten.

Abbildung 16 zeigt die jährliche Zahl an Überschreitungen des Tagesgrenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Messstation und rot gefärbt die Messstationen, für die diese Anzahl deutlich über dem EU-Grenzwert von 35 Mal pro Jahr liegt. Dies sind nur wenige Messstationen (2018 überschritten nur zwei davon den EU-Grenzwert), und die meisten davon

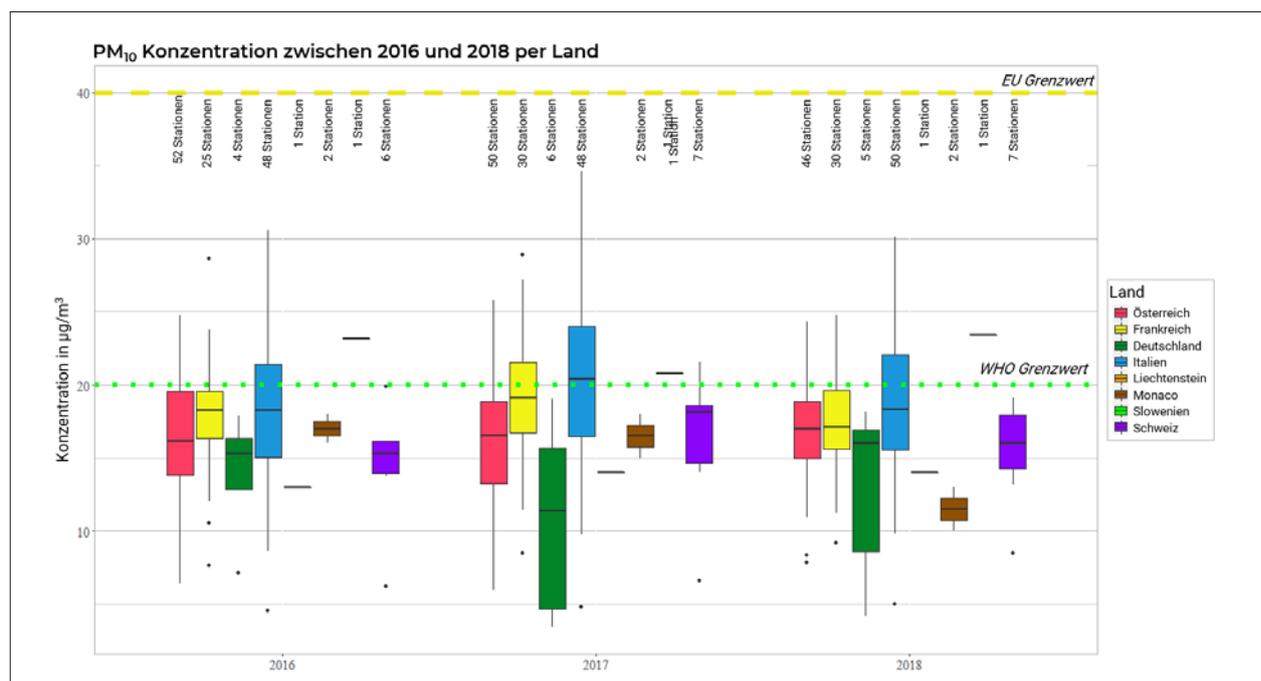


Abbildung 15: Verteilung der Jahresmittelwerte der PM_{10} -Konzentrationen 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum.

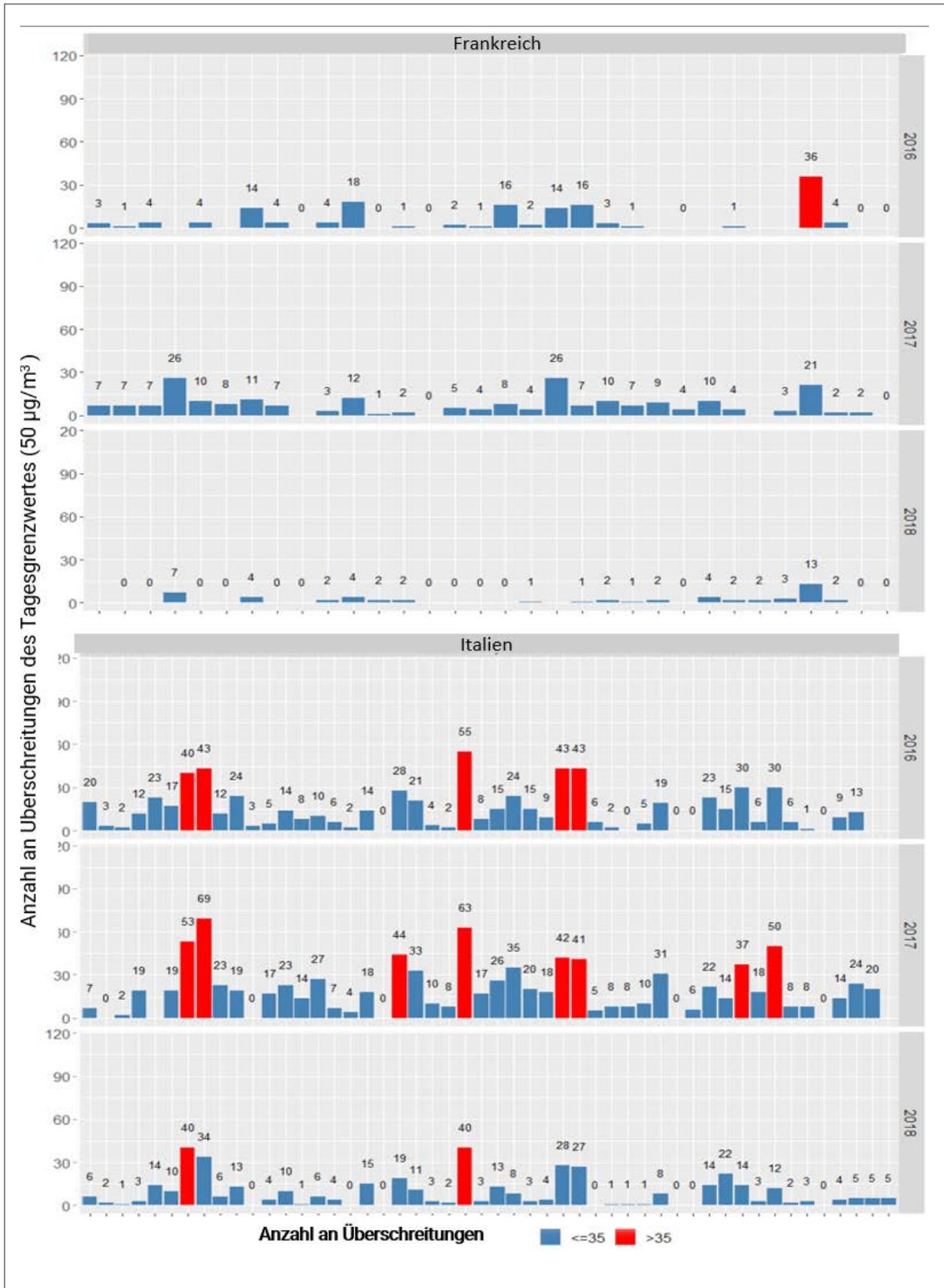


Abbildung 16: Überschreitung des PM_{10} -Tagesgrenzwertes für den Schutz der menschlichen Gesundheit 2016, 2017 und 2018 in den französischen und italienischen Gebieten des Alpenraums.

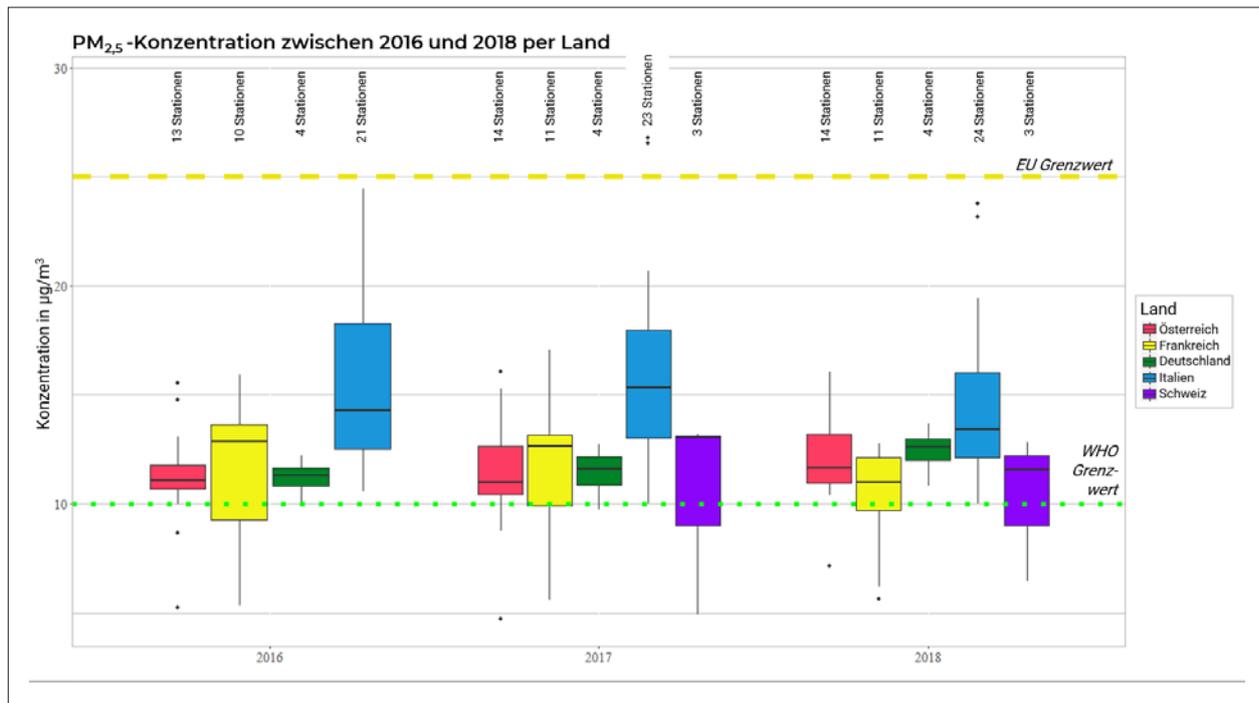


Abbildung 17: Verteilung der Jahresmittelwerte der $PM_{2,5}$ -Konzentrationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum. Die gelb gepunktete Linie stellt den Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie (2008/50/EG) dar, die grün gepunktete Linie den WHO-Richtwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit.

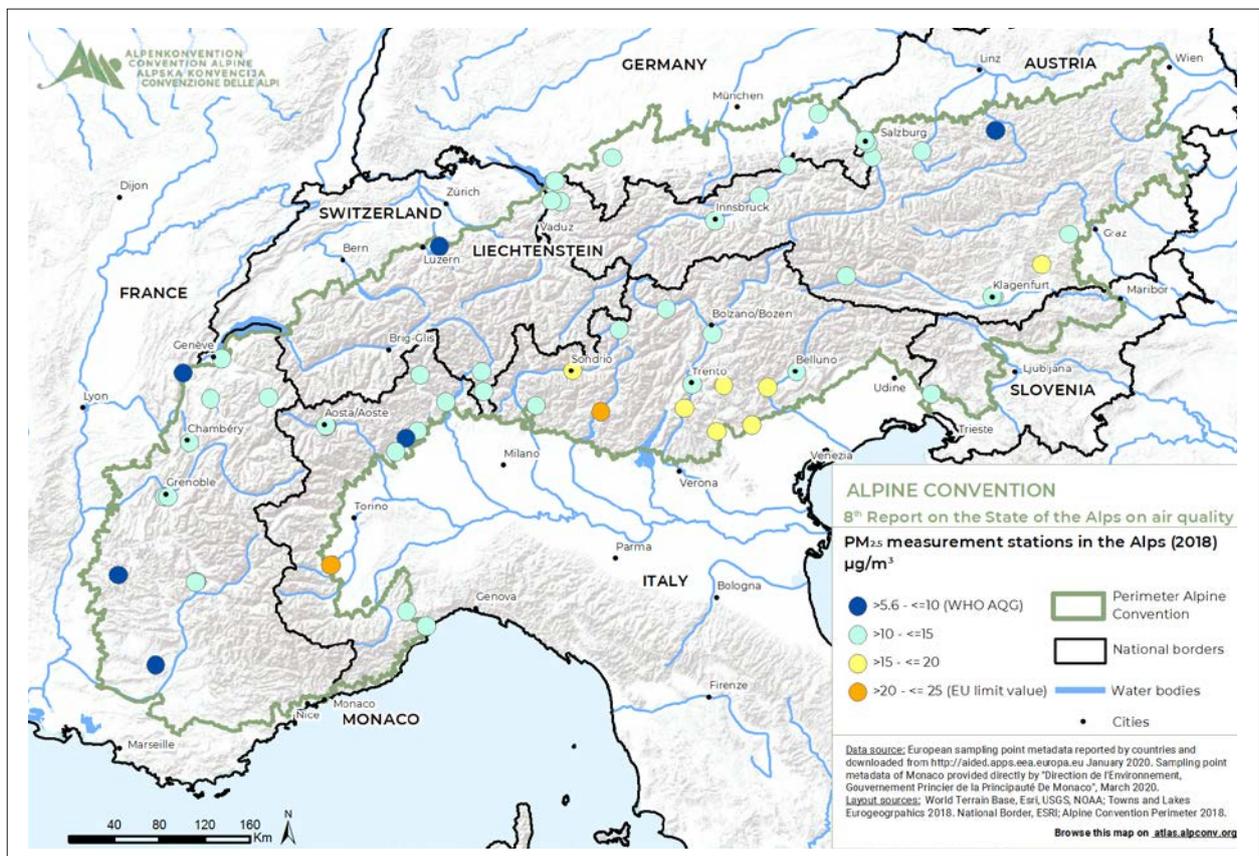


Abbildung 18: Karte der Jahresmittelwerte der $PM_{2,5}$ -Konzentration im Jahr 2018 in den Alpen.

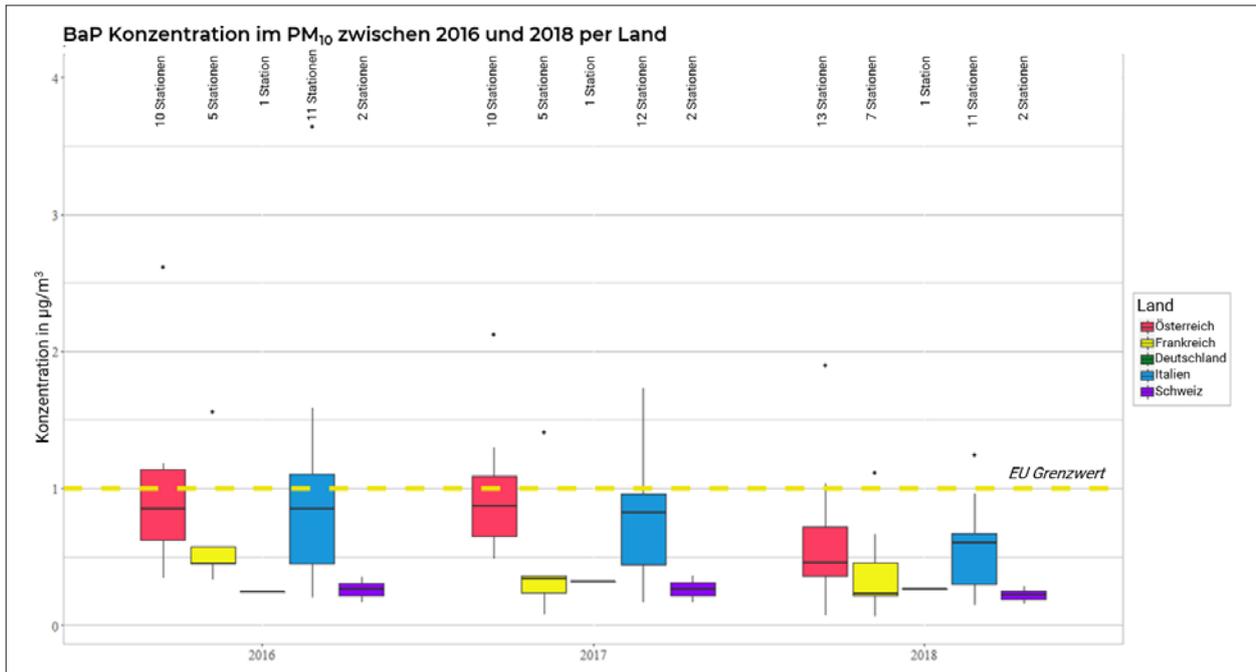


Abbildung 19: Verteilung der Jahresmittelwerte der BaP-Konzentrationen im PM₁₀ in den Jahren 2016, 2017 und 2018 im Alpenraum. Die gelb gepunktete Linie stellt den Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie (2008/50/EG) dar.

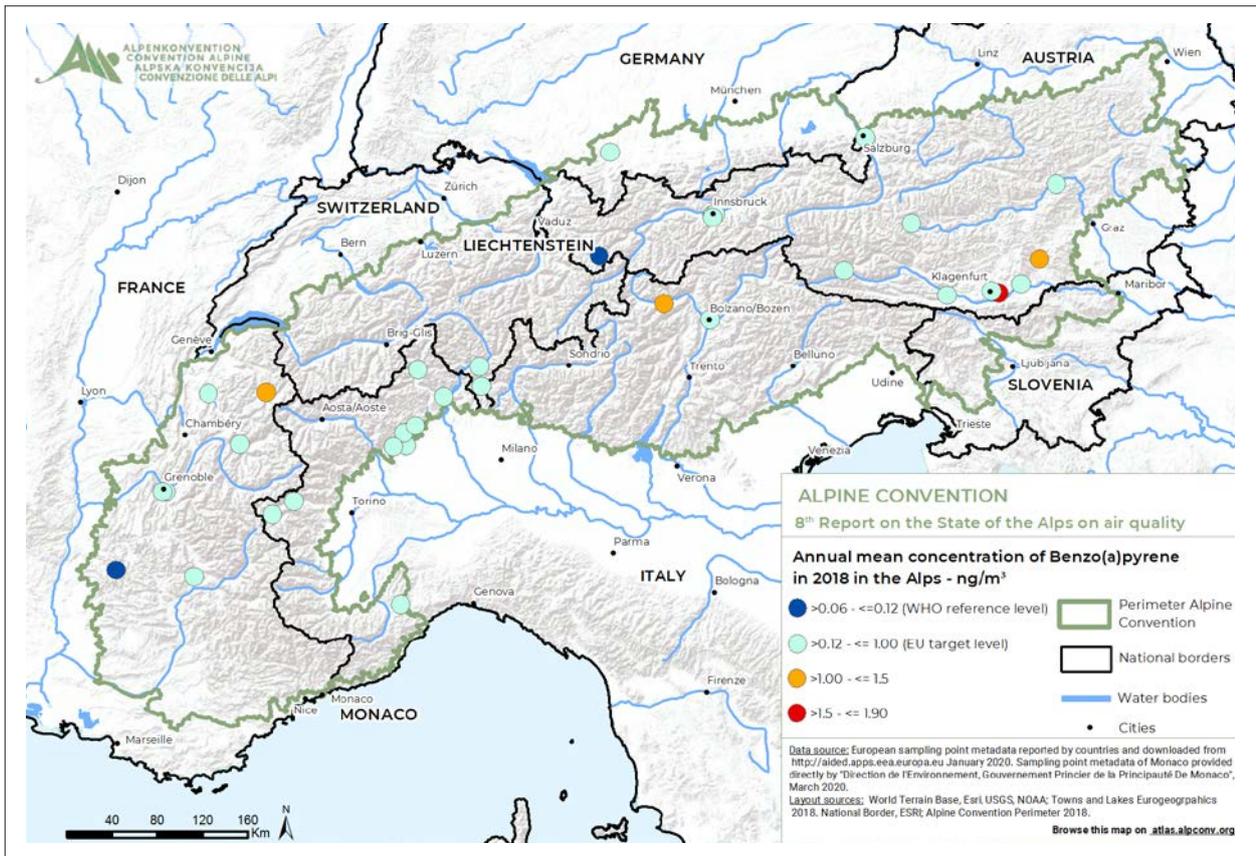


Abbildung 20: Karte der Jahresmittelwerte der BaP-Konzentration 2018 im Alpenraum. Die Überschreitungen des EU-Zielwertes sind orange und rot markiert.³²

32. Gemäß der Richtlinie 2004/107/EG wird für Werte >1 und $<1,5$ der Jahresmittelwert auf 1 ng/m^3 gerundet und gilt somit nicht als Überschreitung im Sinne der EU-Meldevorschriften; für Werte $\geq 1,5$ wird der Jahresmittelwert auf 2 ng/m^3 gerundet.



stehen in Italien, in einem (vor-)städtischen Raum oder in Industriegebieten. Allerdings verzeichnete fast die Hälfte der Messstationen (75 von 162) Überschreitungen des strengeren WHO-Richtwertes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr).

Feinstaub - $\text{PM}_{2,5}$

Ähnlich wie die PM_{10} -Werte weisen auch die Jahresmittelwerte der $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentrationen räumliche Unterschiede im Alpenraum auf. Abbildung 17 zeigt, dass alle Konzentrationen weit unter dem Jahresgrenzwert liegen ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In den Alpen werden keine Überschreitungen der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG verzeichnet. Allerdings wird die WHO-Luftgüteleitlinie zum Schutz der menschlichen Gesundheit ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) an den meisten Messstationen überschritten, und nur wenige Hintergrundstandorte (zwischen 7 und 10, je nach Jahr), die meisten davon mit ländlichem oder vorstädtischem Charakter, erfüllen diese Vorgabe.

Die Ergebnisse der Überwachung der Luftqualität in den Alpen zeigen deutlich, dass die $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung ein wichtiges Thema im gesamten Perimeter der Alpenkonvention ist. Obwohl die Zahl der Messstationen, die eine Überschreitung des EU-Grenzwertes verzeichnen, zurückgegangen ist, ist die Überschreitung der WHO-Luftgüteleitlinie nach wie vor weit verbreitet, wie der Karte in Abbildung 18 zu entnehmen ist.

Benzo(a)Pyren

Die Konzentrationswerte entsprechen an den meisten Standorten dem Zielwert ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$), und 2018 konnte eine Gesamtabnahme der Konzentration festgestellt werden (Abbildung 19). An einigen Messstationen im städtischen bzw. vorstädtischen Raum in Österreich und Italien wurden jedoch Jahresmittelwerte von über $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ beobachtet, mit gemessenen Überschreitungen an jeweils 5, 10 und 1 Messstationen in den Jahren 2016, 2017 und 2018, wie der Karte in Abbildung 20 zu entnehmen ist.

Sonstige Schadstoffe

Für SO_2 , Benzol, CO und Schwermetalle sind die gemessenen Konzentrationswerte gering und überschreiten die EU-Grenzwerte nicht. Nur für SO_2 wird der strengere WHO-Tagesrichtwert ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gelegentlich überschritten.

5.2.2 VERGLEICH MIT NATIONALEN GRENZWERTEN

In Kapitel 2.2 wurde ausgeführt, dass Österreich, Liechtenstein und die Schweiz nationale Grenzwerte für die Luftverschmutzung festgelegt haben, die für NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ (und BaP nur für Österreich) (siehe Tabelle 2 für einen Überblick) unter den EU-Grenzwerten liegen. Ein Vergleich dieser nationalen Grenzwerte mit den beobachteten Daten verdeutlicht die folgenden Tatsachen:

Zunächst einmal sind die NO_2 -Konzentrationen in allen Alpenländern ziemlich ähnlich, und alle Vertragsparteien der Alpenkonvention erfüllen die strengeren nationalen gesetzlichen Grenzwerte, mit Ausnahme des Stadtgebiets von Monaco. Es gibt keine Hinweise auf einen Unterschied zwischen Ländern mit strengeren Grenzwerten und den anderen Ländern.

Größere Unterschiede gibt es hingegen bei den PM_{10} -Konzentrationswerten. In Frankreich und zumindest im Jahr 2017 auch in Italien wurde an mehreren Messstationen die Werte der strengeren WHO-Luftgüteleitlinie überschritten. Entsprechend Abbildung 7 und gemäß den Schlussfolgerungen in Abschnitt 3.2 könnten die Hauptgründe hierfür, zumindest in Grenoble und Chamonix, die Verbrennung von Biomasse, Verkehr und Landwirtschaft in Verbindung mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen sein.

Die Situation für $\text{PM}_{2,5}$ ist, wie bereits angedeutet, anders gelagert. Alle im Gebiet der Alpenkonvention gemessenen Belastungswerte liegen unter dem EU-Grenzwert, gleichzeitig sind sie aber höher als die nationalen Grenzwerte von Österreich, Liechtenstein und der Schweiz. Die Schweiz scheint eine etwas geringere Belastung aufzuweisen: Dies kann mit einer frühzeitig strengeren Festsetzung von Grenzwerten und folglich einer Emissionsbegrenzungsstrategie zusammenhängen.

5.3 TRENDANALYSE UND KORRELATION MIT MINDERUNGSSTRATEGIEN

In diesem Abschnitt werden die Daten aus den Jahren 2009 bis 2018 analysiert, um den Trend der Luftverschmutzung in den Alpen zu bestimmen. Die Steigerung der Trends und ihrer Signifikanz wurden mit Hilfe des Trendtests nach Mann-Kendall und der Trendschätzung nach Sen geschätzt. Für

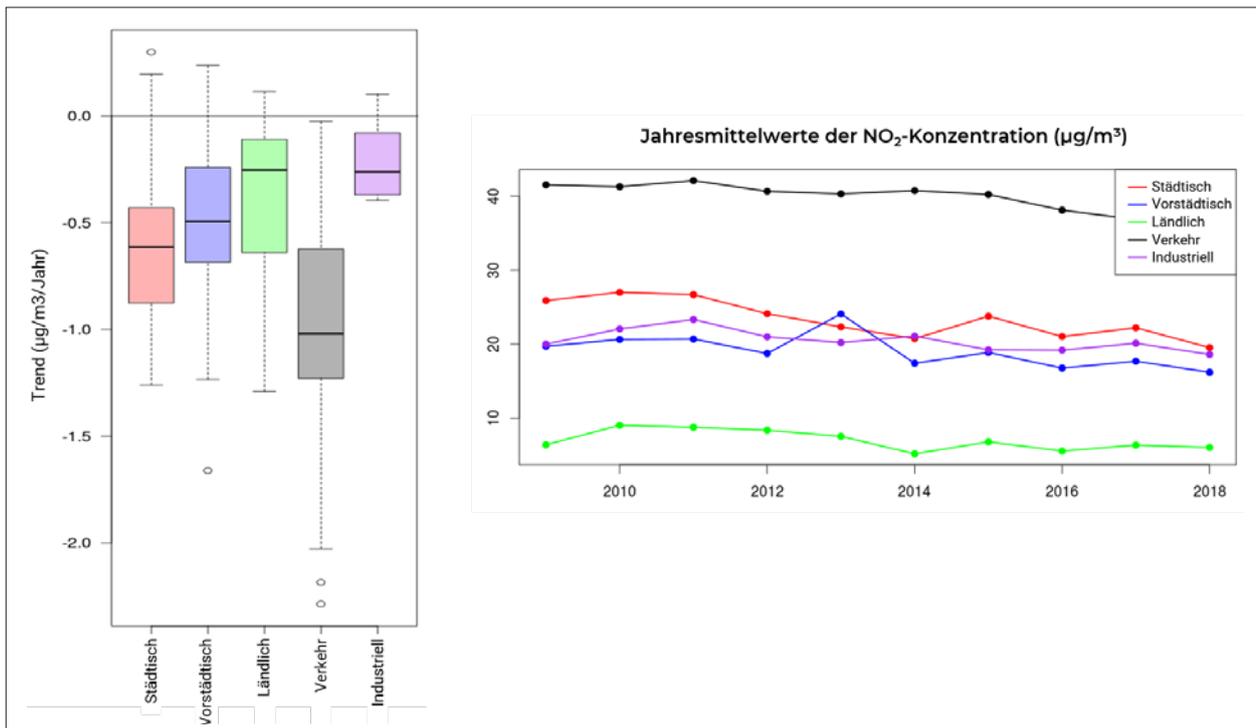


Abbildung 21: Veränderung der Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen in µg/m³ im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018. Grafik links: Verteilung der Steigung des Trends nach Klassifizierung der Messstationen. Grafik rechts: Entwicklung des NO₂-Jahresmittelwertes in µg/m³ nach Klassifizierung der Messstationen zwischen 2009 und 2018. Als ländlich, vorstädtisch und städtisch eingestufte Messstationen sind Hintergrundstationen.

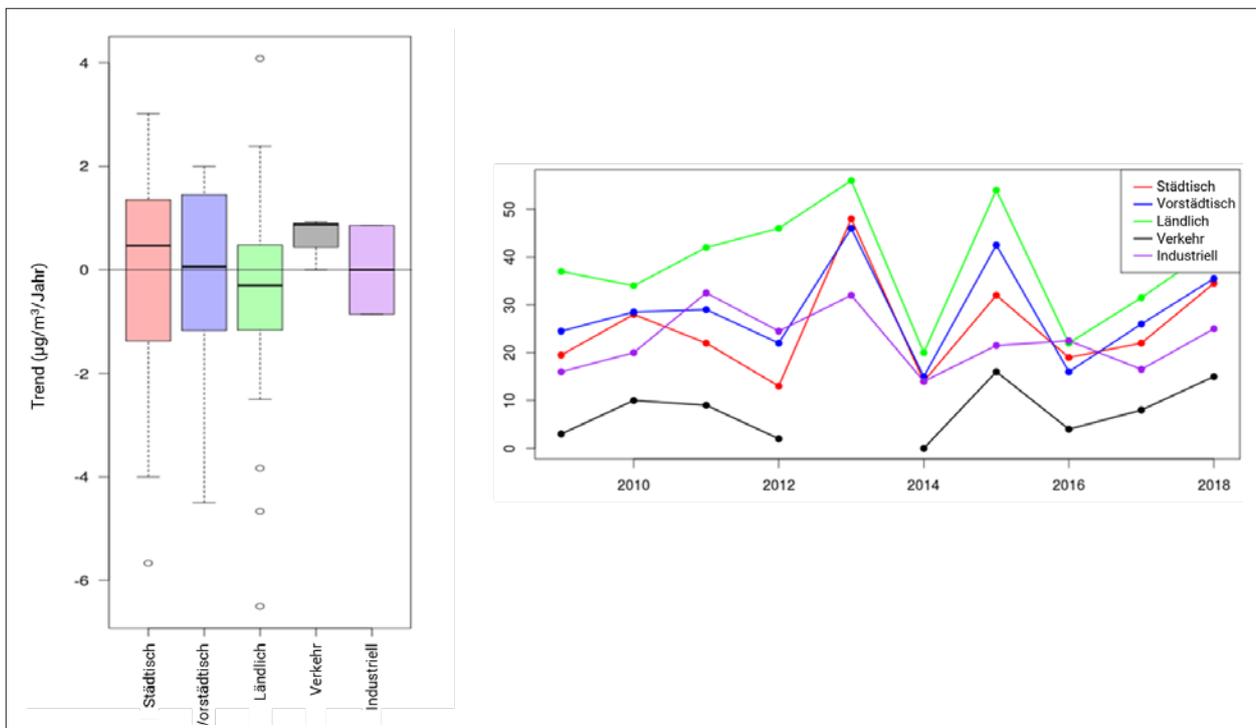


Abbildung 22: Veränderung der Anzahl der Tage, an denen die Ozonkonzentration den achtstündigen maximalen Tagesmittelwert von 120 µg/m³ an über 8 Stunden im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018 überschritten hat. Grafik links: Verteilung der Steigung des Trends nach Klassifizierung der Messstationen. Grafik rechts: Entwicklung der Anzahl der Tage nach Klassifizierung der Messstationen zwischen 2009 und 2018. Als ländlich, vorstädtisch und städtisch eingestufte Messstationen sind Hintergrundstationen.

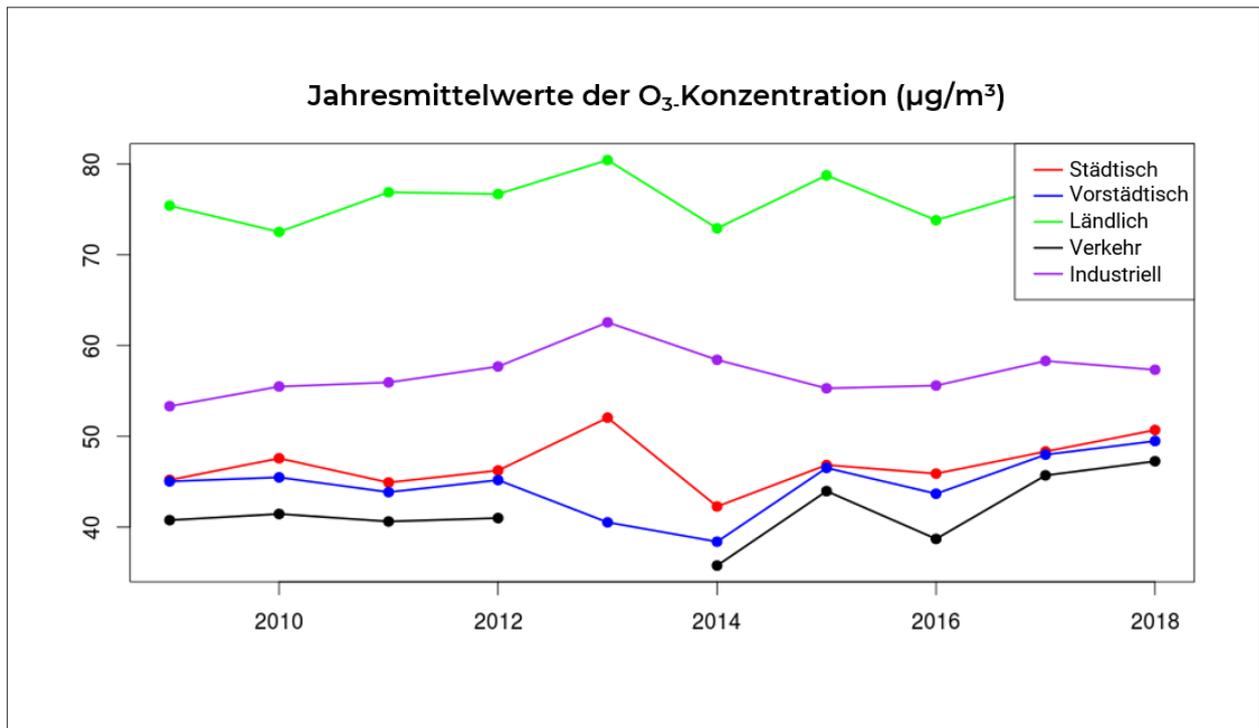


Abbildung 23: Entwicklung der Jahresmittelwerte der O₃-Konzentrationen nach Klassifizierung der Messstationen zwischen 2009 und 2018. Als ländlich, vorstädtisch und städtisch eingestufte Messstationen sind Hintergrundstationen.

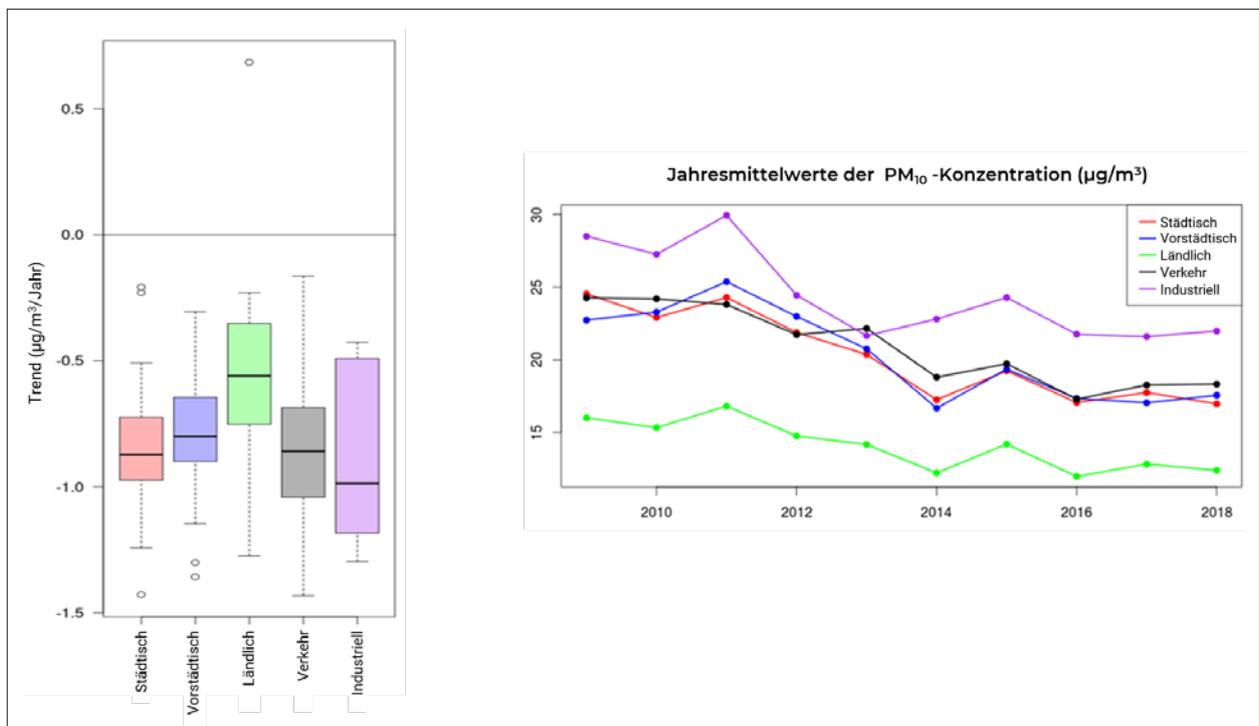


Abbildung 24: Veränderung der Jahresmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen in µg/m³ im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018. Grafik links: Verteilung der Steigung des Trends nach Klassifizierung der Messstationen. Grafik rechts: Entwicklung des PM₁₀-Jahresmittelwertes in µg/m³ nach Klassifizierung der Messstationen zwischen 2009 und 2018. Als ländlich, vorstädtisch und städtisch eingestufte Messstationen sind Hintergrundstationen.

NO₂, O₃, PM₁₀ und PM_{2,5} wurden Messstationen nach Kriterien der Datenvollständigkeit ausgewählt, die in früheren Studien festgelegt worden waren. Die Ergebnisse pro Messstelle wurden dann entsprechend der Stationsklassifizierung aggregiert. Für BaP wurde die Analyse nach Messstationen durchgeführt, da sie auf einem kleineren Datensatz basiert.

Die meisten Trends sind abnehmend, was eine Verbesserung der Luftqualität in den letzten zehn Jahren bedeutet, mit Ausnahme von Ozon. Eine ähnliche Entwicklung kann im Durchschnitt in ganz Europa beobachtet werden.

5.3.1 NO₂

Die Grafiken in Abbildung 21 zeigen, dass der Trend in Richtung einer langsamen Verbesserung der Luftqualität in Bezug auf NO₂ geht, welches vor allem an verkehrsarmen Standorten niedrige Werte aufweist.

5.3.2 OZON

Die von den Messstationen in den Alpen verfügbaren Daten lassen keinen klaren Trend für die Ozonkonzentrationen erkennen. Für die meisten Stand-

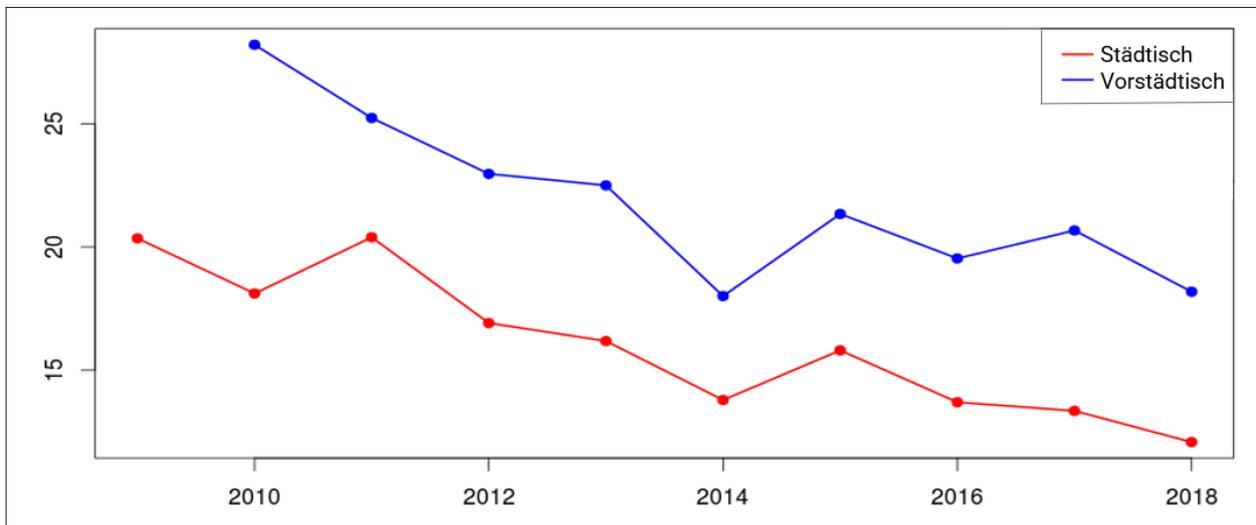


Abbildung 25: Entwicklung der PM_{2,5}-Jahresmittelwerte in µg/m³ an städtischen und vorstädtischen Hintergrundstationen im Perimeter der Alpenkonvention von 2009 bis 2018.

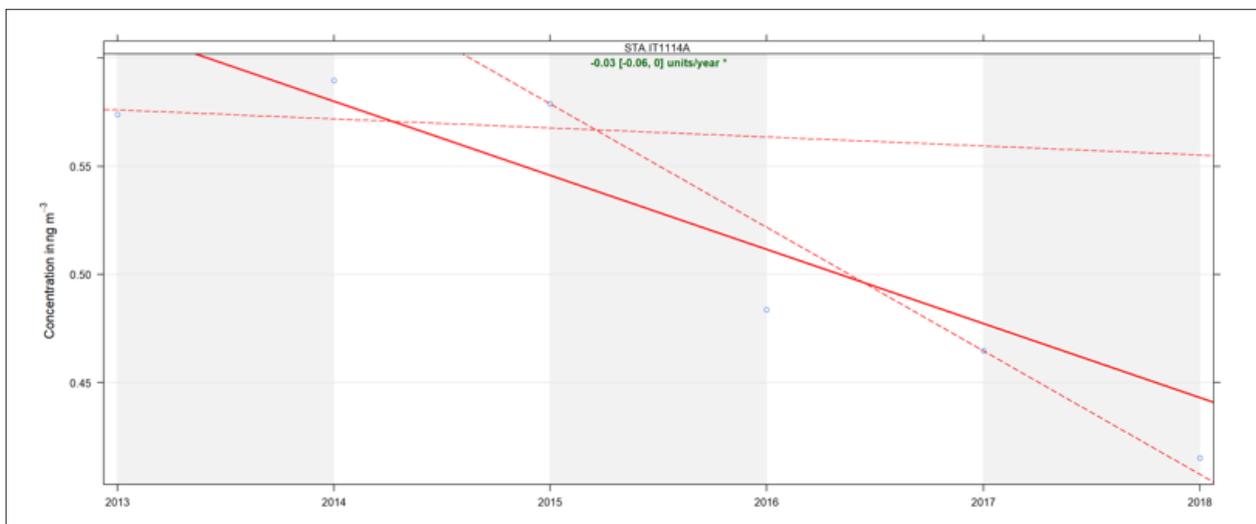


Abbildung 26: Der jüngste Trend von BaP an einer italienischen Messstation in den Alpen. Die durchgezogene rote Linie zeigt die Trendschätzung, und die gestrichelten roten Linien zeigen die 95 %-Konfidenzintervalle für den Trend. Der Gesamttrend wird oben links als $-0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr dargestellt, das 95 %-Konfidenzintervall beträgt $-0,06-0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /Jahr. Das Zeichen gibt an, dass der Trend auf dem Niveau von 0,05 signifikant ist.

orte ist der Trend nicht signifikant. Zwischen den einzelnen Jahren sind starke Schwankungen zu beobachten, wie aus Abbildung 22 hervorgeht. Diese hängen höchstwahrscheinlich mit der Meteorologie zusammen, da die Bildung von O_3 aus dessen Vorläuferstoffen durch Sonnenlicht ausgelöst wird.

5.3.3 PM_{10}

Der Trend für PM_{10} zeigt, dass dessen Konzentration von 2009 bis 2014 stark zurückgegangen ist, sich zwischen 2014 und 2018 jedoch anscheinend stabilisiert hat. Für die meisten Messstationen ist der Trend des Jahresmittelwertes im Zeitraum 2009-2018 signifikant. Dabei gibt es keinen Unterschied zwischen Messstationen in ländlicher und städtischer Umgebung oder Messstationen, die für Industriegebiete oder Verkehrszonen repräsentativ sind (Abbildung 24).

5.3.4 $PM_{2,5}$

Messstationen für $PM_{2,5}$ stehen nur in städtischen und vorstädtischen Gebieten. Dennoch weist der eindeutige Trend, der in Abbildung 25 zu erkennen ist, auf einen Rückgang der $PM_{2,5}$ -Konzentration an den Messstationen in den Alpen hin

5.3.5 BaP

Im Fall von BaP konnten nur für 10 Messstationen (1 in Deutschland, 3 in Österreich und 6 in Italien) Trends ausgewertet werden, da die anderen

Messstationen nicht über genügend langfristige Daten zur Beurteilung eines Trends verfügten. Der Trend ist im Allgemeinen rückläufig, aber in den meisten Fällen nicht signifikant, außer bei einer Station in Italien, wo er signifikant negativ ist (Abbildung 27).

Die Trendanalyse konzentrierte sich auf die Schadstoffe, die Überschreitungen der europäischen Grenz- oder Zielwerte und zusätzlich der WHO-Leitlinien aufweisen. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen in Europa zeigt die für den Zeitraum 2009-2018 durchgeführte Analyse eine allgemeine Verbesserung der Luftqualität für mehrere Schadstoffe. Wie die Grafiken veranschaulichen, variieren die Konzentrationsänderungen zwischen den einzelnen Jahren im Laufe der Zeit. Im betrachteten Jahrzehnt ist die durchschnittliche Änderungsrate der Jahresmittelwerte der Konzentrationen jedoch sowohl für NO_2 (jeweils -2,7 %/Jahr und -3,1 %/Jahr an verkehrsnahen Messstationen bzw. an Standorten mit städtischem Charakter) als auch für PM_{10} (-3,1 %/Jahr und -4,0 %/Jahr an den gleichen Messstationstypen) negativ. Die $PM_{2,5}$ -Konzentrationen weisen die höchste durchschnittliche Abnahmerate auf: -5,6 %/Jahr an Stationsstandorten mit städtischem Charakter. Für Ozon konnte kein Trend ermittelt werden. Die Konzentrationen von Benzo(a)pyren scheinen einen Abwärtstrend aufzuweisen, was jedoch noch anhand von mehr Daten bestätigt werden muss. Diese insgesamt günstige Entwicklung, verbunden mit nur wenigen anhaltenden Überschreitungen der EU-Grenzwerte oder der WHO-Leitlinien, ermutigt zu weiteren Anstrengungen und Maßnahmen gegen die Luftverschmutzung.

6. RELEVANTE FORSCHUNGSPROJEKTE UND OBSERVATORIEN FÜR DIE LUFTQUALITÄT IN DEN ALPEN

Neben den in Tabelle 1 genannten, gesetzlich regulierten Luftschadstoffen werden auch andere Stoffe in Zukunft im Alpenraum eine wichtige Rolle spielen. Dieses Kapitel befasst sich mit relevanten Fragen, die derzeit in kooperativen Forschungsprogrammen untersucht werden. Nähere Angaben hierzu sind im Anhang 2 des Berichts enthalten.

Wie aus mehreren nationalen und transnationalen Studien und Berichten hervorgeht (vgl. Anhang 2 des Berichts) stellen die Emissionen und Konzentrationen von Feinstaub ($PM_{2,5}$ / PM_{10} / UFP) aus der Holzverbrennung eine große Herausforderung für den Alpenraum dar. Tatsächlich ist die Holzverbrennung eine traditionelle anthropogene Nutzungsform, aber die Probleme, die dadurch im Hinblick auf persistente organische Schadstoffe (POP) und flüchtige organische Verbindungen (VOC) entstehen, werden durch die besondere orographische Beschaffenheit der Alpen noch verschärft.

Das Klima beeinflusst besonders die Ökosysteme, aber auch die Atmosphäre, da es sich auf die Verteilung und Deposition von Luftmassen und Schadstoffen auswirkt und es verändert die Höhen der Luftschichten und die chemischen Reaktionen. Der Wissensstand, wie der Klimawandel die Luftqualität und damit die Gesundheit der Menschen beeinflussen wird, ist derzeit noch begrenzt. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass die regionalen Mittelwerte der Ozonkonzentrationen steigen werden.

All diese Fragen werden von WissenschaftlerInnen erörtert und untersucht. Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten abgeschlossenen und laufenden Forschungsprojekte und die Observatorien, die zur Verbesserung des Kenntnisstands über die Luftqualität in den Alpen beitragen..

6.1 DAS UMWELTFORSCHUNGSPROJEKT „PUREALPS“

Das 2008 abgeschlossene Projekt MONARPOP (siehe Anhang 2) konzentrierte sich auf persistente organische Schadstoffe (POP) und andere organische Substanzen im Alpenraum. Seit 2016 werden die Messungen durch zwei gleichnamige PureAlps-Projekte (Freier K.P. et al., 2019) in Österreich und Bayern fortgeführt. Untersucht werden Schadstoffe wie polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane, polychlorierte Biphenyle (PCB), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Organochlorpestizide (OCP), halogenierte Flammschutzmittel, Quecksilber und weitere neuartige organische Fluor- und Chlorchemikalien. Die Ergebnisse aus dem seit über 15 Jahren andauernden Monitoring zeigen, dass die Hochlagen der Alpen durch Kondensationseffekte dem Eintrag von schwer abbaubaren organischen Schadstoffen besonders stark ausgesetzt sind (Abbildung 27). Obwohl die Schadstoffkonzentrationen in der Luft um ein Vielfaches niedriger sind als in urbanen Regionen, bewegen sich die Einträge oft in ähnlichen Größenordnungen. Das bedeutet, dass auch entlegene alpine Gebiete nicht mehr frei von Umweltrisiken durch Chemikalien sind. Bestimmte Schadstoffe mit signifikanten regionalen Quellen wie Lindan aus Holzbaustoffen oder PAK aus der Holzverbrennung kommen im zentralalpinen Raum verstärkt vor.

Aufgrund der REACH-Verordnung (Registrierung, Evaluierung, Autorisierung und Beschränkung von Chemikalien, Regulation (EC) No 1907/2006) und dem Stockholmer Übereinkommen gibt es bei den Schadstoffkonzentrationen in den Alpen eine rückläufige Tendenz. Dazu zählen die inzwischen zum größten Teil verbotenen Organochlorpestizide. Dagegen sind die Immissionswerte bei



Abbildung 27: Ergebnis aus der luftmassenbezogenen Messung: Anströmung der Alpengipfel aus drei dominierenden Richtungen; teilweise dominieren aus den jeweiligen Richtungen PCB und OCP³³

Dioxinen bisher nur geringfügig zurückgegangen und bei PCB stabil geblieben. Die Gründe dafür sind noch unklar und sollen im Rahmen der PureAlps-Projekte eingehender untersucht werden. Eine signifikante Zunahme bei Immissionsmessungen wurde bei Octachlorstyrol eine Substanz, die als unbeabsichtigtes Nebenprodukt bei der Produktion chlorierter Lösungsmittel und bei der Verbrennung chlorierter Kohlenwasserstoffe entsteht verzeichnet. Auch das in großen Tonnagen verwendete Flammschutzmittel Decabromdiphenylethan (DBDPE) überstieg erstmals 2012 die Detektionslimits der Messgeräte und weist derzeit die höchsten Immissionswerte der überwachten halogenierten Flammschutzmittel auf.

6.2 HOCHALPINE UMWELTMESSTATIONEN

Im Alpenraum gibt es (hochalpine) Höhenmessstationen, wo Monitoring- und Forschungsprogramme zu Luftverschmutzung, Wetter und Klima durchgeführt werden, und zwar: Zugspitze Schneefernerhaus (DE, Umweltbundesamt Deutschland, siehe Abbildung 28), Hohenpeißenberg (DE, Deutscher

Wetterdienst), Jungfrauoch (CH), Sonnblick (AT, siehe Abbildung 29) und Plateau Rosa (IT). Wegen ihrer besonderen Lage sind diese Messstationen von großem Interesse für wissenschaftliche Forschungs- und Monitoringaufgaben in Europa und in den Alpen, wie z.B. die Überwachung der weiträumigen Verfrachtung von Schadstoffen, die Überwachung persistenter organischer Schadstoffe in der Luft für die Ziele des Stockholmer Übereinkommens über POP³⁴, die Beobachtung chemischer und physikalischer Veränderungen in der Atmosphäre, die Beobachtung des Eindringens von Luftmassen (und Schadstoffen) aus der Stratosphäre in die Troposphäre sowie der Entstehung und des Transports von Schadstoffen. Die meisten der oben genannten Messstationen sind Teil des GAW-Programms (Globale Atmosphärenüberwachung) der Weltorganisation für Meteorologie (WMO), des europäischen EMEP-Netzwerks (europäisches Monitoring- und Evaluationsprogramm) sowie des ACTRIS-Programms (europäische Forschungsinfrastruktur für Aerosole, Wolken und Spurengase). Italien ist mit einer weiteren Höhenstation Monte Cimone in den nördlichen Apenninen an diesen Programmen beteiligt. Die Messstationen Plateau Rosa (und Monte Cimone), Zugspitze / Hohenpeißenberg und Jungfrauoch tragen zudem zum Integrated Carbon Observation System (ICOS) für Langzeitbeobachtungen von Treibhausgasen, dem EMEP- und GAW-Monitoringnetzwerk bei. Die ge-



Abbildung 28: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze ©Markus Neumann (UFS).

33. PureAlps – Monitoring von Schadstoffen in den Alpen; Publikation des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Augsburg, und des Umweltbundesamtes Österreich, Wien, 2019, Seite 5 (verfügbar unter <https://www.bestellen.bayern.de/>).

34. Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (POP) (<http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>).



Abbildung 29: Sonnblick Observatorium © ZAMG/SBO Ludwig.

nannten Alpenländer arbeiten auch eng im GAW-Programm zur Sammlung von Daten über globale atmosphärische Prozesse in Bezug auf Komponenten mit transnationalen, grenzüberschreitenden Klimaauswirkungen zusammen.

Die Höhenmessstationen Sonnblick (AT), Zugspitze und Hohenpeißenberg (DE) sowie die schweizerische Höhenforschungsstation Jungfraujoch (CH) und das Klimaobservatorium „Ottavio Vittori“ auf dem Monte Cimone (IT) untersuchen Spurengase in der Luft, die u.a. der Überwachung des Stockholmer Übereinkommens über POP dienen.

6.3 DAS BESTEHENDE MONITORINGNETZWERK IM ALPENPERIMETER ZUR MESSUNG DER LUFTVERSCHMUTZUNG (NEBEN DEN MESSSTATIONEN NACH DEN RICHTLINIEN 2008/50/EG UND 2004/107/EG)

6.3.1 DEUTSCHES NETZWERK FÜR ULTRAFEINSTAUB

In der Umweltforschungsstation (UFS) Schneefernerhaus auf der Zugspitze befindet sich eine Messstelle für Ultrafeinstaub, die zusammen mit

der Messstelle auf dem Hohenpeißenberg im Alpenvorland zum Deutschen Netzwerk für Ultrafeinstaub GUAN gehört. Die UFP-Messungen in den Höhenstationen vergleichen die Ultrafeinstaubwerte im Alpengebiet mit denen städtischer Gebieten und liefern zudem Informationen über Partikel natürlichen Ursprungs im Vergleich zu solchen von anthropogener Herkunft.

Aufgrund ihrer Messempfindlichkeit wird die Messstelle der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus zurzeit im Rahmen des VAO-Projekts (Virtuelles Alpenobservatorium) in Zusammenarbeit mit Italien, Österreich, Frankreich und der Schweiz für Höhenforschung, Überwachung der Luftqualität und Entwicklung von Vorhersagemodellen sowie für ein besseres Verständnis von Klimawandelprozessen genutzt.

6.3.2 NEXTDATA-PROJEKT ZUR OZONFORSCHUNG

Das NextData-Projekt (2011-2013) des Nationalen Forschungsrates (Consiglio Nazionale delle Ricerche – CNR) in Italien zielte darauf ab, die Integration eines Messnetzes in Berg- und Randgebieten für atmosphärische Beobachtungen zur Überwachung der Atmosphärenzusammensetzung und weiterer Daten (meteorologische Parameter und Sonneneinstrahlung) zu fördern. Hauptziel dieses Messnetzes war es Prozesse zu untersuchen, die Einfluss auf die Variabilität von Luftschadstoffen und klimawirksamen Substanzen haben (im Montreal-Protokoll regulierte, stratosphärisches Ozon abbauende Halogenkohlenwasserstoffe, im Kyoto-Protokoll aufgeführte Nicht-CO₂-Treibhausgase, Ozon und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMVOC, mineralisches Aerosol und Black Carbon) sowie die kontinuierliche Überwachung von Spurengasen und Aerosoleigenschaften (Partikelgrößenverteilung, Absorptionskoeffizient).

Das Messnetz umfasste fünf Atmosphären-Observatorien im Hochgebirge: Monte Cimone (nördliche Apenninen, 2165 m ü.d.M.), Plateau Rosa Projekt (westliche Alpen, 3480 m ü.d.M.), Col Margherita (östliche Alpen, 2550 m ü.d.M.), Monte Portella – Campo Imperatore (mittlere Apenninen, 2401 m ü.d.M.), und Monte Curcio (südliche Apenninen, 1796 m ü.d.M.). Auf dem Col Margherita wurden kontinuierliche Ozonmessungen zur Beurteilung des möglichen Aufstiegens von Luftmassen in größere Höhen unter dem Einfluss anthropogener Emissionen durchgeführt. Wie an anderen Gebirgsstandorten waren tageszeitliche O₃-Schwankungen in den Sommermonaten zu be-

obachten, wobei abends/nachts die höchsten Werte und tagsüber die niedrigsten Werte gemessen wurden. In den zentralen Tagesstunden kommt es möglicherweise zu einer trockenen Deposition an Berghängen, die zu einem Rückgang der O_3 -Konzentration führt; in der Nacht hingegen wird Ozon vermutlich durch lokale anthropogene Emissio-

nen und Wetterbedingungen gebildet oder von der Stratosphäre weiträumig verfrachtet und dann in die Stratosphäre getragen. Darüber hinaus ist im Sommer ein deutlicher Wochenzyklus von Ozon mit steigenden Werten im Wochenverlauf zu beobachten. Im Winter ist dagegen ein umgekehrter Tag-Nacht-Zyklus erkennbar.

6.4 DIE BEOBACHTUNG DER LUFTQUALITÄT IM ALPENRAUM ALS TEIL DES VIRTUELLEN ALPENOBSERVATORIUMS (VAO) - EIN BEITRAG DER ALPENKONVENTION

Michael Bittner, Ehsan Khorsandi, Frank Baier, Thilo Erbertseder
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Erdbeobachtungszentrum, Oberpfaffenhofen

Das Virtuelle Alpenobservatorium³⁵ ist ein Zusammenschluss alpiner Observatorien und assoziierter Einrichtungen aus anderen europäischen Bergregionen, deren Ziel es ist, alpenrelevante wissenschaftliche und gesellschaftliche Fragen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel, gemeinsam zu bearbeiten. Die Alpenkonvention hat Beobachterstatus im VAO.

Im Rahmen des VAO wird auch die Luftqualität im Alpen- und Voralpengebiet überwacht. Dazu werden Messdaten von Bodenstationen, satellitengestützten Instrumenten (insbesondere des Sentinel-Programms der Europäischen Raumfahrtorganisation ESA³⁶, Abbildung 30) sowie Daten des europäischen Kopernikus-Atmosphärenüberwachungsdienstes³⁷ verwendet.

Für die täglichen Vorhersagen der Luftqualität in Bodennähe (derzeit für die kommenden drei Tage) nutzt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ein numerisches Modellsystem, das aus einem Wettervorhersagemodell (WRF³⁸) und einem Chemie-Transport-Modell

(POLYPHEMUS/DLR³⁹) besteht und die besonderen Verhältnisse im Alpenraum berücksichtigt. Die Verbreitung von Luftschadstoffen wird für die Verwaltungsbezirke (Landkreise) stündlich mit einer horizontalen Auflösung von 6 km vorhergesagt. Durch sogenannte „Nesting“-Methoden kann die räumliche Auflösung regional auf 2 km erhöht werden. In städtischen Gebieten kann durch die Kopplung mit einem weiteren hydrodynamischen Modell (EULAG⁴⁰) eine Auflösung von bis zu einigen Metern erreicht werden.

Die Luftqualität ist ein sogenannter „Umweltstressor“. Das bedeutet, dass Luftschadstoffe das menschliche Wohlbefinden beeinträchtigen können. Die potenziellen Auswirkungen ausgewählter Luftschadstoffe sowie der Wetterstress

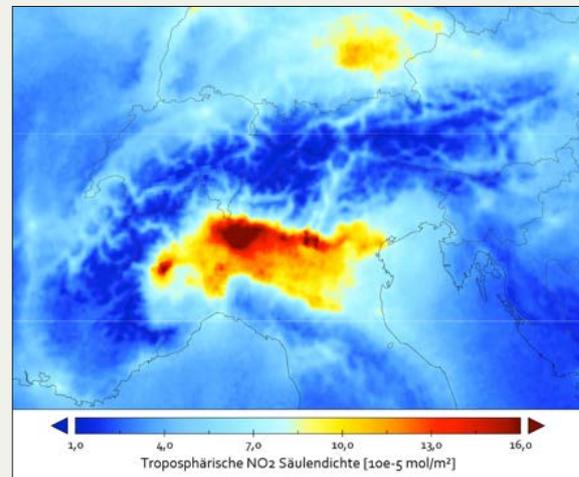


Abbildung 30: Mittlere Konzentration der troposphärischen NO_2 -Säule für den Zeitraum Januar Juni 2019 über dem Alpenraum (satellitengestützte Messungen von Sentinel 5P der ESA, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

35. <https://www.vao.bayern.de>.

36. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>.

37. <https://atmosphere.copernicus.eu/>.

38. <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>.

39. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10793/1079303/Air-quality-monitoring-and-simulation-on-urban-scale-over-Munich/10.1117/12.2503969.short?webSyncID=a0ce46e9-e6ec-7a49-dab6-a0cbad059329&sessionGUID=ad883c9d-902b-c999-3ced-268bead49a28&SSO=1>.

40. <https://www2.mmm.ucar.edu/eulag/>.

werden daher ebenfalls tagesaktuell aufgrund der Situation der Luftqualität und der Wetterverhältnisse berechnet und in Form des „Aggregierten Risikoindex ARI“ (Sicard P. et al., 2012) oder des „Universellen Thermischen Klimaindex UTCI“⁴¹ bekannt gegeben.

Alle Ergebnisse werden der Öffentlichkeit täglich über das Alpen-Datenanalysezentrum „Alpine Environmental Data Analysis Centre“⁴² (AlpEnDAC) des VAO zur Verfügung gestellt; dieser Dienst wird ohne Zugangsbeschränkungen angeboten.

Das oben erwähnte System wird auch für wissenschaftliche Studien (z.B. zur Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die Luftqualität oder zu Fragen bezüglich der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf die Luftschadstoffkonzentrationen) verwendet und ermöglicht zugleich die Untersuchung von Szenarien (z.B. Fragen bezüglich der Auswirkungen auf die Luftqualität durch einen Anstieg des Kraftfahrzeugverkehrs, den Ausbau von Verkehrswegen oder die städtische Verdichtung).

Nachstehend werden einige Beispiele genannt.

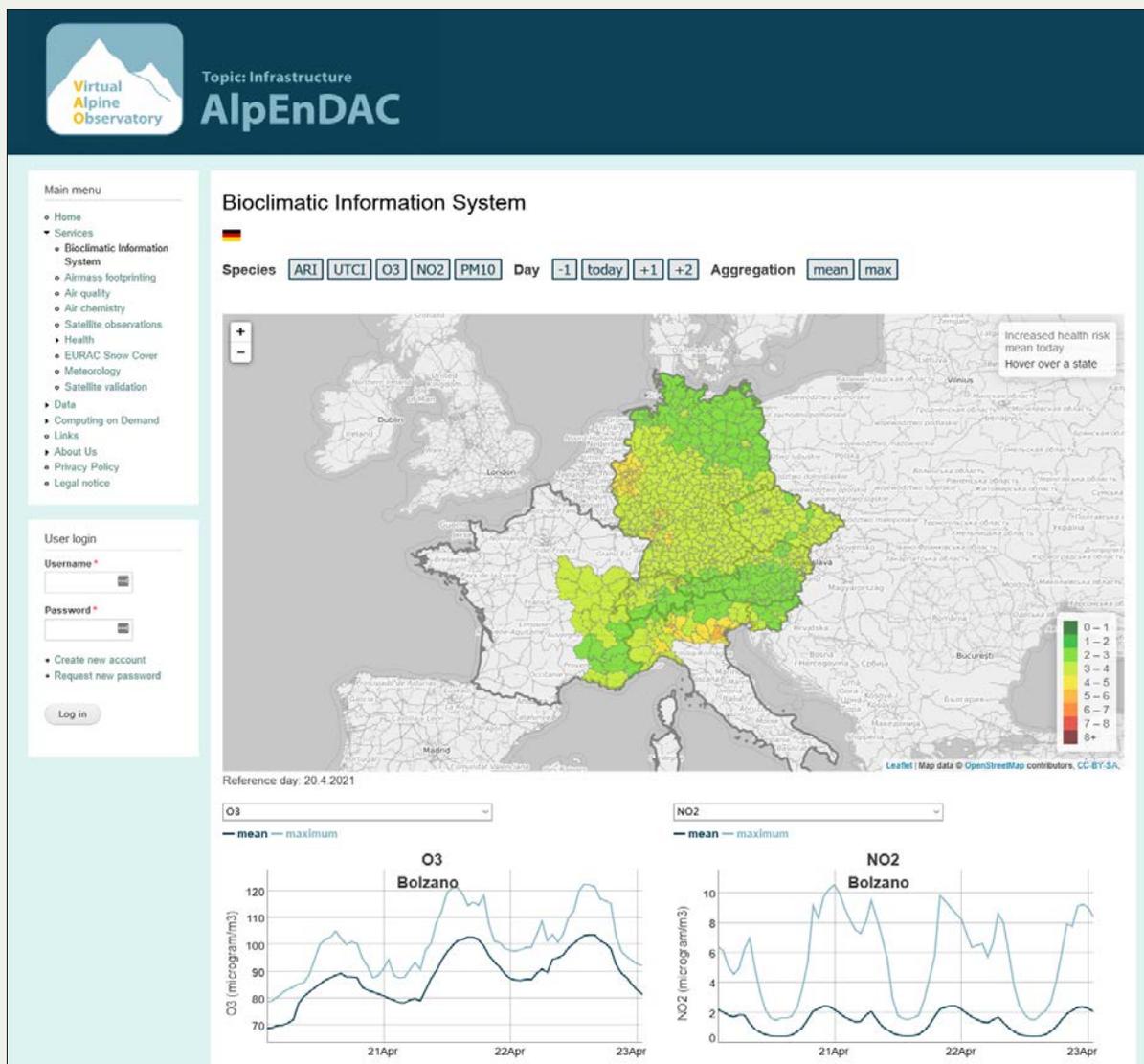
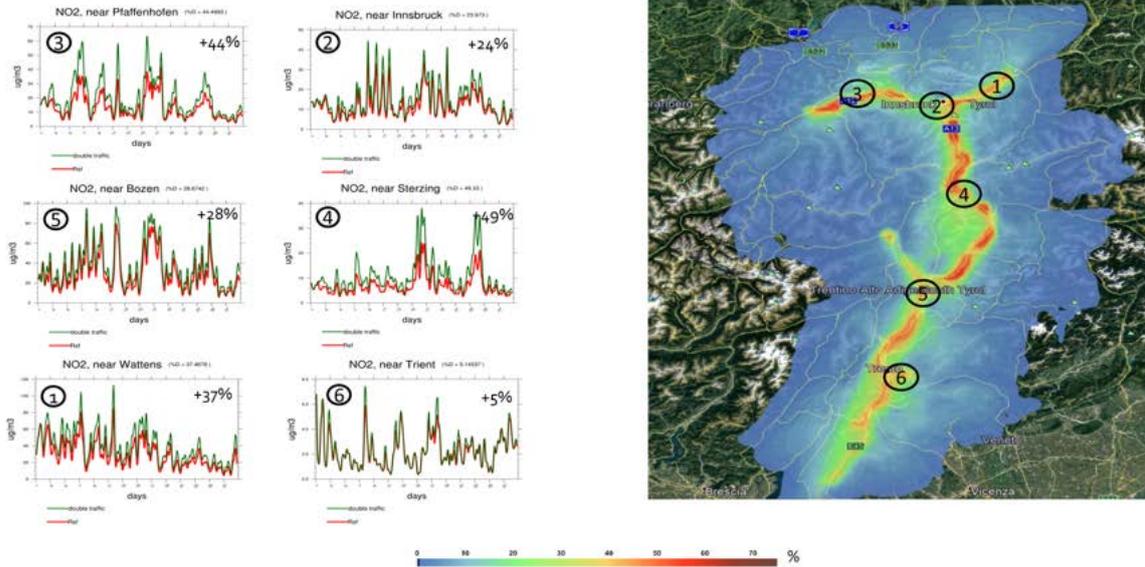


Abbildung 31: Bioklimatisches Informationssystem nach Landkreisen. (Mehr Informationen unter: <https://www.alpendac.eu/landkreis-tool>)

41. http://www.utci.org/isb/documents/windsor_vers04.pdf

42. <https://www.alpendac.eu/>

Anstieg der NO₂-Belastung an ausgewählten Standorten durch eine Verdopplung des Verkehrsaufkommens (veranschlagt für eine Dauer von 10 Tagen im Februar 2018)



Anstieg der PM₁₀-Belastung an ausgewählten Standorten durch eine Verdopplung des Verkehrsaufkommens (veranschlagt für eine Dauer von 10 Tagen im Februar 2018)



Note: PM₁₀ kann über weitere Distanzen transportiert werden; eine erhöhte Verkehrsdichte beeinflusst also ein größeres Gebiet in der Umgebung von Verkehrswegen als bei NO₂

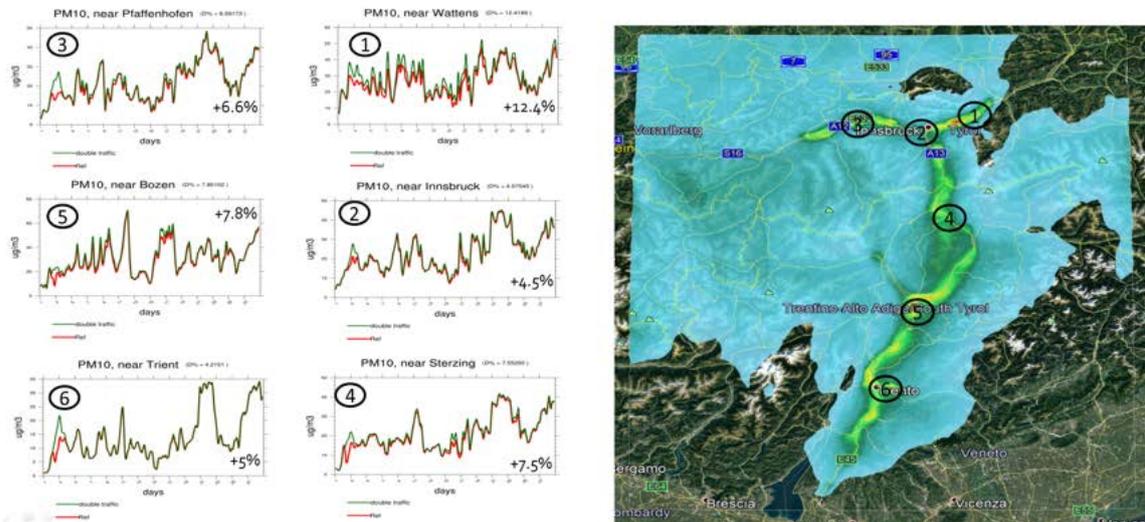


Abbildung 32: Simulation des Einflusses einer Verdoppelung des Straßenverkehrs für einen Zeitraum von zehn Tagen im Februar 2018 auf die NO₂-Konzentration und die Feinstaubkonzentration (PM₁₀) (unten).

Die Daten werden für den normalen Verkehr (rot) und den verdoppelten Verkehr (grün) angegeben. Rechts: Die Karte zeigt die durchschnittliche Abweichung zwischen der Belastung an den ersten zehn Tagen im Februar 2018 durch den normalen und den verdoppelten Verkehr (nur auf der Autobahn).

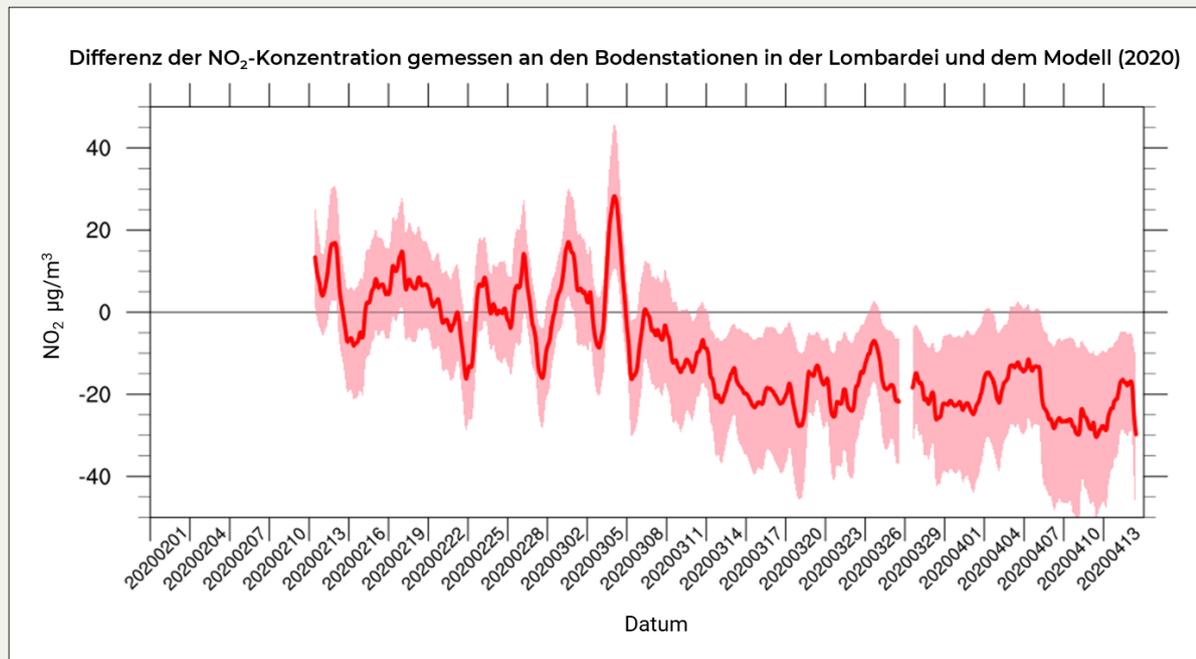


Abbildung 33: Differenz zwischen den an 25 Bodenstationen in der Lombardei gemessenen NO_2 -Konzentrationen und dem Modell WRF-POLYPHEMUS / DLR für den Zeitraum vom 1. Februar 2020 bis zum 13. April 2020.

6.4.1 DAS BIOKLIMATISCHE INFORMATIONSSYSTEM (BIOCLIS)

Ein vom AlpEnDAC angebotener Service (mit Projektstatus) ist das Bioklimatische Informationssystem. Es liefert Tagesmittelwerte sowie Zeitreihen von Luftschadstoffen, meteorologischen Parametern und Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden über einen Zeitraum von vier Tagen und auf Landkreisebene. Abbildung 31 zeigt einen Screenshot der BioCliS-Webseite.

6.4.2 ZWEI BEISPIELE FÜR SZENARIEN

Als Beispiel für eine typische Fragestellung zeigt Abbildung 32 eine Simulation der NO_2 - und der Feinstaubverteilung (PM_{10}), wie sie sich möglicherweise bei einer Verdoppelung des Straßenverkehrs auf den zentralen Alpenstrassen darstellen würde. Die Abbildung stellt die hypothetische Situation für einen Zeitraum von zehn Tagen im Februar 2018 unter Angabe des prozentualen Anstiegs der NO_2 -Belastung im Vergleich zur normalen Situation dar. Die Grafiken auf der linken Seite verdeutlichen die erwartete höhere NO_2 -Belastung für ausgewählte Orte. Es ist jedoch zu beachten, dass zum Beispiel in der Nähe größerer Städte, wie z.B. Innsbruck, unter dem Einfluss hoher lokaler Emissionen

aus einer Vielzahl von Quellen die Auswirkungen einer Verdoppelung des Autobahnverkehrs vergleichsweise geringer ausfallen würden. Die Grafik in Abbildung 32 veranschaulicht die Situation für Feinstaub PM_{10} .

Ein weiteres Beispiel für eine typische Untersuchung ist in Abbildung 33 dargestellt. Der erste wegen der Covid-19-Pandemie verordnete Lockdown führte zu einer starken Einschränkung des Straßenverkehrs und der Industrietätigkeit. Die NO_2 -Messungen von Bodenstationen und auch von Satelliten belegen einen Rückgang der NO_2 -Verschmutzung. Natürliche, wetterbedingte Schwankungen der NO_2 -Belastung können jedoch diesen Effekt in den Messungen verfälschen. Die Verringerung der NO_2 -Belastung durch den Lockdown wird besonders deutlich, wenn man die Messdaten mit dem oben genannten Modell vergleicht, da dieses eine Vielzahl natürlicher Einflüsse auf die NO_2 -Variabilität berücksichtigt. Abbildung 33 zeigt die Differenz zwischen dem Modell und mehr als 25 Bodenstationsmessungen in der Lombardei. Die Verringerung der NO_2 -Belastung während des Lockdowns um bis zu 30 Mikrogramm pro Kubikmeter ist klar erkennbar; das entspricht einem Rückgang von bis zu 45 % im Vergleich zu den normalerweise gemessenen Werten.



6.5 DIE LUFTSCHADSTOFFÜBERWACHUNG IN DER ZUKUNFT

Die Messung und Überwachung von Spurenschadstoffen wie POP, F-Gasen, halogenierten Gasen und Ultrafeinstaubpartikeln an Höhenmessstationen sind dringend notwendig. Der Alpenraum reagiert sehr empfindlich auf Schadstoffe, sorgt für deren Dispersion und fungiert gleichzeitig als Schadstofffänger: Diese besondere Charakteristik erfordert zusätzliche Aufmerksamkeit. In dieser Hinsicht können die Alpen auch als Frühwarnsystem für neue Schadstoffe und Auswirkungen künftiger menschlicher Tätigkeiten angesehen werden.

Ultrafeinstaubmessungen können in diesem Zusammenhang auch für dicht besiedelte Orte mit Industrie und einem hohen Verkehrsaufkommen im Tal von Interesse sein. Allerdings werden wissenschaftliche Erkenntnisse über die Messmethoden und die Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen derzeit noch gesammelt. Es bedarf demzufolge weiterer Forschung zu Ultrafeinstaub

und seinen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt.

Neben der Genauigkeit der Daten über die Luftschadstoffe, ist bei der Ergebung der Standort der Messstationen elementar. Es muss sich um repräsentative Orte handeln, damit die lokalen meteorologischen Besonderheiten zuverlässig beschrieben werden können.

Die Erfassung von Luftschadstoffen anhand von Satellitendaten und deren Kopplung mit Messungen vor Ort und Modellierungen wird an Bedeutung gewinnen, wie das Beispiel des VAO in Abschnitt 6.4 zeigt. Ein solches Observatorium wird ein genaueres Bild der Luftverschmutzung in den Alpen liefern. Durch ein Netz von kostengünstigen Sensoren könnten die vorhandenen Messdaten ergänzt sowie die Öffentlichkeit stärker für Fragen der Luftqualität interessiert und sensibilisiert werden. Dieses Netz sollte jedoch zertifizierte Messungen nicht ersetzen, da es weniger zuverlässig und derzeit nicht für Untersuchungen der gesundheitlichen Auswirkungen geeignet ist.

7. BEISPIELE UND INTELLIGENTE LÖSUNGEN ZUR REDUKTION DER LUFTVERSCHMUTZUNG

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über Maßnahmen und Lösungen, die von den ExpertInnen der Arbeitsgruppe zusammengestellt wurden. Diese Maßnahmen können auf verschiedenen Ebenen mit Fokus auf den Alpenraum von der nationalen bis zur lokalen Ebene zur Verbesserung der Luftqualität umgesetzt werden. Viele Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität haben Nebeneffekte, welche in der vorliegenden Analyse einbezogen wurden. Beispielsweise kann sich eine Maßnahme mit positivem Effekt auf ein Umweltproblem, wie zum Beispiel den Klimawandel, nachteilig auf die Luftqualität auswirken (ein typisches Beispiel hierfür ist die Holzverbrennung). Andererseits können Maßnahmen, die nicht speziell auf eine Verringerung der Luftverschmutzung abzielen, positive Auswirkungen auf die Luftqualität haben. Wenn derartige Informationen vorliegen, wird in dieser Studie auf die effektiven Win-Win-Situationen hingewiesen. So könnte die Dekarbonisierung der alpinen Wirtschaft zugleich auch die Luftqualität verbessern, wenn saubere Verkehrssysteme eingeführt werden. Aber sie könnte auch nachteilige Auswirkungen haben, wenn die Biomasseverbrennung ohne entsprechende Technologie ausgebaut wird.

7.1 BIOMASSEVERBRENNUNG UND HEIZUNGSANLAGEN IM ALLGEMEINEN

Der rechtliche Rahmen, einschließlich Grenzwerte und Maßnahmen, die speziell für Heizungen, Holzverbrennung und Industrieanlagen gelten, wurde in einigen Alpenländern angepasst, wie in Kapitel 2 und 3 beschrieben wurde. Intelligente Lösungen zur Reduktion der Emissionen aus Heizungsanlagen, insbesondere aus Holzheizungen, beginnen mit der Festlegung von Richtlinien und Grenzwerten für Gebäudeheizungen. Neben Obergrenzen und Richtlinien können finanzielle Anreize gesetzt werden, um die Einhaltung der Grenzwerte für BürgerInnen attraktiv zu machen. Eine weitere Säule ist der Aufbau von Netzwerken für die Forschung und den Wissenstransfer. Und schließlich

werden mehrere Beispiele für Wärmenetze vorgestellt. Unter bestimmten Voraussetzungen sind Nah- und Fernwärme eine sinnvolle Lösung für eine effiziente und saubere Wärmeversorgung

7.1.1 FINANZIELLE ANREIZE

7.1.1.1 Reduktion der Partikelemissionen aus Holzverbrennung in Privathaushalten, Frankreich

In Frankreich gibt es finanzielle Zuschüsse für Privathaushalte in Gemeinden mit besonders hoher Feinstaubbelastung. Die Zuschüsse sollen private Haushalte unterstützen, stark umweltbelastende Heizungen durch neue Anlagen mit Emissions- und Energieeffizienzkennzeichnung zu ersetzen. Alle in Frage kommenden Haushalte können diese Zuschüsse unabhängig von ihrem Einkommen beantragen. Damit wird ein Anreiz geschaffen, alte Heizungsanlagen zu erneuern. Die Förderung wird durch Informationskampagnen begleitet, um die Bevölkerung auf Best-Practice-Beispiele in diesem Bereich hinzuweisen.

Für die feinstaubbelasteten Gebiete war eine einfache, aber wirksame Maßnahme erforderlich. Deshalb wurde beschlossen, einen finanziellen Anreiz zu schaffen und diesen in einer Alpenregion über einen Zeitraum von vier Jahren zu testen. Die Entwicklung der PM_{10} -Konzentrationen durch Holzverbrennung wurde während der gesamten Dauer des Pilotprojekts überwacht. Dabei wurden folgende Verbesserungen verzeichnet:

- die Feinstaubbelastung nahm kontinuierlich ab;
- im Rahmen des Pilotprojekts wurde nach vier Jahren ein Rückgang von PM_{10} zwischen 4 % und 12 % beobachtet, obwohl weniger als 30 % der ineffizienten Heizungsanlagen ersetzt worden waren.

Aufgrund des Erfolges wurde die Maßnahme auf das ganze Land ausgeweitet.



7.1.2 WISSENSERWEITERUNG

7.1.2.1 Maßnahmen zum Einsatz von Holz zum Heizen, Slowenien

Zur Ergänzung der im Luftreinhalteplan enthaltenen Maßnahmen für den Heizungsbereich soll durch die Strategie für eine sinnvolle energetische Nutzung von Holz der Ressourceneinsatz beim Heizen mit Holz verbessert werden. Die Strategie beruht auf einer genauen Analyse der energetischen Holznutzung in Gebäuden in Slowenien. Es werden 205.000 Heizungsanlagen mit festen Brennstoffen beheizt, wobei über die Hälfte dieser Anlagen älter als 20 Jahre ist.

Die Ziele der Strategie:

- Der sinnvolle und effiziente Einsatz von Holz als einheimische und erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle;
- Die effiziente Verarbeitung und Nutzung von Rundholz aus den slowenischen Wäldern, in erster Linie in der Holzindustrie und zum anderen für energetische Zwecke;
- Die Sicherstellung einer hohen Effizienz bei der Nutzung von Holz für energetische Zwecke;
- Die Förderung des Einbaus moderner und effizienter gemeinschaftlich betriebener Heizungen für Holzbiomasse, wo die räumliche Anordnung der Gebäude es zulässt;
- Die Unterstützung der Modernisierung privater Heizungsanlagen und die Reduktion der Feinstaubbelastung durch veraltete Verbrennungsanlagen;
- Der Aufbau eines Kompetenzzentrums für Holzheizungen in Verbindung mit einem mobilen Demonstrationszentrum für Kleinfeuerungsanlagen;
- Die Verbesserung der Zusammenarbeit und Abstimmung unter den EntscheidungsträgerInnen, ExpertInnen und anderen Interessengruppen, die sich mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen befassen.

7.1.2.2 Wissenstransfer auf verschiedenen Verwaltungsebenen: Cercl'Air Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute, Schweiz

Cercl'Air ist die Vereinigung der schweizerischen

VertreterInnen von Behörden und Hochschulen im Bereich der Luftreinhaltung und der nichtionisierenden Strahlung. Sie pflegt und fördert in dem komplexen föderalen System der Schweiz die interkantonale Koordination des Vollzugs der Luftreinhalte-Verordnung und unterstützt den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis. Einer ihrer Tätigkeitsbereiche betrifft auch das Heizen in Privathaushalten (Holzverbrennung und Brennstoffqualität).

7.1.2.3 Abkommen über kleine Holzfeuerungsanlagen, Italien

In Italien werden finanzielle Anreize für den Austausch alter Heizungsanlagen durch emissionsarme Modelle gewährt; die Notwendigkeit eines kulturellen Wandels in diesem Bereich wurde erkannt. Deshalb wurde ein Abkommen⁴³ zwischen dem Ministerium für Umwelt, Land- und Meeresschutz und dem Wirtschaftsverband Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL) getroffen. AIEL vertritt mehr als 500 Unternehmen der Holzenergiebranche, darunter Produzenten und Händler von Brennholz, Hackschnitzeln und zertifizierten Pellets, Hersteller von Wärmeerzeugungs- und Biomasseanlagen sowie Montage- und Wartungsfirmen für Biomasseanlagen. Der Verband fördert die energetische Nutzung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft.

Das Abkommen soll die Investitionen in Forschung und Entwicklung seitens der Anlagenbauer fördern sowie den technologischen Innovationsprozess im Bereich der Biomasseanlagen forcieren, um die Effizienz der Wärmeerzeugung zu erhöhen und die Emissionen, insbesondere von PM und BaP, zu reduzieren. Sie sieht entsprechende Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen für Montage- und WartungstechnikerInnen von Holzbiomasseanlagen vor. Ferner sind Informationskampagnen für HerstellerInnen und BetreiberInnen geplant. Das Abkommen fordert die Erstellung eines kurzen Leitfadens für den korrekten Betrieb von Holz- und Pelletheizungen zusätzlich zu den Bedienungs- und Wartungsanleitungen für Heizungsanlagen der höheren Qualitätsklassen. Und schließlich enthält das Abkommen Maßnahmen zur Bereitstellung von Mitteln, um alte Heizungsanlagen durch neue, emissionsarme Heizsysteme zu ersetzen.

Dem Abkommen können alle betroffenen Regionen und autonomen Provinzen beitreten, die sich

43. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/inquinamento_atmosferico/Protocollo_Intesa_MATTM_AIEL.pdf

verpflichten, die Kontrolle von Biomasseheizungen in Haushalten zu intensivieren und zu verstärken und die Öffentlichkeit umfassend zu informieren.

7.1.3 NAH- UND FERNWÄRME

7.1.3.1 Maßnahmen für Gebäudeheizungen in Übereinstimmung mit dem Luftreinhalteplan, Slowenien

Der Luftreinhalteplan⁴⁴ soll für alle Gebiete außerhalb der Ballungszentren gelten, da für letztere eigene Pläne zur Verbesserung der Luftqualität existieren. Die Maßnahmen sind nach räumlichen Merkmalen differenziert und umfassen unter anderem:

1. die Errichtung neuer Mikronetze zur Wärmeerzeugung aus Holzbiomasse in einzelnen dicht besiedelten Gebieten, an die alle Gebäude des jeweiligen Gebiets angeschlossen werden;
2. die Errichtung kleiner, gemeinschaftlich betriebener Verbrennungsanlagen für Holzbiomasse, wo die Bedingungen es erlauben, und Anschluss aller Gebäude des jeweiligen Gebiets;
3. den Austausch von alten kleinen Holzverbrennungsanlagen durch moderne Biomasse-Anlagen und in verstreuten Siedlungen durch Wärmepumpen;
4. die Bereitstellung von Informationen, um Best-Practice-Beispiele bekannt zu machen und an die Menschen weiterzugeben und um auf die positiven Auswirkungen auf die Luftqualität in Gebieten, wo noch veraltete Kleinf Feuerungsanlagen betrieben werden, hinzuweisen und sie zu fördern.

7.1.3.2 Holz-Wärmeverbund, Disentis-Mustér, Schweiz

Mit dem neu errichteten Fernwärmenetz in der Gemeinde Disentis/Mustér im Kanton Graubünden konnten die Feinstaubemissionen durch den sachgemäßen Betrieb und den Einsatz von Filtersystemen gegenüber dezentralen Heizungsanlagen deutlich reduziert werden. Der ausgewählte Brennstoff ist Holz welches CO₂-arm und lokal verfügbar ist.

Disentis-Mustér ist ein Bergdorf im Kanton Graubünden. Im November 2009 war der Austausch mehrerer alter Öl- und Gasheizungen im Dorfkern notwendig. Anstatt weiterhin mit fossilen Brennstoffen zu heizen, sprach sich die lokale Bevölkerung unterstützt von den Kantons- und Gemeindebehörden - Anfang 2010 für den Bau eines Fernheizwerks aus, das mit lokal vorhandenem Holz betrieben werden und das gesamte Dorf mit Wärme versorgen sollte. Als willkommener Nebeneffekt dieser Maßnahme sollte die Feinstaubbelastung gegenüber den Einzelheizungen reduziert werden. Bisher wurden 117 Abnehmer an das Fernwärmenetz angeschlossen, darunter das Kloster Disentis, das Gemeindehaus und der lokale Supermarkt. Die erste Heizkesselanlage hat eine Leistung von 1.977 kW und die zweite von 1.955 kW. Das Leitungsnetz hat eine Gesamtlänge von 4,7 km. Durch die Anlage, die eine Gesamtleistung von 3,5 MW hat, werden jährlich geschätzte 1,2 Mio. Liter Heizöl eingespart⁴⁵. Wegen fehlender Vergleichszahlen sind keine Aussagen über die eingesparten Feinstaubemissionen möglich. Die Einsparungen dürften jedoch beträchtlich sein, da die Anlage mit modernen Elektroabscheidern ausgerüstet ist und die Emissionen deutlich unter den Feinstaubgrenzwert von 20 mg/Nm³⁴⁶ liegen.

Wärmeverbünde bieten den Vorteil, dass es anstelle von vielen dezentralen Heizungsanlagen nur ein zentrales Heizwerk gibt, das mit den nötigen Filtersystemen ausgerüstet ist, sehr niedrige Emissionswerte und einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

7.1.3.3 Ausbau der Fernwärme, Bayern, Deutschland)

Ziel der Maßnahme ist es, den Beitrag von Heizungsanlagen zur Luftverschmutzung zu reduzieren, indem private Haushalte an eine zentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlage angeschlossen werden.

Beispiel:

Bioenergie Berchtesgadener Land (Bayern)

2011 nahm die Bioenergie Berchtesgadener Land GmbH in der Gemeinde Schönau am Königssee ein Biomasse-Heizkraftwerk in Betrieb. Es nutzt Biomasse zur Erzeugung von Wärme und Strom: Für die Stromerzeugung werden ausschließlich regio-

44. Nach einer öffentlichen Anhörung Anfang 2020 wird die Regierung den Plan bis Ende 2020 verabschieden.

45. https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/aev/dokumentation/EnergieeffizienzEnergieaperoDokumente/EA81_Sac.pdf

46. Der Begriff "N" steht für "normal", d.h. unter normalen Temperatur- und Druckbedingungen (üblicherweise 25 °C bzw. 1 atm).

nale, aus einem Umkreis von 80 km stammende Hackschnitzel verwendet. Der Großteil des Holzes wird direkt aus dem Berchtesgadener Land bezogen. Das Fernwärmenetz erstreckt sich über eine Länge von mehr als 33 km und versorgt Teile der Gemeinden Schönau am Königssee, Berchtesgaden und Bischofswiesen. Dabei mussten 150 Höhenmeter überwunden werden. Die interkommunale Fernwärmeversorgung der Bioenergie Berchtesgadener Land ist ein Vorzeigeprojekt für die Nutzung erneuerbarer Energien im ländlichen Raum⁴⁷.

Im Vergleich zu Einzelheizungen in allen Haushalten wurde der Ausstoß von Schadstoffen wie NO_x und Feinstaub durch den Betrieb einer zentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage deutlich reduziert.

7.1.3.4 Umweltförderung für Biomasse-Nahwärme in Österreich

Zur Förderung der Wärmeerzeugung aus Biomasse wurde in Österreich die Umweltförderung der Nahwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger angelegt. Gefördert werden:

- Biomasse-Nahwärmeanlagen;
- Neubau und Ausbau von Wärmeverteilnetzen auf Basis von Biomasse, Geothermie oder industrieller Abwärme;
- Optimierung von Nahwärmeanlagen – primärseitig und sekundärseitig;
- Erneuerung von Kesselanlagen in bestehenden Biomasse-Nahwärmeanlagen;
- Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen (Biomasse-KWK).

Voraussetzung für den Erhalt der Förderung ist die Teilnahme am Qualitätsmanagementsystem „QM Heizwerke“ zur Steigerung der Energieeffizienz und Optimierung der Technologien und Anlagen. Eine weitere Auflage für den Bau und Betrieb der Anlage ist die dauerhafte Einhaltung von Emissionsgrenzwerten gemäß Tabelle 10.

Nennwärmeleistung	≤ 500 kW	0,5 – 1 MW	1 – 2 MW	2 – 5 MW	5 – 10 MW	> 10 MW
NO _x (mg/Nm ³ ; 10% O ₂)	200	275	275	220	220	110
Staub (mg/Nm ³ ; 10% O ₂)	40	83	36	22	11	11

Tabelle 10: Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Nahwärmeanlagen (österreichisches Umweltförderungsprogramm).

47. <https://www.bebgl.de/>.

7.2 EMISSIONSREDUKTION VON VOC/OZON-VORLÄUFER-EMISSIONEN

Dieser Abschnitt beschreibt die Regelungen zur Begrenzung der VOC- und NMVOC-Emissionen in zwei Ländern: die gesetzliche Regelung in Deutschland für VOC-emittierende Betriebe sowie die entsprechende Gesetzgebung und die Erfolgsgeschichte der Lenkungsabgabe auf VOC in der Schweiz.

7.2.1.1 Die schweizerische Gesetzgebung für NMVOC

Die Strategien und Maßnahmen der Schweiz zur Reduzierung der NMVOC-Emissionen beruhen auf drei Säulen: (i) den internationalen Abgasvorschriften für Kraftfahrzeuge, die vollständig ins schweizerische Recht übernommen wurden, (ii) der Luftreinhalte-Verordnung für stationäre Anlagen und (iii) der VOC-Lenkungsabgabe zur Reduktion der NMVOC-Emissionen.

Die VOC-Lenkungsabgabe ist in der Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtige organische Verbindungen geregelt, die 1997 in Kraft getreten ist. Als marktbasierendes Instrument im Bereich des Umweltschutzes sieht die Verordnung einen finanziellen Anreiz zur weiteren Reduktion der NMVOC-Emissionen vor. Die Abgabe (3 CHF pro kg VOC) bringt derzeit rund 110 Mio. Franken jährlich ein und wird größtenteils als Pauschalbetrag an die Schweizer BürgerInnen zurückgezahlt.

Das Schweizer Bundesamt für Umwelt untersucht regelmäßig die Wirkung der Lenkungsabgabe und wertet die Massenbilanzen der Ein- und Ausgänge von 600 der am stärksten betroffenen Unternehmen aus. 2017 wurde zudem eine Unternehmensumfrage in Zusammenarbeit mit den einschlägigen Wirtschaftsverbänden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabe weiter zur Emissionsminderung beiträgt. Zwischen 2007 und

2016 gingen die durch die Verordnung regulierten Emissionen insgesamt um 15 % zurück, während der VOC-Umschlag der bilanzierenden Unternehmen um 20 % zunahm.

Aus dem Bericht „Switzerland's Informative Inventory Report 2020“ (IIR) geht hervor, dass die Luftreinhalte-Verordnung, die VOC-Lenkungsabgabe und die Entwicklung der Euro-Emissionsnormen maßgeblich zur Reduzierung der VOC-Emissionen um nahezu 30 % im Vergleich zu 2005 beigetragen haben⁴⁸.

7.2.1.2 Strengere Vorschriften für VOC-emittierende Betriebe, Deutschland

Um die Ozonkonzentration zu verringern, gibt es mehrere Richtlinien zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Anlagen, zum Beispiel Kapitel V der Industrieemissionsrichtlinie IED (2010/75/EU) und die Petrol Stage I/IIRichtlinien (1994/63/EG, 2009/126/EG). Durch strengere Auflagen zur Einhaltung der VOC-Richtlinien und Anwendung der besten verfügbaren Techniken können die VOC-Emissionen in größerem Umfang reduziert werden.

Beispiel:

Umsetzung von Kapitel V der EU-Industrieemissionsrichtlinie in der deutschen Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31^a BImSchV (Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)⁴⁹:

- Für zahlreiche Tätigkeiten, die unter Verwendung organischer Lösemittel ausgeführt werden, wurden die Schwellenwerte gesenkt.
- Für Anlagen zum Beschichten / Lackieren: Flüchtige organische Verbindungen, die in gefassten unbehandelten Abgasen enthalten sind, zählen zu den diffusen Emissionen. Diese erfordern die Anwendung eines Reduzierungsplans oder einer Abgasreinigungseinrichtung.
- Auf genehmigungsbedürftige Anlagen wird stets der neueste Stand der Technik angewendet.
- Für Emissionen im Abgas gelten die Grenzwerte für organische Stoffe der Klasse I nach Nummer 5.2.5 der Technischen Anleitung zur Reinhaltung

der Luft (TA Luft): 20 mg/Nm³ (im Vergleich zu Kapitel V IED: Nur für VOC, denen der Gefahrenhinweis H341 „Kann vermutlich genetische Defekte verursachen“ oder H351 „Kann vermutlich Krebs erzeugen“ zugeordnet ist oder die mit dem betreffenden Hinweis zu kennzeichnen sind). Für chemische Reinigungsanlagen gilt: Nur Perchloräthylen (PER) ist als halogeniertes Reinigungsmittel zulässig. Die Maschinen müssen mit einer elektronischen Türverriegelung und einem PER-Messgerät ausgestattet sein. Die Maschinentür darf nur geöffnet werden, wenn die gemessene Massenkonzentration an PER in der Trocknungsluft am Austritt unter 2 g/m³ liegt.

Umsetzung der Richtlinien Phase I/II für Tankstellen in der 20. und 21. BImSchV⁵⁰:

- Der Anwendungsbereich der 20. und 21. BImSchV ist weiter gefasst als jener der Richtlinien und umfasst Rohbenzin (Naphtha) und Kraftstoffgemische mit 10-90 Vol. % Bioethanol.
- Systeme zur Benzindampf-Rückgewinnung in Tanklagern: Der Emissionsgrenzwert beträgt 50 mg C/Nm³ (ohne Methan) anstelle von 35 g/Nm³ (inklusive Methan).
- Automatische Verriegelungseinrichtungen an Tankstellen, die sicherstellen, dass das Umfüllen vom Tankwagen in den Tank nur erfolgen kann, wenn die Gaspandelleitung an den Tank angeschlossen ist.
- Die automatische Überwachung des Gasrückführungssystems von Tankstellen während des Betankens von Fahrzeugen ist verpflichtend vorgeschrieben.

7.3 DER VERKEHRSSSEKTOR MIT BLICK AUF DIE NO₂- UND FEINSTAUBREDUKTION

Die hier vorgestellten Beispiele der Länder und Regionen aus dem Verkehrssektor bilden das größte Handlungsfeld mit der breitesten Vielfalt an Maßnahmen zur Verringerung der Luftverschmutzung. Die meisten dieser Maßnahmen zur Schadstoffreduktion beinhalten einen Mix von Einzelmaßnahmen, die Infrastruktur, Fahrzeuge, Bestimmungen, Tätigkeiten, technologische und unternehmerische Innovation und Finanzierung betreffen. Über-

48. Switzerland's Fourth Biennial Report under the UNFCCC 2020: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CHE_BR4_2020.pdf.

49. Beispiele: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_31/.

50. Beispiele: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_20_1998/, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_21/.

dies werden Rechtsvorschriften in den meisten Fällen auf staatlicher Ebene und nicht speziell auf regionaler Ebene oder für den Alpenraum erlassen. Regionale Aktionspläne für saubere Luft oder nachhaltige urbane Mobilitätspläne spiegeln den ganzheitlichen Charakter dieser Kombination von Maßnahmen, die auf nationalen oder europäischen Vorschriften beruhen, wider.

Nichtsdestotrotz können die regionalen Behörden im Gebiet der Alpenkonvention bei Bedarf spezifische Maßnahmen einführen, um Situationen von Grenzwertüberschreitungen entgegenzuwirken und zu verhindern.

7.3.1 REGULIERUNGSMAßNAHMEN UND POLITIK ZUR VERKEHRSVERLAGERUNG VON DER STRAßE AUF DIE SCHIENE: PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR

7.3.1.1 Verkehrsverlagerung im Güterverkehr, alpenweit

Der alpenquerende Güterverkehr ist eine große Herausforderung in Bezug auf Luftqualität (und Lärmverschmutzung) für den inneren Alpenbogen. Vier alpenquerende Hauptverkehrsachsen

(Fréjus, Montblanc, Gotthard, Brenner) tragen maßgeblich zu den Luftschadstoffemissionen bei (Abbildung 34).

In allen Ländern und Regionen werden Anstrengungen unternommen, die Luftverschmutzung durch die Verkehrsverlagerung, sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr, auf nationaler Ebene und zum Teil in den Alpen zu reduzieren. Gerade im Alpenraum mit seinen engen Tälern und seinen begrenzten natürlichen Ressourcen könnte sich die Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene sehr positiv auf die Luftqualität auswirken. In den meisten Ländern und Regionen werden spezifische Maßnahmen zur Förderung der Intermodalität beschlossen, um den Schienenanteil im Güterverkehr zu erhöhen. Auch wenn diese Maßnahmen insbesondere außerhalb des Alpenraums getroffen und umgesetzt werden, sind ihre Auswirkungen im Sinne einer Emissionsminderung im Alpenraum in vielen Fällen deutlich spürbar.

Das aktualisierte Handbuch für Emissionsfaktoren liefert einen Vergleich der Emissionen zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr (Tabelle 1), welcher auch vom deutschen Umweltbundesamt (Umweltbundesamt Deutschland, UBA)⁵¹ aufge-



Abbildung 34: Verkehrswege über die Alpen (Alpine Traffic Observatory, 2020).

51. <https://www.hbefa.net/> und <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#emissionen-im-gueterverkehr-tabelle>.

griffen wurde. In der letzten Zeile wird ein durchschnittlicher Flächenverbrauchs­faktor (Hochgeschwindigkeitsstrecke der Eisenbahn versus Autobahn) angegeben

Luftschadstoff (g/tkm) / Flächenverbrauch (ohne Einheit)	LKW (>3.5t) ^(a)	Güterbahn ^(b)
NO _x	0,269	0,037
PM ^(c)	0,004	0,000
VOC ^(d)	0,037	0,003
CO ₂ -Äquiv.	112	18
Flächenverbrauchs­faktor ^(e)	3	1

Tabelle 11: Vergleich der Emissionen zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr. Bezugsjahr: 2018; g / tkm: Gramm um eine Tonne einen Kilometer weit zu bewegen, inkl. Umwandlungsprozesse

(a) Verschiedene Arten von LKW > 3,5 t bis 40 t, Sattelzüge, Lastwagen mit Anhänger, Lastzüge (b) Basis: Durchschnittlicher Strom-Mix in Deutschland (c) Ohne Abrieb von Reifen, Bremsen, Straßenbelag, Oberleitungen (d) Ohne Methan. (e) <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/flaechenverbrauch/>.

Die Grace-Studie von 2006 und die jüngere EUSALP-Studie (2017) zu den externen Kosten in Berggebieten ermöglichten darüber hinaus die Berechnung eines sogenannten alpinen „Bergfaktors“. Dieser berücksichtigt die Besonderheit von Berggebieten bei den externen Kosten der Umweltschädigung. Die Bergfaktoren für externe Kosten bilden das Verhältnis zwischen den externen Kosten in Berg- und Nicht-Berggebieten ab. Sie sind in

Abbildung 35 zusammengefasst. Der Zusatzfaktor für die externen Kosten durch Luftverschmutzung im Alpenraum liegt für den Straßenverkehr bei 4,2 im Vergleich zu 2,6 für den Schienenverkehr. Eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene kann sich in dieser Hinsicht in den Alpenregionen besonders positiv auswirken.

7.3.1.2 Verlagerungspolitik der Schweiz im alpenquerenden Güterverkehr

Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene ist seit 25 Jahren ein zentrales politisches Thema in der Schweiz. Das Verfassungsgesetz zum Schutz der Alpen wurde 1994 durch eine Volksinitiative eingeführt. Es folgten Bundesgesetze zur Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe. Das Verlagerungsgesetz legt die maximale Zahl der alpenquerenden Schwerverkehrsfahrten (650.000 pro Jahr), den Bau der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) und verschiedene flankierende Maßnahmen fest. Das gesamte Maßnahmenpaket wurde in das Landverkehrsabkommen zwischen der Schweiz und der EU aufgenommen.

Die Verlagerungspolitik umfasst zwei Aspekte: die Verkehrsverringerung durch eine Reduktion der Fahrten und damit verbunden die Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen. Push- und Pull-Maßnahmen sind:

- Ausbau der Schiene als Alternative zum Straßenverkehr = neue Eisenbahn-Basistunnel durch die Alpen;

Cost category	Present EUSALP study		GRACE study (2006)	
	Road transport	Rail transport	Road transport	Rail transport
Air pollution	4.2 (1.3 – 14.2)	2.6 (0.9 – 6.6)	5.25 (2.4 – 19.8)	3.5 (2.1 – 5.2)
Noise	4.1 (1.3 – 14.7)	3.0 (1.0 – 11.25)	5.0 (2.3 – 19.8)	4.15 (2.1 – 10.4)
Nature & landscape	1.3 (1.0 – 1.6)	1.4 (0.8 – 2.0)	n.a.*	n.a.*
Accidents	3.9	n.a.	n.a.	n.a.

Abbildung 35: Vergleich der Zusatzfaktoren für die externen Kosten des Straßen- und Schienenverkehrs im Alpenraum (Faksimile von Eusalp, 2017).

- Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (nach Gewicht, Entfernung und Emissionen);
- Anhebung des Gewichtslimits für LKW von 28 auf 40 Tonnen (Transporteffizienz);
- Maßnahmen der Bahnreform;
- Finanzielle Maßnahmen zur Förderung von Schienenfrachtsubventionen für den kombinierten Verkehr / Trassenpreise für Fracht, Terminalverbindungen.

Seit 2004 sind die relevanten Luftschadstoffe NO_2 und Feinstaub infolge verbesserter Fahrzeugtechnologie und Reduktion der Fahrzeugzahl deutlich zurückgegangen (Abbildung 36). Trotzdem führt die spezielle Topografie der Alpentäler dazu, dass die negativen Auswirkungen der Luftschadstoffe hier stärker ausfallen als in flachen Regionen und dass die Grenzwerte für NO_x und Feinstaub mancherorts überschritten werden. Die Erfahrung aus

nahezu 20 Jahren zeigt, dass die Kombination regulatorischer, technischer und finanzieller Maßnahmen, einschließlich Anreizen, im Rahmen einer gesamtheitlichen nachhaltigen Güterverkehrspolitik (Straße + Schiene) positive Auswirkungen auf die Luftqualität und die Transporteffizienz⁵² hatten.

7.3.1.3 Verkehrsverlagerung und Fahrverbote für ältere Fahrzeuge im alpenquerenden Güter- und Personenverkehr in Österreich

In Österreich gibt es wichtige Beispiele aus dem Verkehrsbereich, insbesondere im Bundesland Tirol, das durch die Transitstrecke Inntal- und Brennerautobahn (A171 und A13 von Kiefersfelden/Kufstein/Grenze zu Deutschland bis zum Brennerpass/italienische Grenze) in vielfacher Hinsicht stark betroffen ist. Infolge einer raschen Modernisierung der Fahrzeugflotte sind die NO_x -Emissionen von Schwerlastfahrzeugen trotz wachsenden Verkehrs

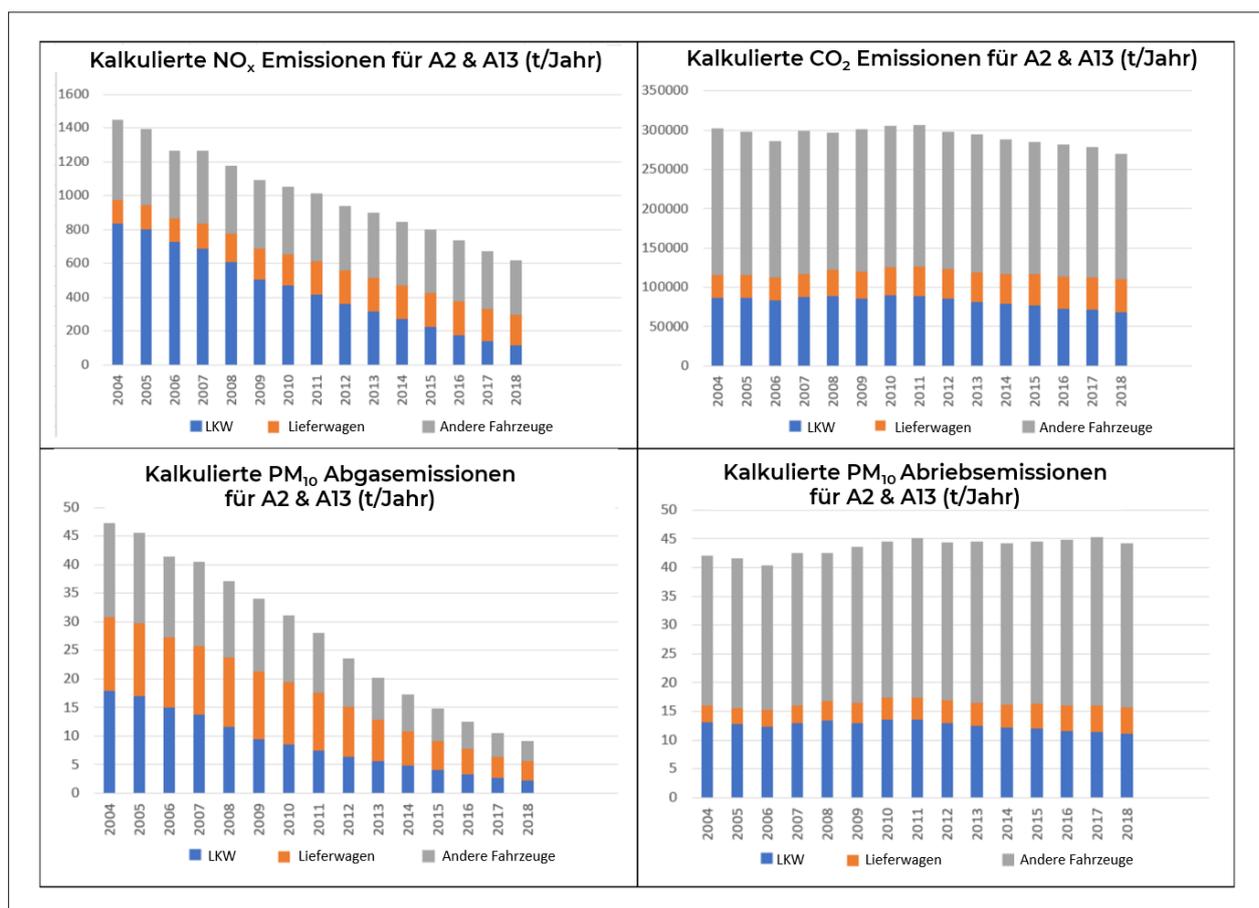


Abbildung 36: Luftschadstoff- und CO_2 -Emissionsentwicklung 2004-2018 auf den Schweizer Autobahnen A2 und A13 im Alpenraum.

52. Siehe Kapitel 3 (Umweltkapitel) in: Bericht über die Verkehrsverlagerung vom November 2019.

auf dieser Strecke deutlich gesunken, wie die roten und gelben Linien in Abbildung 37 zeigen.

Die wichtigsten Maßnahmen:

- 2006 wurde eine permanente Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h für PKW eingeführt, die danach durch eine variable, von der NO_2 -Belastung abhängige Geschwindigkeitsbeschränkung abgelöst wurde und 2014 wieder als fixes Tempolimit eingeführt wurde;
- 2007 wurden eine Reihe sektoraler Fahrverbote für bestimmte Gütergruppen eingeführt; diese wurden 2011 aufgehoben und 2016 als Anreiz zur Verlagerung des Transports auf die Schiene wieder eingeführt;
- Seit 2006 gilt zudem ein Nachtfahrverbot für LKW, von dem nur die neueste Euroklasse (der-

zeit Euro 6) ausgenommen ist;

- Für die A12 / 13 wurde ein stufenweises Fahrverbot für ältere LKW erlassen, und derzeit dürfen LKW bis zur Abgasklasse Euro 3 nicht mehr auf den Transitstrecken fahren.

Der Bau des neuen Brenner-Basistunnels ist Teil der Verlagerungspolitik zur Neuausrichtung der alpenquerenden Güterströme auf dem Skandinavien-Mittelmeer-Korridor.

7.3.1.4 Umweltzonen und Kaufprämien für Fahrzeuge, Frankreich

Die Einführung von Umweltzonen oder Niedrigemissionszonen (Low Emission Zones LEZ) betrifft Stadtverwaltungen und Privatpersonen. Eine Umweltzone ist ein Stadtgebiet, in dem Zufahrts-

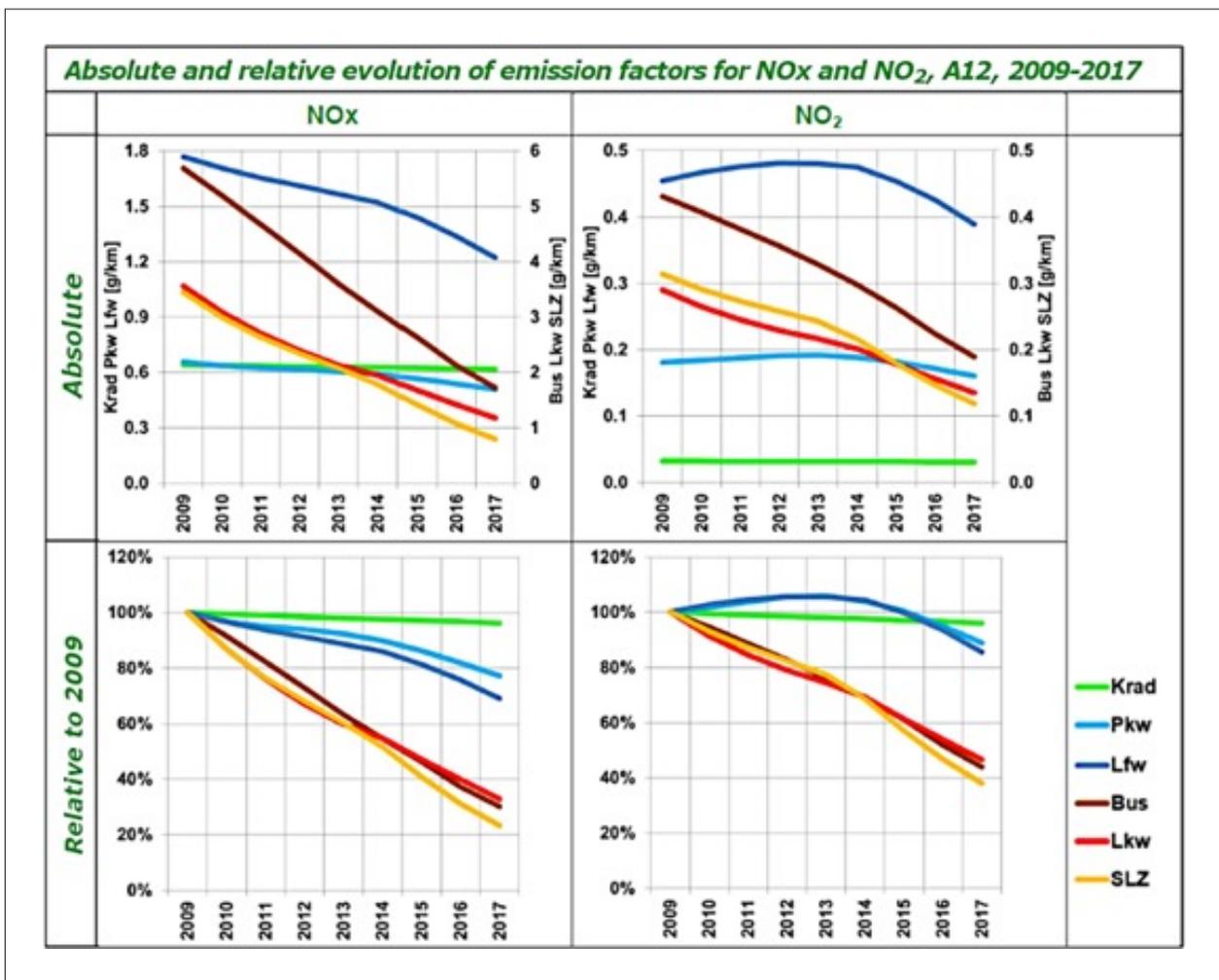


Figura 37: Verlauf der Emissionsfaktoren für NO_x und NO_2 auf der A12 in Österreich⁵³.

53. https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/umweltrecht/Luftseiten/Luft/Evaluation_der_LKW-Massnahmen_auf_der_A12_Euroklassenfahrverbot_Nachtfahrverbot_Sektorales_Fahrverbot.pdf.



beschränkungen für ältere Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß gelten. Derzeit gibt es 220 Umweltzonen in Europa⁵⁴. Die Fahrzeuge werden anhand einer Umweltplakette klassifiziert, die gut sichtbar am Fahrzeug angebracht werden muss und die für die Zufahrt in diese Zonen benötigt wird. Die französischen Fahrzeugklassen basieren auf der europäischen Klassifizierung (Euro 1-6). Eine Erkennungsplakette am Fahrzeug wird später eine automatische Zufahrtskontrolle in diesen Zonen ermöglichen.

Darüber hinaus gibt es eine Kaufprämie. Der Zuschuss wird BürgerInnen gewährt, die ihre alten Fahrzeuge gegen neue schadstoffärmere Modelle eintauschen (106 g CO₂/km im Schnitt, mindestens Euro 4). Dieser finanzielle Anreiz entspricht dem Ziel der Umweltzonen, die Schadstoffbelastung für die Bevölkerung zu senken.

Seit 2018 wurden dank der Kaufprämie 550.000 ältere Fahrzeuge durch neue ersetzt. Die Maßnahme ist also ein großer Erfolg (vorausgesetzt, dass die alten Fahrzeuge nicht in Ländern außerhalb der EU/EFTA weiter genutzt werden). Das ursprünglich für die Förderung veranschlagte Budget wurde bereits überschritten und das Ziel von 1 Million Fahrzeugen könnte vor 2022 erreicht werden. Anreize wie diese sensibilisieren die Menschen auch für die Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität und steigern so die Akzeptanz von Umweltzonen in Städten (in ganz Frankreich, nicht nur im Gebiet der Alpenkonvention).

Die Umweltzone des Großraums Grenoble zum Beispiel, wurde am 2. Mai 2019 auch in neun weiteren Gemeinden eingerichtet und bis Februar 2020 auf 27 Gemeinden ausgeweitet⁵⁵. Besonders umweltbelastende Fahrzeuge haben keinen Zugang zu diesen Gemeinden; Autobahnen sind ausgenommen. Ziel für 2026 ist es, dass die Emissionsgrenzwerte nicht mehr überschritten und die betroffenen 4.300 EinwohnerInnen besser geschützt werden.

Eine Umweltzone ist eine sehr wirksame und kostengünstige Maßnahme zur Verbesserung der Luftqualität, da sie den Verkehr und damit die Hauptquelle der Luftverschmutzung in Städten direkt begrenzt.

7.3.1.5 Ein Best-Practice-Beispiel aus dem maritimen Bereich: ein Emissionskontrollgebiet für Seeschiffe, Fürstentum Monaco

Die Einrichtung eines Emissionskontrollgebiets (Emission Control Area ECA) im Mittelmeer verleiht der von der Internationalen Schifffahrtsorganisation mit dem MARPOL-Übereinkommen (Internationales Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe) beschlossenen Strategie neuen Schwung. Diese Maßnahme wurde in der Nord- und Ostsee bereits erfolgreich umgesetzt. Die Öffentlichkeit und die lokale Politik sind sich der Auswirkungen der Seeschifffahrt auf die Luftqualität bewusst und stehen einem solchen Projekt positiv gegenüber. Der Erfolg des Projekts ist elementar, um die Luftqualität in dieser Region zu verbessern. Die Maßnahme sieht die Einrichtung eines gemeinsamen Kontrollgebiets zur Reduktion der SO₂- und NO_x-Emissionen im Mittelmeer vor. In Bezug auf die SO₂-Emissionen lautet das Ziel, den Schwefelgehalt in Treibstoffen auf 0,1 % zu senken.

Im Juli 2018 hat das Fürstentum Monaco beschlossen, die Verwendung von Schweröl als Schiffskraftstoff in seinen Hoheitsgewässern und Häfen drastisch zu begrenzen, um die Luftemissionen von Schiffen zu verringern. Die Regierung von Monaco ist damit der Einrichtung eines Emissionskontrollgebiets im Mittelmeer und der weltweiten Begrenzung des Schwefelgehalts in Schiffstreibstoffen zuvorgekommen. So müssen seit Juli 2018 alle Schiffe mit Dieselmotoren Treibstoff der Kategorie ISO-F-DMA verwenden, der dem Standard ISO 8217, gemeinhin als Diesel Marine Leger (DML) oder Marine Gas Oil (MGO) bekannt, entspricht und einen Schwefelmasseanteil von maximal 0,1 % hat. Andernfalls müssen die Schiffe mit einem Abgasreinigungssystem (Scrubber) mit geschlossenem Kreislauf ausgerüstet werden. Offene Abgasreinigungssysteme sind verboten, um die Auswirkungen auf die Meeresbiodiversität zu minimieren.

Frankreich und Italien befürworten die Einrichtung eines Emissionskontrollgebiets im Mittelmeer. Es wird erwartet, dass dadurch eine Reduktion von SO_x um 95 %, von PM um 80 %, von Black Carbon um 51 % und von NO_x um 5 % gegenüber 2015-2016 erreicht wird.

54. <https://urbanaccessregulations.eu/userhome/map>.

55. <https://www.grenoblealpesmetropole.fr/761-la-zone-a-faibles-emissions.htm>.

7.3.1.6 Dynamische Steuerungsmaßnahmen – BrennerLEC, Italien

Das Projekt Life BrennerLEC zielt darauf ab, einen emissionsarmen Korridor (Lower Emissions Corridor LEC) entlang der Brennerautobahn zur Verringerung der Luft- und Lärmbelastung sowie zum Schutz des Klimas zu schaffen⁵⁶.

Das Projekt startete im September 2016, es wurden zwei Testphasen durchgeführt, um die Auswirkungen einer dynamischen Geschwindigkeitsbegrenzung auf einigen Autobahnabschnitten zu überprüfen. Das jeweils gültige Tempolimit wurde auf verschiedenen Anzeigetafeln entlang der Autobahn ausgewiesen. Zusätzlich wurde ein halbautomatisches System zur Verkehrssteuerung eingeführt, um die möglichen Auswirkungen auf Lärm, Luftverschmutzung und Verkehrsfluss zu bewerten. In der ersten Testphase war die Anwendung von Tempolimits zwingend, während die Geschwindigkeitsbegrenzung in der zweiten Phase lediglich aus Gründen des Umweltschutzes empfohlen wurde; doch auch in dieser letzten Phase wurde noch ein signifikanter, wenngleich geringerer Effekt erzielt.

Die Ergebnisse bestätigen in jedem Fall die positive Wirkung durch die Anwendung dynamischer Tempolimits, die sowohl das Verkehrsaufkommen reduzieren als auch die Luftqualität verbessern. Die Ergebnisse, die hinsichtlich der Reduktion der Stickoxidbelastung am Autobahnrand erzielt wurden, stimmen mit der während der Versuche aufgezeichneten Geschwindigkeitsreduzierung überein. Die unter Anwendung empfohlener Geschwindigkeitsbegrenzungen gesammelten Versuchsdaten ergaben insbesondere einen Rückgang um etwa 7 % für NO und um etwa 2 - 3 % für NO₂ bei einer durchschnittlichen Reduktion der Geschwindigkeit von 5 km/h für Leichtfahrzeuge. Im Vergleich dazu wurde mit verpflichtenden Geschwindigkeitsbegrenzungen ein Rückgang um 10 % für beide Schadstoffe bei einer durchschnittlichen Reduktion der Geschwindigkeit von etwa 14 km/h für Leichtfahrzeuge gemessen.

7.3.2 MOBILITÄTSMANAGEMENT

Mobilitätsmanagement bezeichnet die Förderung des nachhaltigen Verkehrs und die Verringerung der PKW-Nutzung durch Änderungen der Sichtweisen und des Verhaltens der Verkehrsteilneh-

merInnen hinsichtlich des Umstiegs auf nachhaltige Mobilitätssysteme. Seit den 1990er Jahren findet dieser Ansatz zunehmende Beachtung im Rahmen der Bestrebungen, die Mobilitätsnachfrage gegen die negativen Auswirkungen auf die Umwelt abzuwägen. Mobilitätsmanagement ist häufig auch mit einer integrierten Flächennutzungsplanung verbunden, bei der Mobilitätsfragen als wichtige Grundlage jeder Raum- und Flächennutzungsplanung auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene gelten.

Die positive Wirkung des Mobilitätsmanagements als Ansatz zur Lösung von Verkehrsproblemen liegt unter anderem in:

- weniger Verkehrsstaus und dadurch geringere Luftverschmutzung und Lärmbelastung, weniger Zeitverlust und Stress für die FahrerInnen;
- eine größere Vielfalt an Mobilitätsangeboten und damit eine bessere Zugänglichkeit für alle;
- eine effizientere Nutzung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur und damit weniger öffentliche Ausgaben für unnötige Infrastruktur und externe Kostenfaktoren;
- ein besseres Flächennutzungsmanagement;
- Kosteneinsparungen für lokale Behörden, Institutionen, Unternehmen und Privatpersonen;
- gesünderer Lebensstil und weniger Stress dank aktiver Mobilitätsformen wie Zufußgehen und Radfahren.

Es werden Beispiele aus verschiedenen Bereichen vorgestellt: Mobilität für den Arbeits- und Schulweg, Sammeltransporte zu Großveranstaltungen, nachhaltige urbane Mobilitätspläne einschließlich nachhaltiger Stadtlogistik, Parkraummanagement, aktive Mobilität / Fahrradfahren und Bedarfsverkehr. Ein entsprechendes Unterkapitel über die Verknüpfung von Raum- und Mobilitätsplanung gibt einen Überblick über die positiven Effekte einer ganzheitlichen Planung und Umsetzung.

7.3.2.1 Eine Koordinationsstelle als institutioneller Rahmen für nachhaltige Mobilität, Schweiz

In der Schweiz wurde ein sektorübergreifendes Koordinierungsgremium für nachhaltige Mobilität eingerichtet, um innovative Projekte, die zur Senkung der verkehrsbedingten Emissionen bei-

56. <https://brennerlec.life/it/home>.



tragen, zu fördern und zu unterstützen. Die Koordinationsstelle für nachhaltige Mobilität (KOMO) ist die zentrale Anlauf- und Koordinationsstelle und somit erste Ansprechpartnerin des Bundes in Sachen nachhaltiger Mobilität. Sie fördert innovative Projekte mit einem finanziellen Beitrag und stellt als Wissensplattform Informationen über abgeschlossene und laufende Projekte zur Verfügung. Die KOMO wird von sechs Bundesstellen getragen.

In einer Vielzahl von Bereichen werden Projekte für nachhaltige Mobilität unterstützt⁵⁷:

- IT-Lösungen;
- Sharing Mobility;
- Freizeitmobilität;
- Fuß- und Radverkehr;
- Öffentlicher Verkehr;
- Effizienter Straßenverkehr;
- Güterverkehr und Logistik;
- Kinder und Jugendliche;
- Mobilitätsmanagement.

In diesem Zusammenhang gibt es viele Beispiele aus dem Mobilitätssektor, wie die „Quality Alliance Eco-Drive“ (QAED), die 1999 auf Initiative des Bundesamtes für Energie (BFE) und von Energie Schweiz gegründet wurde. Als Partnerorganisation fördert sie Best-Practice-Beispiele im Bereich EcoDrive und wirkt als Multiplikator für EcoDrive, indem sie FahrlehrerInnen und vor allem FlottenbetreiberInnen (Busse und LKW) in umweltschonendem und energieeffizientem Fahren schult.

Aufgrund der unterschiedlichen Emissionsfaktoren und verschiedenen Fahrzeugarten gibt es allerdings derzeit noch keine verlässlichen Aussagen darüber, wie viele Emissionen tatsächlich eingespart werden können.

7.3.2.2 SchweizMobil für autofreies Reisen quer durch das Land durch die Verlinkung von Tourismus, Freizeit, Unterkünften und Sehenswürdigkeiten, Schweiz

SchweizMobil ist das nationale Netzwerk, das 1998 für den nichtmotorisierten Individualverkehr, insbesondere für Freizeit und Tourismus ins Leben

gerufen wurde. Ein webbasierter Routenplaner und eine Smartphone-App⁵⁸ (seit 2012) für Sommer- und Wintertourismus, Kulturveranstaltungen, Museen, Sportgebiete, Unterkünfte usw. ermöglichen autofreies Reisen durch Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel (Bahn, Bus, Seilbahn, Boot usw.) und aktive Mobilität (Wandern und Radfahren).

Das Routennetz der Stiftung SchweizMobil wurde von zahlreichen Organisationen wie Schweiz Tourismus, Veloland Schweiz, Schweizer Wanderwege, Alpenverein, Inventar der historischen Verkehrswege u.a. entwickelt und unterstützt. Finanzielle Unterstützung gewähren der Bund (verschiedene Bundesämter), alle Kantone und das Fürstentum Liechtenstein.

Ziel ist eine autofreie Tourismus- und Freizeitmobilität durch ein leistungsfähiges öffentliches Verkehrsnetz und aktive Mobilität sowie die Förderung der Berg- und Grenzregionen der Schweiz durch die Schaffung von Mehrwerten in Form von touristischen Attraktionen, kulturellen Veranstaltungen und sportlichen Aktivitäten.

Der Beitrag zur Emissionsreduktion ist schwer zu bewerten, aber die Zahl der Buchungen und Reservierungen liegt bei über 1 Million pro Jahr.

7.3.2.3 Mobilitätskonzept in Kärnten, Österreich

Die hier beschriebenen Unternehmen sind mit rund 3000 Beschäftigten die größten Arbeitgeber in der Region um St. Michael ob Bleiburg in Unterkärnten. Als eine Vergrößerung des Betriebsstandorts anstand, entschied man sich, die MitarbeiterInnen durch ein Mobilitätsmanagement zum Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel und das Fahrrad zu motivieren.

Die Maßnahmen für das Mobilitätskonzept wurden vom Verkehrsverbund Kärnten im Auftrag des Landes Kärnten koordiniert. Bereits im Dezember 2017 wurde das S-Bahn-Angebot verbessert, damit den Beschäftigten mehr Zugverbindungen zur Verfügung stehen. Seit August 2018 verkehrt zwischen dem Bahnhof St. Michael und den Betriebsstandorten ein Elektro-Bus, der die Beschäftigten zum Betriebsgelände bringt. Der Elektro-Bus ersetzt den mit Diesel betriebenen Werkbus und ist in den Linienverkehr integriert, so dass er auch von der Be-

57. <https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/komo-projekte> (auf Deutsch, Französisch und Italienisch).

58. <https://www.schweizmobil.ch/de/sommer.html>.

völkerung genutzt werden kann. Die Beschäftigten erhalten vergünstigte Fahrkarten.

Um alle Beschäftigten, die in Radfahrtdistanz zum Arbeitsplatz wohnen, zum Umstieg zu bewegen, wurden Verbesserungen bei den Radverbindungen umgesetzt, und die Anzahl der Fahrradabstellplätze wurde deutlich erhöht. Zudem wurden am Bahnhof St. Michael absperrebare Fahrradboxen errichtet.

7.3.2.4 Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs durch kostenlose Beförderung von SchülerInnen, Zuschüsse für den ÖPNV, kostenlose Nutzung des ÖPNV an Wochenenden, Bayern, Deutschland

Bayern hat anhand konkreter Beispiele gezeigt, wie die Abhängigkeit vom eigenen Auto verringert und der öffentliche Verkehr für Einheimische und Gäste attraktiver gestaltet werden kann. Durch verschiedene Maßnahmen soll der motorisierte Individualverkehr reduziert und die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs gesteigert werden:

- **Kostenloses Beförderungsangebot für SchülerInnen (zur Vermeidung von „Elterntaxen“)**

Kinder und Jugendliche können die bestehenden Verkehrslinien besser nutzen, und der öffentliche Verkehr wird ausgebaut, um den PKW-Verkehr und die sogenannten Elterntaxen zu reduzieren. Komplexität und Kosten sind häufig genannte Gründe für die geringe Nutzung des bestehenden öffentlichen Verkehrsangebots (Busverkehr) durch Kinder und Jugendliche in ihrer Freizeit. Um diesem Problem zu begegnen, wurde dieses Ticketangebot gemeinsam mit dem Verkehrsunternehmen RVO⁵⁹ entwickelt, das den Großteil aller Buslinien im "Oberland" betreibt.

Im Landkreis Miesbach können SchülerInnen ohne Altersbegrenzung mit einer gültigen RVO-Schülerkarte oder einem gültigen Schülerschein seit dem 1. November 2019 die öffentlichen Verkehrsmittel kostenlos nutzen. Die RVO befördert SchülerInnen aus den beteiligten Landkreisen in allen Buslinien im Oberland. Kinder und Jugendliche mit einer RVO-Schülerkarte oder einem gültigen Schülerschein können bei BusfahrerInnen ein „Null-Euro-Monatsticket“ erwerben. Die RVO erhält dafür vom Landkreis 11

Euro pro Ticket. Zur Absicherung des Landkreises Miesbach wurde ein jährlicher Deckelbetrag von 23.000 Euro vereinbart. Die Kosten für die genutzten Null-Euro-Monatstickets werden genau auf die Buslinien umgelegt, auf denen sie erworben wurden. Die RVO erstellt vierteljährliche Statistiken über die Nutzerzahlen. Die Tickets gelten an Wochenenden, Feiertagen und in den Ferien den ganzen Tag. An Schultagen gelten sie ab 14.00 Uhr.

- **Großzügige Subventionierung des öffentlichen Verkehrs**

Zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs und der Luftverschmutzung und zur Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs verfolgt die Stadt Sonthofen das längerfristige Ziel, den Stadtbus (Linie 1 und Linie 2) attraktiver zu machen. In den vergangenen Jahren wurden bei den Stadtbuslinien jeweils mehr als 20.000 Fahrgäste gezählt. Die Stadt Sonthofen fördert den Stadtbus, indem sie durch einen finanziellen Zuschuss von ca. 3,50 Euro pro EinwohnerIn und Jahr günstige Tarifoptionen anbietet.

- **Kostenfreie Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel an Wochenenden und Feiertagen**

Damit UrlauberInnen und Gäste vom PKW auf öffentliche Verkehrsmittel umsteigen, bieten die Stadtwerke Bad Reichenhall die kostenlose Nutzung der Stadtbusse an Wochenenden und Feiertagen im Bedienungsgebiet Bad Reichenhall, Bayerisch Gmain und Piding an. In zahlreichen kleineren Städten und Gemeinden in Oberbayern (Bad Heilbrunn, Benediktbeuren, Bad Tölz, Wolfratshausen, Lenggries, Jachenau, Kochel am See, Garmisch-Partenkirchen und vielen mehr) ist die kostenlose Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel mit der (elektronischen) Gästekarte möglich. Dadurch werden viele private Autofahrten vermieden und die Emissionen von Luftschadstoffen und CO₂ reduziert. Ausflüge und Besichtigungen in dieser attraktiven Region mit schönen Bergen, Seen und Schlössern werden durch freies Fahren mit Bus und Bahn erleichtert (Allgäumbus im Schlosspark).

Übernachtungsgäste erhalten in der Regel eine Gästekarte, mit der sie öffentliche Verkehrsmittel kostenlos nutzen können. Das Gebiet, in dem die öffentlichen Verkehrsmittel frei sind, hängt von den jeweiligen Regelungen der Gemeinden

59. RVO: Regionalverkehr Oberbayern GmbH (DB Oberbayernbus).



ab. In Lenggries zum Beispiel, können Übernachtungsgäste und TagesurlauberInnen, die mit dem Zug anreisen, im Winter den kostenlosen Skibus für den Transfer zu den Skigebieten nutzen. Die Urlaubsdestinationen Garmisch-Partenkirchen, Grainau und Tiroler Zugspitz Arena bieten ihren Gästen mit der Zugspitz Arena Bayern-Tirol Card die kostenlose Nutzung von Bussen und anderen Verkehrsmitteln. Die Zugspitz Arena Bayern-Tirol Card wird von der Europäischen Union als Interreg-Projekt gefördert.

Mit der Gästekarte der Tourismusregion Berchtesgaden-Königssee fahren Übernachtungsgäste auf nahezu allen Linien der RVO (Regionalverkehr Oberbayern) und der BLB (Berchtesgadener Land Bahn) im Bereich der Tourismusregion Berchtesgaden-Königssee kostenlos. Auch Fahrten nach Salzburg (Buslinie 840) und Bad Reichenhall (Buslinie 841) sind mit der Gästekarte günstiger. Dieses Angebot gilt auf nahezu allen Strecken im südlichen Landkreis des Berchtesgadener Landes bis auf wenige Ausnahmen: Für die Kehlsteinlinie (Bus 849), den Rufbus Berchtesgaden und den ALM-Erlebnisbus (Bus 847) gelten spezielle Tarife; auf der Rossfeldlinie (Bus 848) fällt separat die Mautgebühr an. Für Fahrten nach Salzburg und Bad Reichenhall ist lediglich eine kleine Zuzahlung zu leisten.

Durch weniger Verkehr und Umweltverschmutzung werden diese Gebiete als Urlaubs- und Kurorte attraktiver. Sie bieten öffentliche Verkehrsmittel für die Anreise mit der Bahn und die Mobilität vor Ort in einer weitläufigen, gut vernetzten Region. Deshalb reisen immer mehr Gäste mit dem Zug an und nutzen die (kostenlosen) Mobilitätsangebote, was den Urlaubsdestinationen hilft, den PKW-Verkehr zu reduzieren und dem Parkplatzmangel entgegenzuwirken.

7.3.2.5 Mobilitätskonzept in Form eines S-Bahn-Projekts: Verkehrsbereich, Liechtenstein

Das Mobilitätskonzept 2030, das seit der Strategie für integrierte Raum- und Mobilitätsplanung von 2015 aktualisiert wurde, setzt auf strengere Regeln in der Raumplanung, Entwicklungsschwerpunkte und Verdichtung zur Vermeidung einer steigenden Mobilitätsnachfrage. Das Mobilitätskonzept konzentriert sich auch auf die bessere Nutzung des öffentlichen Verkehrs (Bus und Bahn), insbesondere mit dem neuen S-Bahn-Projekt FL-A-CH, das

Feldkirch (AT), Schaan (FL), Vaduz (FL) und Buchs (CH) verbinden soll und das Potenzial hat, BerufspendlerInnen zum Umstieg vom Auto auf die Bahn zu bewegen⁶⁰.

7.3.2.6 Förderung des Radverkehrs in Salzburg, Österreich

Radfahren ist die energie- und flächensparsamste Form der Fortbewegung. Ein großer Teil der täglichen Autofahrten könnte mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, zumal 50 % aller Autofahrten kürzer als 5 km sind. Mit der entsprechenden Infrastruktur ist das Fahrrad das schnellste und effizienteste Fortbewegungsmittel für kurze Strecken, da RadfahrerInnen in der Regel den direktesten Weg wählen und schneller vorankommen als der Autoverkehr.

Die Stadt Salzburg, Hauptstadt des gleichnamigen Bundeslandes mit 156.159 EinwohnerInnen, hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, die Bedingungen für den Radverkehr zu verbessern. Das Radwegenetz wird seit über 30 Jahren kontinuierlich ausgebaut. Mittlerweile gibt es 187 km Wege für RadfahrerInnen und über 6.000 Fahrradabstellanlagen. Mehr als zwei Drittel aller Einbahnstraßen können in der Gegenrichtung befahren werden. Das Radfahren ist in fast allen Fußgängerzonen und Busspuren erlaubt. Hauptziel der Radverkehrsstrategie 2025+ ist es, den Radfahranteil bis 2025 auf 24 % zu steigern. Das bedeutet 20.000 Autofahrten weniger pro Tag in Salzburg.

Wichtige Maßnahmen im Rahmen der Radverkehrsstrategie sind:

- Entwicklung eines sicheren und komfortablen Hauptradwegenetzes mit Optimierung des Winterdienstes;
- Implementierung des Salzburger Leihradsystems S-Bike in der 1. Ausbaustufe mit 50 Stationen und 500 Fahrrädern;
- Umsetzung des ersten Premium Radwegs ins Salzburger Umland und bis nach Freilassing (Bayern) mit einer neuen Brücke über die Saalach als Zeichen für die große Bedeutung des Radverkehrs, auch für die Verbindung der Stadt mit den umliegenden Gemeinden;
- Kampagnen und Öffentlichkeitsarbeit für mehr Radverkehr;

60. <https://www.mobilitaet2030.li/>.

- Nutzung aller Bundes- und EU-Förderprogramme zur Erhöhung des Budgets für Radverkehrsmaßnahmen.

Aufgrund der bereits sehr guten Infrastruktur werden in der Stadt Salzburg rund 100.000 Wege am Tag mit dem Rad zurückgelegt, das sind 20 % aller Wege. Aber mit einem Anteil von 45 % ist die Zahl der Autofahrten immer noch relativ hoch, während der öffentliche Verkehr mit 15 % aller Wege noch ein großes Wachstumspotenzial aufweist. 20 % der Wege in der Stadt Salzburg werden zu Fuß zurückgelegt.

7.3.2.7 Förderung des Umstiegs vom Auto auf das Fahrrad in Bayern, Deutschland

Durch die Reduktion des Autoverkehrs und der Umweltverschmutzung werden die Regionen attraktiver für UrlauberInnen und als Heilkurorte. Gleichzeitig wird dem Mangel an Parkplätzen entgegengewirkt. Die Gemeinden verfolgen verschiedene Ansätze, um den Umstieg vom Auto auf das Fahrrad zu fördern, wie zum Beispiel:

- Erstellung und Umsetzung eines Radverkehrskonzepts, das sichere und gut gekennzeichnete Wege in und zwischen den Gemeinden gewährleistet;
- Einrichtung von Leihradstationen;
- Ausbau der Radinfrastruktur.

Beispiele:

- Garmisch-Partenkirchen (Bayern): Radschnellweg Loisachtal mit 33 km Länge zwischen Murnau und Garmisch-Partenkirchen, ein Projekt im Rahmen des Bundeswettbewerbs „Klimaschutz im Radverkehr“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit); Jachenau (Bayern): Radweg zwischen Jachenau und Lenggries;
- Jachenau (Bayern): Fahrradverleihstationen, die zum Teil Ermäßigungen für Gästekarte-InhaberInnen vorsehen;
- Sonthofen (Bayern): Zwischen 2017 und 2019 wurde die Radinfrastruktur in Sonthofen ausgebaut. Bedeutende bauliche Maßnahmen wurden durchgeführt: Erneuerung der Schutz- und Radfahrstreifen, Markierung von Sicherheitsstreifen an Kreuzungen und Einmündungen mit Parkständen, Ergänzung fehlender Rad-

wegabschnitte, Bau eines Minikreisverkehrs, Errichtung von Fahrradabstellplätzen im Stadtzentrum. Zur Ausweitung des emissionsarmen bzw. emissionsfreien Lieferverkehrs hat die Stadt Sonthofen in den Jahren 2018-2020 zudem die Anschaffung von Lastenrädern mit 30 % des Kaufpreises gefördert. Für ihr Engagement wurde der Stadt Sonthofen am 22. November 2019 vom Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr die Auszeichnung „Fahrradfreundliche Kommune in Bayern“ verliehen.

7.3.2.8 Förderung smarterer Mobilität mit dem PostAuto zur Steigerung des Anteils des öffentlichen Verkehrs, Schweiz

Das führende Busunternehmen im öffentlichen Verkehr in der Schweiz fördert Smart-Mobility-Lösungen, indem die bestehende Mobilitätskette verbessert, Lücken geschlossen und spezifische Bedürfnisse berücksichtigt werden, die bisher aufgrund des Kostenfaktors nicht verfolgt wurden⁶¹. Das größte Potenzial für eine verstärkte Nutzung des öffentlichen Verkehrs liegt in ländlichen Gebieten sowie in Berg- und Tourismusregionen, da öffentliche Verkehrsmittel in urbanen und suburbanen Gebieten in der Regel bereits stark genutzt werden. Schwerpunkte sind:

- die Bereitstellung eines flexiblen öffentlichen Verkehrsangebots in Tourismusregionen je nach Wetter und Saison, mit der Möglichkeit, die Busdienste bei Bedarf sehr schnell zu verstärken;
- die Verbesserung der Mobilitätsqualität in kleineren Städten durch den Smart-Village-Ansatz (Beispiel Gemeinde Spiez im Berner Oberland), welcher Mobilität, lokales Gewerbe, Einzelhandel, gemeindenaher Dienstleistungen und Co-Working verbindet;
- die Entwicklung der multimodalen Mobilität für einen nahtlosen Übergang zwischen öffentlichem Verkehr, Individualverkehr und Taxi (von Tür zu Tür).

Der Ansatz beruht auf der Zusammenarbeit zahlreicher Akteure und der Integration des Programms „Mobilitätsmanagement in Unternehmen“ von Energie Schweiz für Gemeinden, um Mobilitäts- und Verhaltensmuster langfristig zu verändern.

61. Smart Mobility von PostAuto (<https://www.postauto.ch/de/file/134959/download?token=mE1KUth0>).



7.3.2.9 Förderung der sanften Mobilität, Fürstentum Monaco

Die Mobilität ist eine der größten Herausforderungen für die Regierung von Monaco, da sie sowohl die nachhaltige Entwicklung als auch die öffentliche Gesundheit beeinflusst. Sie spielt auch wirtschaftlich eine wichtige Rolle. Die Maßnahmen konzentrieren sich hauptsächlich auf die folgenden Schwerpunkte:

- Entwicklung eines „sauberen“ öffentlichen Nahverkehrs: Derzeit fahren alle Busse der Compagnie des Autobus de Monaco mit Diester, einem Biodiesel-Kraftstoff. Es laufen Tests mit dem Ziel, bis 2025 eine elektrische Busflotte zu etablieren;
- Entwicklung eines sauberen multimodalen Verkehrs: Carsharing-Angebot mit stationsunabhängigen Elektrofahrzeugen, E-Bike-Verleih im gesamten Fürstentum;
- Günstige Tarife, damit BesucherInnen die Parkhäuser (ca. 15.500 Plätze) am Eingang zum Fürstentum nutzen kombiniert mit der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel;
- Errichtung eines weit verzweigten Netzes öffentlicher Aufzüge und Rolltreppen, um die Fortbewegung zu Fuß im Stadtgebiet zu erleichtern;
- Finanzielle Förderung (Start 1994) für den Kauf von Fahrzeugen mit Elektro- oder Hybridantrieb. Ihr Anteil liegt derzeit bei etwa 5 % in Monaco;
- Entwicklung einer Smart Nation durch den Einsatz von Sensoren (darunter Sensoren für Luftqualität) und die Verbindung von Informationen zu Verkehr, lokalen Aktivitäten und Umweltindikatoren.

7.3.3 TECHNISCHE MAßNAHMEN: ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE / ANTRIEBSSYSTEME

Bei den technischen Maßnahmen im Mobilitätsbereich gewinnen innovative Kraftstoffe und Antriebssysteme mehr und mehr an Bedeutung, unterstützt durch die europäische Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (2014/94/EG, AFID). Die Mitgliedstaaten haben bis November 2016 ihre jeweiligen nationalen Strategierahmen für die Marktentwicklung alternativer Kraftstoffe und den entsprechenden Infrastrukturaufbau festgelegt.

Mit der Richtlinie „wird ein gemeinsamer Rahmen für Maßnahmen zum Aufbau einer Infrastruktur

für alternative Kraftstoffe in der Europäischen Union geschaffen, um die Abhängigkeit vom Erdöl so weit wie möglich zu verringern und die Umweltbelastung durch den Verkehr zu begrenzen. Diese Richtlinie soll emissionsarme Kraftstoffe wie Strom, Wasserstoff, komprimiertes Erdgas (CNG/Bio-CNG) oder Flüssigerdgas (LNG/Bio-LNG) fördern“ (Alpenkonvention, 2018b). Beispiele für die Förderung von mit alternativen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeugen auf lokaler und regionaler Ebene, einschließlich der E-Mobilität, wurden von vielen Stakeholdern eingebracht.

7.3.3.1 Energiestrategie 2050 / Energieeinsparung, Schweiz

Um die Schweiz auf die aktuellen Herausforderungen im Bereich der Energieversorgung und die wirtschaftlichen, ökologischen und technologischen Anforderungen und Bedürfnisse in der näheren Zukunft vorzubereiten, hat der Bundesrat die Energiestrategie 2050 erarbeitet. Die Schweiz will damit die neue Ausgangslage vorteilhaft nutzen und ihren hohen Versorgungsstandard erhalten. Gleichzeitig trägt die Strategie dazu bei, die energiebedingte Umweltbelastung der Schweiz zu reduzieren.

Die Energiestrategie wurde im Mai 2017 per Volksentscheid angenommen, erste Schritte für ihre Umsetzung wurden 2018 unternommen.

Die Energiestrategie 2050 sieht den schrittweisen Ausstieg der Schweiz aus der Kernenergie sowie die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien und gleichzeitig die Verringerung der Abhängigkeit von importierter Energie vor. Sie basiert hauptsächlich auf drei Säulen:

- Steigerung der Energieeffizienz (Gebäude, Mobilität, Industrie, Maschinen / Geräte);
- Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien (traditionelle erneuerbare Energie (Wasserkraft) und neue erneuerbare Energie (Solar- und Windkraft) durch Fördermaßnahmen und Verbesserung der gesetzlichen Rahmenbedingungen;
- schrittweiser Ausstieg aus der Kernenergie.

Was den Verkehrs- und Mobilitätsbereich betrifft, der für ein Drittel der CO₂-Emissionen und Luftschadstoffe verantwortlich ist, soll der Energieverbrauch bis 2050 in der Personenmobilität um 44 % und im Gütertransport um 25 % gesenkt werden.

Die Instrumente zur Erreichung dieser Ziele sind: Steigerung der Energieeffizienz, Einsatz alternati-

ver Kraftstoffe und Antriebssysteme, Integration der dezentralen erneuerbaren Energieerzeugung, Leichtbau und experimentelle Aspekte neuer urbaner Konzepte sowie Reduktion der Verkehrsnachfrage durch die Entwicklung neuer sozialer und wirtschaftlicher Kompetenzen⁶².

Aufgrund des erklärten Ziels, den Energieverbrauch um 44 % zu senken, formulierte der Branchenverband Auto-Schweiz sein ehrgeiziges „10/20“-Ziel. Das bedeutet, dass im Jahr 2020 jeder zehnte in der Schweiz und in Liechtenstein neu zugelassene Personenkraftwagen ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug (BEV) oder Plug-in-Hybrid (PHEV) sein soll. Diese Vorgabe ist äußerst ambitioniert, wenn man bedenkt, dass der Anteil dieser Fahrzeuge bei den Neuzulassungen des Jahres 2019 nur 5,6 % betrug⁶³.

7.3.3.2 Eingehende Analyse der Förderung nicht-fossiler Verkehrsträger im öffentlichen Straßenverkehr, Schweiz

Im März 2019 nahm der Nationalrat (die große Parlamentskammer) der Schweiz das Postulat 19.300 „Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Straßen zum Durchbruch verhelfen“ an. Der Bundesrat (die Regierung) befürwortete die Annahme und erachtete es als richtig, eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse von Maßnahmen zur Förderung von Bussen mit alternativen Antrieben (vor allem von E-Bussen) vorzunehmen und die bereits bestehenden Fördermaßnahmen aufzuzeigen⁶⁴.

Zweck des Prüfberichts sind eine umfassende Darstellung des gegenwärtigen und zukünftigen Potenzials und Nutzens einer Umstellung der bestehenden Dieselbusse auf alternative Antriebe sowie eine transparente Darstellung aller gegenwärtigen und zukünftigen Kosten/Mehrkosten. Ebenfalls sollen bestehende und mögliche neue Fördermaßnahmen auf Bundesebene aufgezeigt werden. Um ein breit unterstütztes und akzeptiertes Ergebnis zu erzielen, wurde eine Begleitgruppe eingerichtet, in der alle involvierten Akteure vertreten sind. Ziel war es, die Untersuchung bis Juni 2020 abzuschließen und den Prüfbericht mit Vorschlägen im Herbst 2020 vorzulegen.

Ein besonderer Fokus wird auf den ländlichen und alpinen Raum gelegt, wo das Einsatzpotenzial ge-

ringer ist und die Herausforderungen (Wetterbedingungen, Höhenunterschiede, große Entfernungen, begrenzte Finanzkraft usw.) größer sind. Der Begleitgruppe gehören daher auch VertreterInnen von Busunternehmen aus dem ländlichen Raum (Regionalverkehr Bern-Solothurn RBS und PostAuto) und dem Alpenraum (Engadin Bus) an. Die technischen Einsatzmöglichkeiten und die damit verbundenen Mehrkosten werden für verschiedene Beispielstrecken in Clustern untersucht, unter anderem auch für anspruchsvolle Land- und Bergstraßen. Die Auswertung von Pilotprojekten hat bereits gezeigt, dass der Mangel an Ladestationen für Elektrofahrzeuge (und der entsprechenden Infrastruktur, d.h. eine ausreichend starke Stromversorgung) ein ernsthaftes Problem in ländlichen und alpinen Regionen darstellt, welches es ebenfalls zu lösen gilt.

7.3.3.3 Förderung der E-Mobilität, Bayern, Deutschland

Umstellung des kommunalen Fuhrparks auf Elektro- und Hybridfahrzeuge

Ziel dieser Strategie ist es, kommunale Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch Elektro- oder Hybridfahrzeuge zu ersetzen. So stellt zum Beispiel die Stadt Sonthofen (Bayern) ihren Fuhrpark bereits seit 2016 sukzessive auf E-Mobilität um. Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb ersetzen ausgediente Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Das gilt sowohl für Personenkraftwagen als auch für Nutzfahrzeuge. Drei alte Fahrzeuge wurden bereits ersetzt. Die Elektrofahrzeuge werden mit zertifiziertem Ökostrom (Wasserkraft aus dem Alpenraum) betrieben.

Dafür gibt es eine eigene Ladestation für kommunale Fahrzeuge (Wallboxes). Der überwiegende Teil der Dienstfahrten wird im Stadtgebiet unternommen. Dafür genügen die Reichweiten der elektrobetriebenen Fahrzeuge. E-Fahrzeuge sind nahezu emissionsfrei auf der Straße unterwegs und verringern die Lärmbelastung in der Innenstadt. Die E-Fahrzeuge sind zudem deutlich kostengünstiger im Betrieb als vergleichbare konventionelle Fahrzeuge.

Die Umstellung wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der Nationalen Klimainitiative aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert.

62. <http://www.scoer-soe.ch/en/home/>.

63. <https://www.auto.swiss/themen/alternative-antriebe/>.

64. <https://www.parlament.ch/de/suche#k=Postulat%2019.3000>.

Kommunales E-Carsharing-Angebot und Errichtung neuer Ladesäulen

Durch die Bereitstellung eines attraktiven CO₂-neutralen Carsharing-Angebots in der Gemeinde können BürgerInnen, Handel und Gewerbe dazu bewogen werden, auf Zweitfahrzeuge zu verzichten. Das bedeutet einen erheblichen Kostenvorteil, da rund 2.000 Euro pro Fahrzeug und Jahr eingespart, der Bestand an Zweitwagen in der Gemeinde verringert und die Zahl der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor reduziert werden können.

Die Stadt Fischbachau (Bayern) fördert die E-Mobilität durch die Errichtung neuer Ladesäulen für Elektrofahrzeuge.

Ein weiterer Ansatz besteht darin, die Nutzung von Elektrofahrzeugen gegenüber Verbrennern durch den Aufbau und Betrieb einer intelligenten Ladeinfrastruktur zu verbessern. Garmisch-Partenkirchen (Bayern) beteiligte sich als Modellgemeinde an dem Projekt „Intelligente Ladeinfrastruktur“, das zwischen 2011 und 2016 vom Freistaat Bayern finanziert wurde. Ziel war es, eine barrierefreie Ladeinfrastruktur (Möglichkeit der Implementierung von Ladesystemen unterschiedlicher Hersteller; Vernetzung unterschiedlicher Ladeinfrastruktur-Insellösungen usw.) mit Schnittstellen zur Einbindung in ein kommunales Smart Grid mit system-

übergreifenden Prozessen und Datenflüssen zu entwickeln.

In der Stadt Sonthofen können E-Autos bereits seit 2011 an öffentlichen Ladesäulen geladen werden. Die Ladesäulen befinden sich zentral in der Innenstadt. Sonthofen erweitert und modernisiert die Ladeinfrastruktur stetig. Ausgewiesene Parkflächen in der Innenstadt sind für E-Fahrzeuge reserviert. Sonthofen verfügt heute über neun moderne öffentliche Normalladepunkte und liegt damit sogar über den Vorgaben der EU-AFID-Richtlinie. Dabei arbeitet die Stadt eng mit den Allgäuer Kraftwerken zusammen. Der Aufbau wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Landkreise Berchtesgadener Land und Traunstein wurde ein Elektromobilitätskonzept zur Stärkung der E-Mobilität in der Region erarbeitet, das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert wurde. Zentraler Bestandteil ist dabei die Konzipierung einer leistungsstarken und bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge an zentralen Orten und touristischen Destinationen für Beschäftigte, Hotels, Wohnanlagen und Wohngebiete. Für alle 50 Gemeinden wurden die Anzahl und die Standorte der Ladesäulen festgelegt.

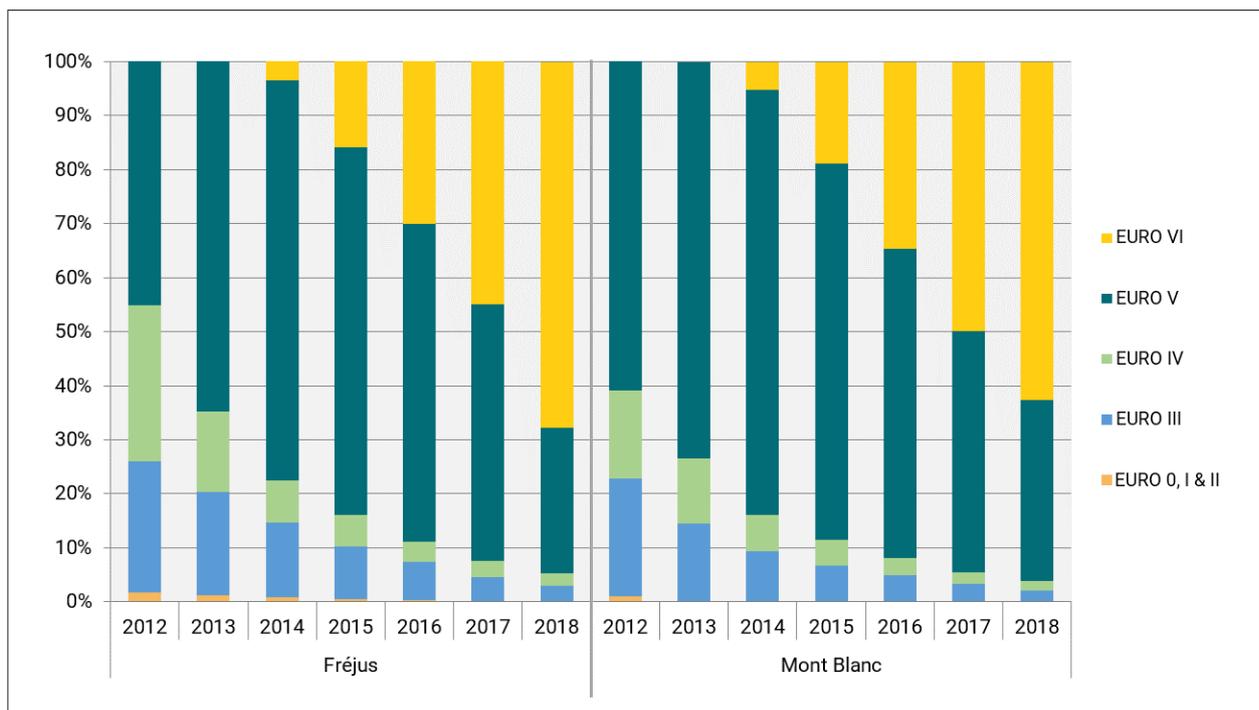


Abbildung 38: Beobachtung und Analyse der alpenquerenden Güterverkehrsströme in zwei transalpinen Tunneln (Alpine Traffic Observatory, 2020). Euro 0 bis VI sind die EU-Schadstoffklassen für LKW: Das NO_x-Niveau zum Beispiel sank von 14,4 g/kWh auf 0,4 g/kWh zwischen Euro 0 und Euro VI (Alpine Traffic Observatory).

7.3.4 ENTWICKLUNG DES STRAßENGÜTERVERKEHRS

Der Vorsitzende der Arbeitsgruppe Verkehr der Alpenkonvention hat die Entwicklung des Straßengüterverkehrs in den Alpen analysiert.

Hinsichtlich der Luftverschmutzung haben die Euro-Standards zu einer eindeutigen Verbesserung im Straßenverkehr geführt. Die Statistiken für die zwei französisch-italienischen Tunnel sind in Abbildung 38 dargestellt.

Angesichts des raschen Fortschritts, mit dem der LKW-Fuhrpark erneuert wird, kann realistischerweise davon ausgegangen werden, dass in fünf Jahren alle Schwerlastfahrzeuge, die auf alpenquerenden Straßen unterwegs sind, dem Standard Euro 6 entsprechen werden. Und die Fahrzeuge im Kobotage-Verkehr werden diesen Standard wenig später erreichen. Das hätte eine Verminderung der NO_x - und Feinstaubemissionen um rund 25 % zur Folge. Der Anteil der Euro 6-Fahrzeuge ist in Österreich und der Schweiz sogar noch höher, sodass dort das Verbesserungspotential geringer ist.

Mittelfristig kann noch keine verlässliche Prognose getroffen werden. Doch einige „schwache Signale“ sind wahrnehmbar. Die Elektrifizierung von LKW ist kein unerreichbares Ziel mehr. Nach jüngsten Untersuchungen des französischen Ministeriums für den ökologischen Wandel liegen die Kosten eines elektrisch betriebenen 40-Tonnen-LKW (in t/km) für den Spediteur heute sehr nahe an denen eines Diesel-LKW, während Elektro-LKW 2017 noch wesentlich

teurer waren. Die Möglichkeit, dass 2025-2030 Batterien mit 300 Wh/kg und 2040 Batterien mit 400 bis 500 Wh/kg produziert werden, scheint realistisch. Mit einem 4-Tonnen-Akku hätte ein Sattelschlepper dann eine Reichweite von 800 km und könnte so den transalpinen Markt bedienen.

Die verbleibende lokale Verschmutzung durch den LKW-Verkehr wäre dann hauptsächlich auf Reifen- und Straßenabrieb sowie Bremsstäube zurückzuführen. In Frankreich tragen diese Schätzungen zufolge mindestens 40 % zur Feinstaubbelastung durch den Straßenverkehr bei. Auch bei einem voll elektrifizierten LKW-Fuhrpark würde diese Belastung nach heutigem Stand bestehen bleiben. Es gibt aber mindestens zwei Gründe, die für einen Rückgang dieser Belastung sprechen: Einerseits bremsen Elektrofahrzeuge zum Teil rein elektrisch ohne Kontakt, und andererseits wird aktuell an vielversprechenden Technologien geforscht (biologisch abbaubare Reifenbeschichtung, Partikelstaubsauger vor den Bremsen ...).

Sicher ist, dass die Auflagen und Vorschriften bezüglich Luftverunreinigung und globaler Umweltverschmutzung verschärft werden. Nach Euro 6 soll ab 2025 eine neue Euro 7-Abgasnorm gelten. Mittelfristig ist daher zu erwarten, dass durch den verstärkten und wirtschaftlich rentablen Einsatz von Elektroantrieben bei schweren Nutzfahrzeugen die Feinstaubbelastung um zwei Drittel gegenüber Euro 6 zurückgehen wird. Das wäre ein Viertel der Luftverschmutzung, die heute durch den Straßengüterverkehr verursacht wird.

7.4 INTEGRIERTE PLANUNG: MOBILITÄTSPLANUNG UND RAUMPLANUNG

Die Verbindung zwischen Mobilitätsplanung und Raum- bzw. Flächennutzungsplanung ist von grundlegender Bedeutung für die künftige Verkehrsnachfrage im privaten und öffentlichen Verkehr und im Personen- und Güterverkehr. Unabhängig von der geografischen Region tragen integrierte Planungsprozesse auf allen Verwaltungsebenen (lokal, regional, national und supranational) zu einem effizienten Mobilitätssystem

bei und gewährleisten gleichzeitig einen größtmöglichen Schutz der natürlichen Ressourcen und eine Verringerung der negativen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit.

In der EU verlangt die Luftreinhalte-Richtlinie die Erstellung von Luftreinhalte- oder Aktionsplänen in Gebieten, in denen die Grenzwerte für Luftqualität überschritten werden. In der Schweiz sind nach der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) und dem Umweltschutzgesetz (USG) alle Kantone verpflichtet, einen Maßnahmenplan zur Luftreinhaltung auszuarbeiten. Alle Kantone im Perimeter der Alpenkonvention haben einen solchen Plan verabschie-



det. Ein Maßnahmenplan zur Luftreinhaltung beschreibt in der Regel die Emissionsquellen, die eine übermäßige Luftbelastung verursachen, und enthält Maßnahmen zu deren Verminderung oder Beseitigung. Außerdem quantifiziert er die Wirkung der einzelnen Maßnahmen und legt Fristen für deren Einführung und Durchführung fest.

7.4.1.1 Das Raumkonzept Schweiz, Schweiz

Das 2012 veröffentlichte Raumkonzept Schweiz legt in den Bereichen Verkehr und Mobilität die folgenden Hauptziele fest:

- Die Schweiz betreibt ein nachhaltiges, sicheres und zuverlässiges Verkehrssystem für den Personen- und Güterverkehr;
- Die Kosten für Betrieb, Unterhalt und Erneuerung sind tragbar;
- Die Bevölkerung und die Wirtschaft der Schweiz profitieren von einer guten internationalen und regionalen Erreichbarkeit. Diese stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der Regionen und den Zusammenhalt der Landesteile;
- Das Verkehrssystem fördert die Siedlungsentwicklung nach innen und reduziert die negativen Auswirkungen der Mobilität auf Wohnqualität, Energieverbrauch und Landschaft;
- Die Schweizer Bevölkerung profitiert von kurzen Wegen zwischen Arbeit, Wohnen und Freizeit;
- Starke ländliche Zentren mit Gewerbe und Industrie tragen dazu bei, die Pendlerbewegungen zu reduzieren;
- In den Planungsverfahren sollen Entwicklungsschwerpunkte sicherstellen, dass neue Arbeitsplätze, Betriebe, Schulen sowie Freizeit- und Sporteinrichtungen an geeigneten Standorten konzentriert werden, um den Pendlerverkehr zu reduzieren und die Mobilität durch Nutzung der bestehenden (und erweiterten) Verkehrsinfrastruktur zu steuern sowie Zersiedlung und zusätzlichen Mobilitätsbedarf im Individual- wie auch im öffentlichen Verkehr zu vermeiden.

Für neue Wohn- oder Siedlungsgebiete, Gewerbegebiete, Arbeitsplätze, Einkaufszentren, Freizeit- und Sportstätten mit verkehrintensiven Nutzungen (>2000 Fahrzeugbewegungen pro Tag) muss

auf allen Planungsebenen (lokal, regional und national) im Vorfeld ein entsprechendes Mobilitätskonzept erstellt werden. Dieses soll sicherstellen, dass der erwartete Mobilitätsbedarf größtenteils mit nachhaltigen Verkehrsmitteln, z.B. mit öffentlichem Verkehr oder sanfter Mobilität (Fahrrad oder zu Fuß) abgedeckt werden kann, bevor das Vorhaben genehmigt wird. Für diese verkehrintensiven Vorhaben wird in den meisten Fällen ein Fahrleistungsmodell erstellt, in dem der Bauherr / die Bauherrin darlegt, wie das durch das Vorhaben generierte Verkehrsaufkommen auf den öffentlichen und privaten Verkehr aufgeteilt werden kann; meistens geschieht dies durch einen Ausbau des öffentlichen Verkehrs (Infrastruktur und Betrieb), sanfte Mobilität und zusätzlichen privaten Autoverkehr. Die Summe aus den zusätzlichen Emissionen, die nach dem Modell durch den Verkehr verursacht werden, und den bestehenden Immissionen muss innerhalb der Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) liegen⁶⁵.

Im Rahmen einer Vereinbarung zwischen dem / der BauherrIn / InvestorIn und der zuständigen kommunalen oder kantonalen Behörde wird die berechnete Verkehrsaufteilung überwacht und je nachdem, ob die Zahlen erreicht werden oder nicht, mit einem Bonus/Malus-System versehen. Seit seiner Einführung im Jahr 2001 nutzten viele Gemeinden das Berner Fahrleistungsmodell als Planungsinstrument. Als weiterer Schritt wurden die Grundlagen des Modells in die kantonalen Raum- und Mobilitätspläne (kantonale Richtplanung) integriert.

Bund, Kantone, Städte und Gemeinden stimmen die Planung der Verkehrsinfrastruktur mit ihren räumlichen Entwicklungsvorstellungen ab.

Das *Raumkonzept Schweiz*⁶⁶ eignet sich speziell für die Raumentwicklung in den Alpen:

- Förderung einer nachhaltigen Entwicklung der Seitentäler mit ihrer Kulturlandschaft;
- die Wohnbevölkerung soll in den noch funktionsfähigen Räumen der Seitentäler verbleiben können;
- dazu muss ein ausreichendes Grundangebot an Gütern, Dienstleistungen und Arbeitsplätzen in den alpinen touristischen Gebieten und den ländlichen Zentren sichergestellt werden;

65. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html>

66. <https://www.are.admin.ch/are/de/home/raumentwicklung-und-raumplanung/strategie-und-planung/raumkonzept-schweiz.html>

- regionale Strategien zur Raumentwicklung sind auf diese Schwerpunkte auszurichten;
- dabei gilt es, eine optimale Kombination von natur- und kulturnahem Tourismus, Landwirtschaft und Gewerbe anzustreben;
- traditionelle Kulturlandschaften mit ihren typischen Siedlungsformen und ihrer Verkehrsgeschichte sollen gepflegt, verantwortungsvoll genutzt und weiterentwickelt werden.

7.4.1.2 Ein integrierter Luftreinhalteplan, Frankreich

In Frankreich gibt es bestimmte Regionen, die besonders anfällig für Luftverschmutzung sind und in denen zusätzliche Maßnahmenpläne zur Verbesserung der Luftqualität umgesetzt werden. In den Alpen ist das Arve-Tal das beste Beispiel für diese Pläne. Aufgrund der Topografie der Region ist die Luftverschmutzung dort ein Problem für die Menschen. Deshalb wurde 2012 ein Luftreinhalteplan⁶⁷ beschlossen. Alle fünf Jahre wird der Plan überprüft und überarbeitet. Der 2019 verabschiedete Plan sieht unter anderem folgende lokale Maßnahmen vor:

Energie:

- „Fond Air Gaz“: Förderung für private Haushalte, die ihre Holzheizungen durch Erdgasheizungen ersetzen, die deutlich weniger Feinstaub ausstoßen.
- Verbot offener Kamine (wesentliche Quelle von Feinstaub): Der Betrieb offener Kamine ist per Dekret untersagt.
- Entwicklung der Biogaserzeugung: Stärkere Nutzung verschiedener Arten von Abfällen zur Erzeugung von grüner Energie.

Landwirtschaft:

- Information von LandwirtInnen über Best-Practice-Beispiele zur Reduzierung der Schadstoffemissionen: Information und Sensibilisierung für die Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Luftqualität und für neue umweltfreundliche Methoden.

Stadtentwicklung:

- Berücksichtigung der Luftqualität in der Stadt-

planung, um die Entstehung verdichteter urbaner Zentren zu fördern; Wärmenetzentwicklung.

Verkehr:

- Förderung von Eco-drive und Carpooling: Förderung eines Netzes von Carpooling-Parkplätzen, das auf den Bedarf in spärlich besiedelten Gebieten ausgerichtet ist; Entwicklung einer Plattform zur Vernetzung der Carpooling-Nutzer.
- Erhöhung der Kapazität und Effizienz des öffentlichen Verkehrs und Förderung der aktiven Mobilität.
- verstärkte Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene zur Entlastung des Straßenverkehrs in der Region.

7.4.1.3 Ein gemeinsames regionales Programm für saubere Luft in verschiedenen Bereichen, bspw. Verkehr, Italien

Die dicht besiedelten Regionen und Städte in Nord- und Mittelitalien, die eine hohe Luftverschmutzung aufweisen, arbeiten in einem gemeinsamen Programm für saubere Luft zusammen, das als Life PrepAir⁶⁸ bekannt ist. Das von der Europäischen Union kofinanzierte Programm wird zwischen 2017 und 2024 unter der Federführung der Region Emilia Romagna mit 17 Partnern durchgeführt. Maßnahmen sind in den folgenden Bereichen geplant: Landwirtschaft, Biomasseverbrennung, Verkehr, Energie, Emissionsbeurteilung, Kommunikation und Capacity Building.

Wesentliche Maßnahmen im Verkehrsbereich sind:

- **Förderung von aktiver Mobilität/Radverkehr**

Die Projektpartner fördern die aktive Mobilität und den Radverkehr durch verschiedene Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen territorialen und planerischen Besonderheiten. Zu den Maßnahmen zählen Schulungen für Verwaltungsmitarbeitende, BürgerInnen und SchülerInnen zur Veränderung und Verbesserung der Planung und Nutzung des Radverkehrs; Erhebung zur vorhandenen Radinfrastruktur an Bahnhöfen; Verbesserung der Radinfrastruktur;

67. https://www.haute-savoie.gouv.fr/content/download/15754/92617/file/ppa_20120305.pdf.

68. <https://www.lifeprepare.eu/?lang=en>.



Geotracking von Radstrecken und Fahrrad-Navigators; Modal-Split-Analyse.

- **Demo-Aktion zur Umrüstung von Diesel- auf Elektroantrieb**

Nach Auswahl der längsten Busstrecke im Projektgebiet wird eine Machbarkeitsstudie für die Umrüstung eines Dieselmotors durchgeführt und der Prototyp eines modularen Elektroantriebssystems für Stadtbusse gebaut, der dann unter realen Betriebsbedingungen auf einer öffentlichen Straße getestet werden soll.

- **Rationalisierung der Güterlogistik über kurze Entfernungen in städtischen und stadtnahen Gebieten**

Rationalisierung der Güterlogistik über kurze Entfernungen in städtischen Gebieten, hauptsächlich Innenstädten, sowie des Kurzstreckengüterverkehrs im außerstädtischen / stadtnahen Bereich durch Ermittlung des am stärksten verbreiteten Logistikmodells und Durchführung einer Pilotstudie zum Güterumschlag.

- **Entwicklung von ICT-Instrumenten im öffentlichen Verkehr**

Ziel der vorgeschlagenen Maßnahme ist die Konzipierung und Entwicklung eines neuen multimodalen „offenen“ und integrierten Reiseplanungs-tools für den öffentlichen Regionalverkehr über Web und App.

- **Allgemeine Förderung der Elektromobilität**

Zusammenarbeit mit und Sensibilisierung von öffentlichen und privaten Stakeholdern zur Förderung und Verbreitung von E-Mobilität, auch auf politischer Ebene. Geplant sind Kurse für Mitarbeitende der Verwaltung, PraktikerInnen und MobilitätsmanagerInnen in Verbindung mit Konsultationen und Studien.

- **EcoDrive-Kurse**

Der als EcoDrive bezeichnete, umweltbewusste Fahrstil kann zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Fahrzeugemissionen beitragen, da diese stark vom Fahrverhalten abhängen. Die Maßnahme richtet sich an BusfahrerInnen, TaxifahrerInnen und Fahrschulen und sieht ein Programm von EcoDrive-Kursen, die Entwicklung und Umsetzung technischer Lösungen sowie die Aufnahme von EcoDrive in die Fahrausbildung und Fahrprüfung vor.

7.5 REDUKTION DER AMMONIAKEMISSIONEN AUS DER LANDWIRTSCHAFT IN BERGGEBIETEN

7.5.1.1 Reduktion der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen, Schweiz

Im Rahmen ihrer Agrarpolitik 2014-2017 hat die Schweiz das Ziel formuliert, die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft bis 2017 auf 41.000 t pro Jahr zu senken. In der Botschaft zu einem Bundesbeschluss über die finanziellen Mittel für die Landwirtschaft in den Jahren 2018-2021 wurde festgelegt, dass die in der Agrarpolitik 2014-2017 definierten Ziele als Etappenziele bis 2021 weiterverfolgt werden sollen. Das zeitlich nicht terminierte Umweltziel in Bezug auf die Ammoniakemissionen lautet 25.000 t pro Jahr.

Rund 93 % der gesamtschweizerischen Ammoniakemissionen stammen aus der Landwirtschaft. Der Anteil der Tierhaltung daran beträgt 93 %, und davon entfallen wiederum 78 % auf die Rinderhaltung. Im europäischen Vergleich verzeichnet die Schweiz nach den Niederlanden die zweithöchsten Ammoniakemissionen pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche. Die Gründe für diese hohen Emissionen sind die in der Schweiz weit verbreiteten Laufställe und Laufhöfe sowie der hohe Tierbesatz. Zwischen 1990 und 2015 sanken die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft in der Schweiz um 18 %, was vor allem auf den Rückgang der Tierbestände zwischen 1990 bis 2000 zurückzuführen ist. In dieser Zeit sanken die Bestände in der Schweiz um 115.000 Tiere auf rund 1.337.000 Tiere. Seither bleiben die Emissionen auf hohem Niveau stabil. Zwischen 2007 und 2017 gingen die Tierbestände nur um 1,8 % zurück. Um dem Ziel von 41.000 t pro Jahr bis 2017 näher zu kommen, hätten die Tierbestände im entsprechenden Zeitraum um mehr als 130.000 Tiere (rund 10 % des Bestands von 2007) reduziert werden müssen.

Um die Auswirkungen der Ammoniakemissionen auf die Umwelt und die Luftqualität zu verringern, unterstützte die Schweizer Regierung im Rahmen des Programms zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in der Nutzung natürlicher Ressourcen von 2008 bis 2018 kantonale Ressourcenprojekte zur Reduktion der Ammoniakemissionen. Ab 2014 wurden in der ganzen Schweiz spezifische Maßnahmen durch Ressourceneffizienzbeiträge unter-

stützt. Die Maßnahmen betrafen vor allem die Lagerung und Ausbringung von Hofdünger, die bauliche Anpassung der Ställe, zum Beispiel Schieber, damit der Harn rasch abfließen kann, sowie eine ausgewogene bzw. proteinreduzierte Fütterung.

In dem Zeitraum, in dem Maßnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen vom Bund gefördert wurden, sanken die Emissionen allerdings nur um rund 2 %. Trotz dieser Anstrengungen wurde aufgrund der hohen Tierbestände in der Schweizer Landwirtschaft und des hohen Stellenwerts des Tierwohls in der Gesellschaft nur ein leichter Rückgang der Ammoniakemissionen erreicht (siehe auch Abschnitt 4.4). Außerdem sind entsprechende Fütterungsmaßnahmen und der Schleppschlaucheinsatz vor allem in Berggebieten nur begrenzt möglich. Eine ausgewogene Fütterung mit geringem Rohproteinüberschuss ist von der Verfügbarkeit von energiereichem Futter wie Mais aus dem Tal abhängig. Dieses wird wegen der Transportwege allerdings nur wenig eingesetzt. Auch der Schleppschlaucheinsatz, der eine bodennahe Gülleausbringung mit emissionsreduzierender Wirkung erlaubt, ist ab einer gewissen Hangneigung nicht mehr möglich. Obwohl die Berggebiete im Vergleich zum Flachland weniger Emissionen produzieren, muss gefragt werden, welche Art der Tierhaltung die sensiblen Bergökosysteme insgesamt am wenigsten belastet.

Die ausschließliche Fokussierung auf technische und bauliche Maßnahmen wird der Situation der

Berggebiete nicht gerecht. Es braucht vielmehr einen ganzheitlichen Ansatz, der nicht nur technische Lösungen, sondern auch Fragen zu den verfügbaren Futtermitteln und der Tragfähigkeit der Ökosysteme berücksichtigt. Zum Schutz der Luftqualität muss die Anzahl der Tiere an die Empfindlichkeit der natürlichen Umwelt angepasst werden. Die stark verbreitete Weidewirtschaft, insbesondere in den Berggebieten, ist eine weitere Maßnahme zur Reduktion der Ammoniakemissionen: Harn versickert rasch im Boden, und es gibt weniger Ammoniakverluste im Stall. Wenn zusätzlich Schleppschläuche zur Gülleausbringung verwendet und die Güllelager abgedeckt werden und wenn zudem sichergestellt wird, dass die Wege und Liegeflächen im Stall sauber gehalten werden, können die Ammoniakemissionen und ihre Auswirkungen auf sensible Ökosysteme wesentlich reduziert werden.

Der ausschlaggebende Faktor bei den Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft ist die Anzahl der Nutztiere. Bleibt sie gleich oder steigt sie sogar, dann wird eine Reduktion der Stickstoff- und Ammoniakemissionen kaum zu erreichen sein. Hinzu kommt, dass die Reduktion des Ammoniakausstoßes aus der Landwirtschaft teilweise im Konflikt mit Tierwohlaspekten steht. Laufställe tragen zum Tierwohl bei, aber sie führen auch zu höheren Ammoniakverlusten. Die Vereinbarkeit mit den gesellschaftlichen Forderungen nach einer Begrenzung der Zahl der Tiere, nach mehr Tierwohl und mehr Umweltschutz bleibt eine Herausforderung, die von der Politik gelöst werden muss.



8. FAZIT UND EMPFEHLUNGEN AN DIE POLITIK

8.1 REDUKTION DER FEINSTAUB- UND BAP-EMISSIONEN AUS DER HOLZVERBRENNUNG

In Kapitel 5.2 wurde ausgeführt, dass die Feinstaubbelastung, vor allem von $PM_{2,5}$ einschließlich Benzo(a)pyren, in vielen Alpenregionen immer noch ein Problem darstellt. Und dies, obwohl der in Kapitel 5.3 beschriebene Trend zeigt, dass die PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Konzentrationen in den letzten 10 Jahren zurückgegangen sind. Wie einschlägige Forschungsprogramme zeigen und wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, ist Holzverbrennung eine wesentliche Quelle von Feinstaub und tragen in den Alpen in hohem Maße zu den kritischen Werten der Luftqualität bei.

Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird die Entwicklung von Maßnahmenkampagnen zur Messung der Emissionen aus kleinräumigen, privaten Quellen und zur Überwachung der $PM_{2,5}$ - und BaP-Konzentrationen vorgeschlagen, um die Bevölkerung im Alpenraum über technische und betriebliche Möglichkeiten zur Emissionsverringern zu informieren und die Feinstaub- und BaP-Belastung durch Unterstützungsmaßnahmen weiter zu reduzieren. In bestimmten Gebieten mit hoher Feinstaubbelastung sollten weitergehende Bestimmungen für den Alpenraum auf freiwilliger Basis eingeführt werden, wie strengere Emissionsgrenzwerte für neue Anlagen, strengere Kontrollen der bestehenden Anlagen und eingesetzten Brennstoffe, Informationskampagnen, Schulungen für den sachgemäßen Betrieb der Anlagen usw.

8.1.1 MESSUNG UND INFORMATION

Informationskampagnen über die gesundheitlichen Auswirkungen von Feinstaub und BaP sowie über das richtige Heizen mit Holz setzen voraus, dass Feinstaubemissionen und ihre Quellen gemessen und die entsprechenden Informationen der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Die Emissionsmessungen sollten im Rahmen von

Monitoring-Kampagnen für $PM_{2,5}$, BaP und Black Carbon über mindestens eine Heizsaison durchgeführt werden. Die Sensibilisierung der Bevölkerung sollte durch Maßnahmen begleitet werden, die den physischen und geografischen Gegebenheiten im Alpenraum Rechnung tragen: unterschiedliche Relief- und Wetterbedingungen, verschiedene Siedlungsformen, unterschiedliche Dauer der Heizsaison und verschiedene Schadstoffquellen (Einzelfeuerungen, Verkehr, Industrie, ...). Aufgrund der topografischen und klimatischen Verhältnisse und der ungleichen Verteilung von Bevölkerung und Emissionsquellen im Alpenraum sollten bei der Standortwahl der Monitoringstellen verschiedene Räume berücksichtigt und Messstellen für Black Carbon einbezogen werden.

EMPFEHLUNG 1

Unterstützung relevanter Organisationen:

- bei Vor-Ort-Messungen von Feinstaub, insbesondere von Benzo(a)pyren aus Holzheizungen und -kesseln;
- bei der Information der Bevölkerung über die Bedeutung der Holzverbrennung für die Gesundheit.

8.1.2 FÖRDERUNG DER MODERNISIERUNG VON KLEINHEIZUNGSANLAGEN

Aufgrund einer entsprechenden Erhebung sollte BetreiberInnen und Privatpersonen die Möglichkeit angeboten werden, ihre alten Holz- oder Ölheizungen umzurüsten oder durch neue emissionsarme Heizungsanlagen mit moderner Technik zu ersetzen. In größeren Siedlungen oder Städten sollte die Möglichkeit einer zentralen Wärmeversorgung geprüft werden, da moderne Wärmenetze in der Regel eine saubere Energieversorgung garantieren, energieeffizienter sind und weniger Emissionen verursachen.

EMPFEHLUNG 2

Reduzierung der Emissionen aus privaten Heizungsanlagen durch Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Erneuerung bestehender Heizungen durch emissionsarme Anlagen sowie Unterstützung und Begleitung der BetreiberInnen:

- bei der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden;
- beim Austausch alter umweltbelastender Heizanlagen und -kessel;
- beim Umstieg von herkömmlichen Brennstoffen auf saubere Energien.

8.2 FÖRDERUNG SAUBERER MOBILITÄT

Wie in den vorausgegangenen Kapiteln dieses Berichts und insbesondere in Kapitel 3.2 dargestellt wurde, ist die Verkehrsdichte in den Alpentälern und -städten nach wie vor eine wichtige Quelle der Luftverschmutzung für Menschen, die in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen leben. Die in Kapitel 7.3 vorgestellten Beispiele zeigen, dass die Vertragsparteien der Alpenkonvention bereits Maßnahmen zur Verringerung der Luftverschmutzung durch aktive Mobilität, Umweltzonen, Förderung des öffentlichen Verkehrs, Einführung von Tempolimits und dem Einsatz neuer Technologien ergriffen haben. Der Austausch dieser Erfahrungen ist ein Ansporn für alle Länder, von ihren Partnern zu lernen, die vorgeschlagenen Lösungen an ihre jeweiligen Erfordernisse anzupassen, Informations- und Sensibilisierungskampagnen durchzuführen und Maßnahmen umzusetzen. Es existieren Lösungen auf verschiedenen Ebenen, von der europäischen über die nationale bis hin zur kommunalen Ebene. Nicht zuletzt haben diese Maßnahmen oftmals auch positive Auswirkungen auf den Klimaschutz.

8.2.1 VERFOLGUNG EINER AMBITIONIERTEN MOBILITÄTSPOLITIK

Städte, Landkreise, Bezirke, Kantone und Regionen werden ermutigt, die bestehenden Instrumente (Luftqualitätskarten und -modelle, Bewertung der Auswirkungen auf die Luftqualität durch eine verstärkte Verlagerung hin zu aktiven Mobilitäts-

formen etc.) zu benutzen, um den Zusammenhang zwischen Verkehrsmittelwahl, Luftverschmutzung und menschlicher Gesundheit aufzuzeigen. Der Einsatz dieser Instrumente bei Gesprächen und Diskussionen mit betroffenen BürgerInnen kann dabei helfen, ambitionierte Lösungen zu entwickeln, umzusetzen und deren Nutzen für die Allgemeinheit zu überwachen. Mobilitätsinitiativen, die auf einem schlüssigen Maßnahmenpaket beruhen, die regulatorische, finanzielle oder steuerliche Anreize mit Auflagen sowohl für den Personen- als auch den Güterverkehr verbinden und nach einer konzertierten Abstimmung und Umweltbewertung beschlossen werden, können dabei helfen, Wünsche und Bedürfnisse in die öffentliche Politik umzusetzen.

EMPFEHLUNG 3

Nach Beratung und Umweltverträglichkeitsprüfung: Einführung regionaler und lokaler Mobilitätsinitiativen für den Personen- und Güterverkehr; öffentliche Verkehrsmittel und aktive Mobilitätsformen fördern und dort, wo wesentliche Beeinträchtigungen der Luftqualität zu erwarten sind, Anreize mit Auflagen verbinden.

8.2.2 INVESTITIONEN FÜR EINEN SAUBEREN VERKEHR

Intelligente öffentliche Verkehrssysteme, numerische Instrumente zur Optimierung ihres Einsatzes, Smartphone-Apps, in multimodale Mobilitätssysteme integrierter öffentlicher Verkehr und auch neue Technologien für emissionsfreie Fahrzeuge existieren bereits und werden weiter verbessert. Ihre Entwicklung hängt von den Marktsignalen ab, die forciert werden können, zum Beispiel mit einem stimmigen Paket von Fördermaßnahmen, Vorschriften oder einer auf den realen Kosten basierenden Besteuerung zur Förderung einer sauberen Mobilität. Derartige Instrumente im Rahmen nationaler oder regionaler Strategien, einschließlich der Förderung kombinierter Verkehrslösungen außerhalb des Alpenkonventionsgebiets, aber mit Auswirkungen im Alpenraum, werden empfohlen, um die rasche Umsetzung intelligenter Lösungen zu unterstützen und gleichzeitig marktorientierte Rahmenbedingungen für innovative Lösungen zu schaffen.



EMPFEHLUNG 4

Förderung einer Strategie für saubere Mobilität und emissionsfreie Fahrzeuge, zum Beispiel durch ein ausgewogenes Steuer- und Anreizsystem für die Internalisierung der externen Kosten der Umweltverschmutzung zur Abbildung der wahren Kosten des Verkehrs und Verstärkung der Marktsignale zugunsten sauberer Mobilität und emissionsfreier Fahrzeuge.

EMPFEHLUNG 5

Förderung des Einsatzes einer intelligenten Verkehrssteuerung, zum Beispiel Geschwindigkeitsbeschränkungen, Straßenbenutzungsgebühren, Förderung sauberer Fahrzeuge auf alpenquerenden Autobahnen und in alpenquerenden Tunneln zur Emissionsverringerung, sowie:

- Förderung der Implementierung alternativer Verkehrstechnologien und des kombinierten Verkehrs;
- Integration des öffentlichen Verkehrs in multimodale Mobilitätssysteme;
- Förderung der Verlagerung des Personen- und Güterverkehrs.

8.3 VERRINGERUNG DER EMISSIONEN AUS DER LANDWIRTSCHAFT

Wie in den vorausgegangenen Kapiteln dargelegt, zählt die Landwirtschaft im Allgemeinen nicht zu den Hauptquellen der Luftverschmutzung im Alpenraum. Kapitel 3.2 zeigt jedoch auch, dass der Beitrag der Landwirtschaft in einigen Gebieten mit intensiver Bewirtschaftung nicht unbedeutend ist. In Kapitel 4.4 wird beschrieben, dass die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre in einigen Gebieten der Alpen kritische Werte überschreiten können.

EMPFEHLUNG 6

Unterstützung der Entwicklung guter landwirtschaftlicher Praktiken zur Begrenzung der Emissionen von Stickstoffverbindungen wie Ammoniak und der Verbrennung von Grünabfällen und Schlagabraum im Freien.

8.4 LUFTREINHALTEPOLITIK

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention unterstützen alle Initiativen, die zur Verbesserung der Luftqualität in den Alpen beitragen. Die Maßnahmen sind auf verschiedenen Ebenen abzustimmen. Innerhalb der einzelnen Länder ist für alle Bevölkerungsgruppen eine gute Luftqualität sicherzustellen, da soziale Ungleichheit häufig mit ökologischer Ungleichheit verbunden ist⁶⁹.

8.4.1 ENTWICKLUNG VON INITIATIVEN ZUR LUFTREINHALTUNG IN DEN ALPEN

Ziel ist es, Initiativen durch lokale und regionale EntscheidungsträgerInnen anzuregen und zu fördern. Dies könnte auch dazu beitragen, Unterschiede besser zu verstehen und Ungleichheiten in Bezug auf Mobilität, Luftverschmutzung und Wohnsituation so weit wie möglich zu beseitigen. Die Erstellung von Luftreinhalteplänen ist in der EU verpflichtend für Gebiete, in denen die EU-Grenzwerte überschritten werden (Richtlinie 2008/50/EG). Die Alpenkonvention möchte zusätzliche Initiativen fördern, die in den Luftgüteleitlinien der WHO angeregt werden.

EMPFEHLUNG 7

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention werden ermutigt, Initiativen zur Luftreinhaltung zu entwickeln, inklusive Maßnahmen zur Verringerung der wichtigsten Quellen von Umweltverschmutzung in ihren Ländern, wie private Heizungen, Mobilität, Energie, Industrie und Landwirtschaft.

69. Für Menschen, die in der Nähe des städtischen Zentrums leben, ist es zum Beispiel einfacher, zu Fuß zu gehen oder mit dem Rad zu fahren als für Menschen, die in Vorstädten leben, wo die Wohnungen aber günstiger sind.

8.4.2 AUSWEITUNG DES ANWENDUNGSBEREICHS DES ÜBEREINKOMMENS VON ESPOO UND DES CLRTAP-ÜBEREINKOMMENS

Das Übereinkommen über die Umweltverträglichkeitsprüfung im grenzüberschreitenden Rahmen, das im 1991 in Espoo (Finnland) abgeschlossen wurde (UNECE, 1991), verpflichtet die Vertragsparteien, nachteilige grenzüberschreitende Auswirkungen durch ihre Aktivitäten zu verhindern, zu verringern und zu kontrollieren. Durch die Richtlinie des Rates 85/337/EWG vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten (siehe Art. 7) und die Richtlinie 2001/42/EG (siehe Art. 7) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme ist dieser Aspekt bereits europäisches Recht. Die Luftverschmutzung in den Alpen kann jedoch auch außerhalb des Alpenkonventionsgebiets entstehen, wie das Beispiel des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung zeigt.

EMPFEHLUNG 8

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention sollten mit den Nachbarländern und -regionen zusammenarbeiten, um die Reduktion des grenzüberschreitenden Schadstofftransports im geografischen Gebiet der Alpenkonvention zu fördern.

8.4.3 UNTERSTÜTZUNG DER GREEN DEAL-INITIATIVE DER EU IM BEREICH LUFTVERSCHMUTZUNG

Die Zielvorgaben für die Luftqualität im Perimeter der Alpenkonvention zum Schutz der menschlichen Gesundheit basieren auf der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG, aber einige Mitgliedstaaten haben strengere Bestimmungen erlassen. Unter Berücksichtigung des Ziels in Art. 2 c) der Alpenkonvention⁷⁰ würde eine Angleichung der Luftqualitätsgrenzwerte an die WHO-Luftgüteleitlinien die Strategien für einen besseren Schutz der menschlichen Gesundheit klar verändern. Es löst

das Problem als solches nicht, da die Emissionen nicht erfasst werden, aber es könnte den Mitgliedstaaten und Gemeinschaften dabei helfen, Prioritäten zu identifizieren und gegebenenfalls Lösungen zu erarbeiten.

EMPFEHLUNG 9

Die Vertragsparteien der Alpenkonvention sollten:

- das Kapitel Luftqualität des europäischen Green Deals unterstützen;
- die Anpassung an die WHO-Luftgüteleitlinien anstreben.

8.5 VERBESSERUNG DES WISSENS ÜBER DIE ANTHROPOGENEN URSACHEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG

Als Quellen für diesen Bericht dienten offizielle Berichte von autorisierten Organisationen: EUA, WHO, US-EPA, frühere Berichte der Alpenkonvention und auch wissenschaftliche Publikationen, von denen viele aus gemeinsamen europäischen Forschungsprogrammen stammen, die im Anhang aufgeführt sind. Die meisten dieser Programme wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten publiziert. Das Verfassen vieler Kapitel dieses Berichtes wäre ohne diese Informationen nicht möglich gewesen. Es bleiben allerdings Unsicherheiten, was die genauen kausalen Zusammenhänge zwischen menschlichen Aktivitäten, biogenen Quellen und Luftqualität betrifft. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftqualität müssen ebenfalls noch weiter untersucht und als Funktion verschiedener Szenarien modelliert werden. Die Belastung der Menschen durch Feinstaub, seine Entstehung, sein Transport und seine Auswirkungen sind immer noch ein aktuelles Forschungsthema.

Die Erwartungen der in den Alpen lebenden Menschen, ihre Kenntnis der tatsächlichen Situation und ihre Rolle bei der Luftverschmutzung, ihre Forderungen an die politischen Entscheidungs-

70. c. „Luftreinhaltung: Ziel ist eine drastische Verminderung von Schadstoffemissionen und -belastungen im Alpenraum und der Schadstoffverfrachtung von außen, auf ein Maß, das für Menschen, Tiere und Pflanzen nicht schädlich ist.“



trägerInnen und ihre Bereitschaft, ihr Verhalten zu ändern, um die Luftqualität zu verbessern -all das könnte von Sozial- und PolitikwissenschaftlerInnen im Rahmen von weiteren Untersuchungen besser verstanden und erklärt werden. Dieser Bericht fordert deswegen zu einer Verbesserung der interdisziplinären Forschungsprogramme zum Thema Luftqualität in den Alpen und einer schnellen Weitergabe der Ergebnisse an die Stakeholder sowie zur Beteiligung der Öffentlichkeit an der Diskussion und zur gegenseitigen Verständigung mit den in der Alpenforschung tätigen Forschungsgemeinschaften auf.

EMPFEHLUNG 10

Entwicklung eingehender und spezifischer Studien zur Luftqualität in den Alpen, insbesondere dort, wo Probleme mit der Luftqualität bekannt sind oder aufgrund der Überwachung der Situation zu erwarten sind, um den Einfluss der Quellen von Luftverschmutzung und auch die damit verbundenen sozialen und politischen Fragen zu untersuchen

9. LITERATURVERZEICHNIS

Alpenkonvention (2007). Report on the State of the Alps. Alpine Signals – Special edition 1. Transport and Mobility in the Alps. Found at: https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Publications/RSA/RSA1_EN.pdf.

Alpenkonvention (2018). Textsammlung, Alpensignale 1, 3rd edition. Found at: <https://www.alpconv.org/en/home/news-publications/publications-multimedia/detail/as1-the-alpine-convention-collection-of-texts/>.

Alpenkonvention (2018a). The Alps in 25 maps. Found at <https://www.alpconv.org/en/home/news-publications/publications-multimedia/detail/the-alps-in-25-maps/>.

Alpenkonventions-Bericht (2011). Towards decarbonising the Alps - National policies and strategies, regional initiatives and local actions (ISBN: 978-3-9503014-5-8). Found at: https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Publications/AS/AS6_EN.pdf.

Alpine Traffic Observatory, 2020. Observation and analysis of transalpine freight traffic flows. Key figures 2019. Found at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2020-alpine-traffic-observatory-key-figures-2019.pdf>.

American Academy of Pediatrics and Committee on Environmental Health (2004). Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. In: Pediatrics, 114, 1699. Found at: <https://pediatrics.aappublications.org/content/114/6/1699>.

Andreani-Aksoyoglu, S. et al. (2008). Contribution of Biogenic Emissions to Carbonaceous Aerosols in Summer and Winter in Switzerland: A Modelling Study. In: Borrego C. and A.I. Miranda (eds.): Air Pollution Modeling and Its Application XIX, NATO Science for Peace and Security Series Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 101-108. Found at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8453-9_11#citeas.

Arbeitsgruppe Verkehr der Alpenkonvention (2018b). Deployment of Alternative Fuels Infrastructure - Implementing the EU Directive 2014/94/EU on the Alpine territory. Found at https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/fotos/Banner/Topics/transport/AlpineConvention_TransportWG_AlternativeFuels_012019.pdf.

Avakian, M.D. et al. (2002). The Origin, Fate, and Health Effects of Combustion By-Products: A Research Framework. In: Environmental Health Perspectives, 110 (11) 1155.

BAFU – Bundesamt für Umwelt, Switzerland, (2016). Umweltbelastungen des alpenquerenden Güterverkehrs (Environmental impact of freight traffic in the Alps). UZ-1628-D. Found at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/mobilitaet/monitoring-flankierende-massnahmen-umwelt-mfm-u.html>.

Barroso, P.J. et al. (2019). Emerging contaminants in the atmosphere: Analysis, occurrence and future challenges. In: Crit Rev Env Sci Tec, 49, 104-171.



- Beelen, R. et al. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. In: *Lancet*, 383, 785-795.
- Belis, C.A. et al. (2014). European guide on air pollution source apportionment with receptor models. European Union, JRC reference reports, 9789279325144. Found at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/european-guide-air-pollution-source-apportionment-receptor-models>.
- Besombes, J.L. et al. (2014). Evaluation des impacts sur la qualité de l'air des actions de modernisation du parc d'appareils de chauffage au bois à Lanslebourg – Rapport Final. Ademe. Found at: <http://hal.univ-smb.fr/hal-02014899/document>.
- Blasco, M. et al. (2006). Use of Lichens as Pollution Biomonitors in Remote Areas: Comparison of PAHs Extracted from Lichens and Atmospheric Particles Sampled in and Around the Somport Tunnel (Pyrenees). In: *Environ. Sci. Technol.* 40, 6384-6391.
- Blasco, M. et al. (2008). Lichens biomonitoring as feasible methodology to assess air pollution in natural ecosystems: Combined study of quantitative PAHs analyses and lichen biodiversity in the Pyrenees Mountains. In: *Anal. Bioanal. Chem.* 391, 759-771.
- Bowman, W.D. et al. (2018). Limited ecosystem recovery from simulated chronic nitrogen deposition. In: *Ecol. App.* 28, 1762-1772.
- Chaxel, E. and J.P. Chollet (2009). Ozone production from Grenoble city during the August 2003 heat wave. In: *Atmos. Environ.* 43, 4784-4792.
- Chemel, C. et al. (2016). Valley heat deficit as bulk measure of wintertime particulate air pollution in Arve valley. In: *Atmos. Environ.* 128, 208-215.
- Climate Action Network Europe (2020). Overview of national phase-out announcements, October 2020. Found at: <https://beyond-coal.eu/2020/10/15/overview-of-national-phase-out-announcements-july-2020/>.
- Derognat, C. et al. (2003). Effect of biogenic volatile organic compound emissions on tropospheric chemistry during the Atmospheric Pollution Over the Paris Area (ESQUIF) campaign in the Ile de France region. In: *J. Geophys. R.* 108, 8560.
- Deutsches Umweltbundesamt, Grote, R. (2019). Environmental impacts on biogenic emissions of volatile organic compounds (VOCs) – final report. Found at: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/environmental-impacts-on-biogenic-emissions-of>.
- Diemoz, H. et al. (2014). One Year of Measurements with a POM-02 Sky Radiometer at an Alpine EuroSkyRad Station. In: *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 92A, 1-16.
- Diemoz, H. et al. (2019a). Transport of Po valley aerosol pollution to the north-western Alps. Part 1: Phenomenology. In: *Atmos. Chem. Phys.* 19, 3065-3095.
- Diemoz, H. et al. (2019b). Transport of Po valley aerosol pollution to the north-western Alps. Part 2: Long term impact on air quality. In: *Atmos. Chem. Phys.* 19, 10129-10160.
- Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. OJ L 344/1, 17.12.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj>.
- Directive (EU) 2016/802 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels. OJ L132/58, 21.05.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/802/oj>.

Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. OJ L 197, 21.07.2001. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj>.

Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. OJ L 309, 27.11.2001. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/81/oj>.

Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. OJ L 23, 26.1.2005. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj>.

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. OJ L 152/1, 11.06.2008. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>.

Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. OJ L 285/10, 31.10.2009. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>.

Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC. OJ L 140/88, 05.06.2009. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/30/oj>.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334/17, 17.12.2010. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>.

Directive 2015/1480 of the European Commission of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality (Text with EEA relevance). Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj>.

Directive 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. OJ L 313/1, 28.11.2015. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj>.

Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. OJ L 307, 28.10.2014. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/94/oj>.

Ducret-Stich, R. et al. (2013a). Role of highway traffic on spatial and temporal distributions of air pollutants in a Swiss Alpine valley. In: *Sci. Total Environ.* 456, 50-60.

Ducret-Stich, R. et al. (2013b). PM₁₀ source apportionment in a Swiss Alpine valley impacted by highway traffic. In: *Environ. Sci. Pollut. R.* 20, 6496-6508.

Egger, I. and K.P. Hoinka (1992). Fronts and orography. In: *Meteorology and Atmospheric Physics*, 48, 3-36.

Elsasser, M. et al. (2012). Organic molecular markers and signature from wood combustion particles in winter ambient aerosols: aerosol mass spectrometer (AMS) and high time-resolved GC-MS measurements in Augsburg, Germany. In: *Atmos. Chem. Phys.* 12, 6113-6128.

EC - Europäische Kommission (2018), COM/2018/773 final. Communication from the Commission. A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>.



EC - Europäische Kommission (2019). COM/2019/640 final. Communication from the Commission. The European Green Deal. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>.

Europäische Umweltagentur (2019). Air quality in Europe - 2019 Report, 99 pp. EEA Report No 10/2019. Found at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019/air-quality-in-europe-2019/viewfile#pdfjs.action=download>.

Europäische Umweltagentur (2018). Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe. EEA Report No. 22/2018. Found at: <https://www.eea.europa.eu/publications/unequal-exposure-and-unequal-impacts/#additional-files>.

EUSALP (2017). Action Group 4 "To promote inter-modality and interoperability in passenger and freight transport", Study on External costs in mountain areas. Found at: <https://www.alpine-region.eu/results/study-external-costs-mountain-areas>.

Fang, T. et al. (2019). Oxidative Potential of Particulate Matter and Generation of Reactive Oxygen Species in Epithelial Lining Fluid. In: *Environ. Sci. Technol.* 53, 12784-12792.

Favez, O. et al. (2017a). Traitement harmonisé de jeux de données multi-sites pour l'étude de sources de PM par Positive Matrix Factorization (PMF). Ineris DRC-16-152341-07444A / CARA_PMF Harmonisée.

Favez, O. et al. (2017b). État des lieux sur les connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France - Projet Sources. Rapport Ademe, 132 pages.

Finizio, A. et al. (2006). Variation of POP concentrations in fresh-fallen snow and air on Alpine glacier (Monte Rosa). In: *Ecotox Environ. Safe.* 63, 25-32.

Freier, K.P. et al. (2019). Monitoring of Persistent Pollutants in the Alps. Bavarian Environment Agency & Environment Agency Austria, Brochure of Bavarian Environmental Agency.

Gianini, M.F.D. et al. (2012). Comparative source apportionment of PM₁₀ in Switzerland for 2008/2009 and 1998/1999 by Positive Matrix Factorisation. In: *Atmos. Environ.* 54, 149-158.

Gilardoni, S. et al. (2011). Better constraints on sources of carbonaceous aerosols using a combined 14C – macro tracer analysis in a European rural background site. In: *Atmos. Chem. Phys.* 11, 5685–5700.

Global energy monitor (2019). Air pollution from coal-fired power plants. Found at: https://www.gem.wiki/Air_pollution_from_coal-fired_power_plants.

Hao, L. et al. (2018). Combined effects of boundary layer dynamics and atmospheric chemistry on aerosol composition during new particle formation periods. In: *Atmos. Chem. Phys.* 18, 17705-17716.

Hasan, M. et al. (2009). Identification and characterization of trace metals in black solid materials deposited from biomass burning at the cooking stoves in Bangladesh. In: *Biomass Bioenerg* 33, 1376-1380.

Hazenkamp-von Arx, M.E. et al. (2011). Impacts of highway traffic exhaust in alpine valleys on the respiratory health in adults: a cross-sectional study. In: *Environ Health*, 10, 13. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-13>. Found at: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-10-13>.

Health Effects Institute (2019). State of Global Air 2019. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute. Found at: https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf.

Heimann, D. et al. (2007). ALPNAP comprehensive report. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italy, 335 pp. Found at: http://www.alpine-space.org/2000-2006/uploads/media/ALPNAP_CR_Part_1.pdf.

Herich, H. et al. (2014). Overview of the impact of wood burning emissions on carbonaceous aerosols and PM in large parts of the Alpine region. In: *Atmos. Environ.* 89, 64-75.

- Jaward, F.M. et al. (2005). PCB and selected organochlorine compounds in Italian mountain air: the influence of altitude and forest ecosystem type. In: Environ. Sci. Technol. 39, 3455-3463.
- Larsen, B.R. et al. (2012). Sources for PM air pollution in the Po Plain, Italy: II. Probabilistic uncertainty characterization and sensitivity analysis of secondary and primary sources. In: Atmos. Environ. 50, 203-213.
- Lelieveld, J. et al. (2020). Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. Cardiovascular research. Found at: <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>.
- Lercher, P. et al. (1995). Perceived traffic air pollution, associated behavior and health in an alpine area. In: Sci. Tot. Environ. 169, 71.
- Lighty, J.S. et al. (2000). Combustion Aerosols: Factors Governing Their Size and Composition and Implications to Human Health. In: J Air Waste Manage, 50, 1565.
- Lin, M. et al. (2020). Vegetation feedbacks during drought exacerbate ozone air pollution extremes in Europe. In: Nature Climate Change 10, n°4.
- Löflund, M. et al. (2002). Monitoring ammonia in urban, inner alpine and pre-alpine ambient air. In: J. Environ. Monitor. 4, 205-209.
- Maas, R. and P. Grennfelt (eds.) (2016). CLRTAP_Scientific_Assessment_Report_-_Final, Oslo. Found at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th_session/CLRTAP_Scientific_Assessment_Report_-_Final_20-5-2016.pdf.
- Mazzuca, G.M. et al. (2016). Ozone production and its sensitivity to NO_x and VOCs: results from the DISCOVER-AQ field experiment, Houston 2013. In: Atmos. Chem. Phys. 16, 14463-14474.
- McLachlan, M.S. et al. (1998). Forests as Filters of Airborne Organic Pollutants: A Model. In: Environ. Sci. Technol. 32, 413-420.
- Meijer, S.N. et al. (2003). Global Distribution and Budget of PCBs and HCB in Background Surface Soils: Implications for Sources and Environmental Processes. In: Environ. Sci. Technol. 37, 667-672.
- Nascimbene, J. et al. (2014). Patterns of traffic polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in mountain areas can be revealed by lichen monitoring: A case study in the Dolomites (Eastern Italian Alps). In: Sci. Total Environ. 475, 90-96.
- Nilsson, J. and P. Grennfelt (1988). Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. Skokloster, Schweden, 1988. Found at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/nilssongrennfelt_1988.pdf.
- Offenthaler, I. et al. (2009). MONARPOP technical report, revised edition July 2009. Found at: http://monarpop.at/downloads/MONARPOP_Technical_Report.pdf.
- Paerl, H.W., (2003). Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources. In: Limnol. Oceanogr. 42, 1154-1165.
- Pascal, M. et al. (2017). Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité dans la vallée de l'Arve. Santé publique France. Found at: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/impact-de-l-exposition-chronique-aux-particules-fines-sur-la-mortalite-dans-la-vallee-de-l-arve>.
- Pietrodangelo, A. et al. (2014). Improved identification of transition metals in airborne aerosols by SEM-EDX combined backscattered and secondary electron microanalysis. In: Environ Sci Pollut R. 21, 4023.



Piot, C. (2011). Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône-Alpes : caractérisation chimique et sources d'émissions. Thesis, Université de Grenoble. Found at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00661284>.

Price, M.F. et al. (2011). The Alps. From Rio 1992 to 2012 and beyond: 20 years of Sustainable Mountain Development. What have we learnt and where should we go? Swiss presidency of the Alpine Convention 2011-2012. Found at: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/ALPS%20FINAL%2020120228%20RIO%20Alps.pdf.

Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency. OJ L 396, 30.12.2006. Found at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/2014-04-10>.

Regulation (EU) 2015/1185 of 24 April 2015 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for solid fuel local space heaters. OJ L 193, 21.7.2015. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2015:193:TOC>.

Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013, and amending and repealing Directive 97/68/EC. OJ L 252/53, 16.9.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/1628/oj>.

Rihm, B. et al. (2016). Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Bern. In: Environmental studies, 1642, 78 p.

Robinson, A.L. et al. (2007). Rethinking organic aerosols: semivolatile emissions and photochemical aging. In: Science, 315, 1259–1262.

Rouvière, A. et al. (2006). Monoterpene source emissions from Chamonix in the Alpine valleys. In: Atmos. Environ. 40, 3613-3620.

Salvador, P. et al. (2010). Evaluation of aerosol sources at European high-altitude background sites with trajectory statistical methods. In: Atmos. Environ. 44, 2316-2329.

Schnelle-Kreis, J. et al. (2010). Anteil von Partikelemissionen aus Holzverbrennungsanlagen PM₁₀-Feinstaub-immissionen im städtischen Umfeld am Beispiel von Augsburg, Teil I: Emissions- und Immissionsmessungen. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 5, 203-209.

Schnitzhofer, R. et al. (2009). A multimethodological approach to study the spatial distribution of air pollution in an Alpine valley during wintertime. In: Atmos. Chem. Phys. 9, 3385-3396.

Seibert, P. et al. (1996). A pollution event in the High Alps - Results from the joint EUMAC-ALPTRAC case study. In: Borrell, P. M., Borrell, P., Kelly, K. and W. Seiler (eds.): Proceedings of EUROTRAC Symposium 1996 - Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere. In: Computational Mechanics Publications, Southampton, 251-255.

Sicard, P. et al. (2012). The Aggregate Risk Index: An intuitive tool providing the health risks of air pollution to health care community and public. In: Atmos Environ, 46, 11-16.

Squizzato, S. et al. (2013). Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: a case study in the Po Valley (Italy). In: Atmos. Chem. Phys. 13, 1927–1939.

Srivastava, D. et al. (2019). Speciation of organic fractions does matter for aerosol source apportionment. Part 3: Combining off-line and on-line measurements. In: Sci. Total Environ. 690, 944-955.

- Stefenelli, G. et al. (2019). Secondary organic aerosol formation from smoldering and flaming combustion of biomass: a box model parametrization based on volatility basis set. In: *Atmos. Chem. and Phys.* 19, 11461-11484.
- Stevens, C. J. et al. (2010). Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. In: *Environ Pollut*, 158, 2940-2945.
- Sturman, A. and H. Wanner, (2001). A Comparative Review of the Weather and Climate of the Southern Alps of New Zealand and the European Alps. In: *Mountain Research and Development*, 21 (4), 359-369.
- Szidat, S. et al. (2007). Dominant impact of residential wood burning on particulate matter in Alpine valleys during winter. In: *Geophys. Res. Lett.* 34, L05820.
- Thimonier, A. et al. (2019). Total deposition of nitrogen in Swiss forests: Comparison of assessment methods and evaluation of changes over two decades. In: *Atmos. Environ.* 198, 335-350.
- Tibaldi S., Buzzi A., Speranza A. (1990) Orographic Cyclogenesis. In: Newton C.W., Holopainen E.O. (eds) *Extratropical Cyclones*. American Meteorological Society, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-944970-33-8_7.
- Treaty on the Functioning of the European Union. Part three - Union policies and internal actions Title XX – Environment Article 193. C326/1, 26.10.2012. Found at: http://data.europa.eu/eli/treaty/tfeu_2012/art_193/oj.
- Tuet, W. et al. (2019) Chemical Oxidative Potential and Cellular Oxidative Stress from Open Biomass Burning Aerosol. In: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 6, 126-132.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2013). Integrated Science Assessment (ISA) of Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final Report, Feb 2013). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-10/076F. Found at: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=511347&Lab=NCEA.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2016). Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Final Report, 2016). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/068. Found at: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=526855&Lab=NCEA.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2019). Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, 2019). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-19/188. Found at: https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=539630.
- UNECE (1991). Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Found at: https://unece.org/DAM/env/eia/documents/legaltexts/Espoo_Convention_authentic_ENG.pdf. Valverde, V., et al. (2016). A model-based analysis of SO₂ and NO₂ dynamics from coal-fired power plants under representative synoptic circulation types over the Iberian Peninsula. In: *Sci. Tot. Environ.* 541, 701-713.
- Van Drooge, B.L. and P.P. Ballesta (2009). Seasonal and Daily Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations in PM₁₀ in a Semirural European Area. In: *Environ. Sci. Technol.* 43, 7310-7316.
- Wania, F. et al. (2001). Estimating the Influence of Forests on the Overall Fate of Semivolatile Organic Compounds Using a Multimedia Fate Model. In: *Environ. Sci. Technol.* 35, 582-590.
- Weber, S. et al. (2019). Comparison of PM₁₀ Sources Profiles at 15 French Sites Using a Harmonized Constrained Positive Matrix Factorization Approach. In: *Atmosphere*, 10, 310-331.



Weimer, S. et al. (2009). Mobile measurements of aerosol number and volume size distributions in an Alpine valley: Influence of traffic versus wood burning. In: Atmos. Environ. 43, 624-630.

Weiss, P. et al. (2015). MONARPOP –Ergebnisse der Dioxin-und PCB-messungen in Luft und Deposition. Report REP-0546. Found at: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0546.pdf>.

WHO - Weltgesundheitsorganisation (2019). WHO European High-level Conference on Non-communicable Diseases 9 – 10 April 2019 Ashgabat, Turkmenistan. Found at: <https://www.who.int/news-room/events/detail/2019/04/09/default-calendar/who-european-high-level-conference-on-noncommunicable-diseases>.

WHO - Weltgesundheitsorganisation Europa (2013a). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Found at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>.

WHO - Weltgesundheitsorganisation Europa (2013b). Review of evidence on health aspects of air pollution, technical report. Found at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>.

WHO - Weltgesundheitsorganisation Europa (2013c). Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. Found at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/155631/E96097.pdf.

Wierzbicka, A., et al. (2005). Particle emissions from district heating units operating on three commonly used biofuels. In: Atmos. Environ, 39, 139.

Wotawa, G. et al. (2000). Transport of ozone towards the Alps – results from trajectory analyses and photochemical model studies. In: Atmos. Environ, 34, 1367-1377.

Young, P.J. et al. (2018). Tropospheric Ozone Assessment Report: Assessment of global-scale model performance for global and regional ozone distributions, variability, and trends. In: Elementa. Science of the Anthropocene, 6: 10. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.265>.

Zhang, W. et al. (2014). Emission of Metals from Pelletized and Uncompressed Biomass Fuels Combustion in Rural Household Stoves in China. In: Scientific Reports, 4, 5611.

Zotter, P. et al. (2014). Radiocarbon analysis of elemental and organic carbon in Switzerland during winter smog episodes from 2008 to 2012 – Part 1: Source apportionment and spatial variability. In: Atmos. Chem. Phys. 14, 13551-13570.

ANHANG 1

ÜBERBLICK ÜBER DIE HÄUFIGSTEN SCHADSTOFFE

Ammoniak (NH₃)

Ammoniak ist ein farbloses alkalisches Gas und eine der häufigsten stickstoffhaltigen Verbindungen in der Atmosphäre. Es ist ein Reizmittel mit einem charakteristischen stechenden Geruch. Beim Einatmen lagert sich Ammoniak in den oberen Atemwegen ab: Berufsbedingte Ammoniak-Expositionen wurden häufig mit Sinusitis in Verbindung gebracht. Geringe NH₃-Mengen werden auf natürliche Weise in fast allen Geweben und Organen von Wirbeltieren gebildet.⁷¹

Arsen (As)

Arsen und seine Verbindungen sind allgegenwärtig in der Natur. Arsen wird aus natürlichen und anthropogenen Quellen in die Atmosphäre abgegeben. Die wichtigste natürliche Quelle ist die Vulkanaktivität, während von Menschen verursachte Emissionen durch das Schmelzen von Metallen, die Verbrennung von Brennstoffen, insbesondere von minderwertiger Braunkohle, und den Einsatz von Pestiziden entstehen. Arsen gelangt hauptsächlich über das Wasser in die Umwelt.⁷² In der Luft ist es vor allem in Partikelform als anorganisches Arsen vorhanden. In anorganischer Form ist Arsen hoch toxisch und erwiesenermaßen krebserregend.⁷³

Benzo(a)pyren (BaP)

BaP ist ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK), der bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material entsteht. Es kommt hauptsächlich in Benzin- und Dieselabgasen, Zigarettenrauch, Kohlenteer, mit Holzkohle gegrilltem Essen und bestimmten anderen Lebensmitteln vor. Es spielt eine Rolle als krebserregender Stoff und stellt eine Gefahr für die Umwelt dar, da

es leicht in den Boden eindringt und das Grundwasser verunreinigt.⁷⁴

Benzol C₆H₆

Benzol ist eine farblose Flüssigkeit, die an der Luft schnell verdunstet. Benzol entsteht durch natürliche Prozesse wie Vulkanausbrüche und Waldbrände, aber die Exposition gegenüber Benzol wird überwiegend durch menschliche Tätigkeiten verursacht. Benzol ist ein natürlicher Bestandteil von Rohöl und wird während der Produktion und aus Koksöfen ausgestoßen. Neben diesen industriellen Quellen wird Benzol auch von verschiedenen Verbrennungsquellen emittiert, wie Motoren, Holzverbrennung und stationäre Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Hauptquelle sind Abgasemissionen und Verdunstungsverluste bei Kraftfahrzeugen sowie Verdunstungsverluste bei der Handhabung, Verteilung (z.B. Betankung von Kraftfahrzeugen) und Lagerung von Benzin. Die IARC stuft Benzol als krebserregend für den Menschen ein.⁷⁵

Black Carbon (BC) und elementarer Kohlenstoff (EC)

Es handelt sich um die Hauptbestandteile von atmosphärischen Aerosolen. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder Biomasse.⁷⁶

Blei (Pb)

Blei ist ein Schwermetall, das dichter als die meisten gebräuchlichen Materialien ist. Es gilt als hoch giftig und kann durch verunreinigtes Wasser oder kontaminierte Lebensmittel bzw. durch das Einatmen von bleihaltigem Staub oder Rauch in den menschlichen Körper gelangen.

71. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222>.

72. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0014/123071/AQG2ndEd_6_1_Arsenic.PDF.

73. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.

74. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzo_a_pyrene.

75. <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/benzene.html>.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/benzene>.

76. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014JD022144>.

<https://www.hindawi.com/journals/amete/2014/179301/>.



Weltweit stammt der Hauptteil aller Bleiemissionen in die Atmosphäre aus der Verbrennung von Bleialkyl-Zusatzstoffen in Kraftstoffen, gefolgt von der Kohleverbrennung. Die meisten Menschen erhalten ihre tägliche Bleiaufnahme größtenteils über die Nahrung: Am häufigsten gelangt Blei bei der Lagerung und Herstellung in die Lebensmittel oder durch die direkte Kontamination der Pflanzenblätter durch Blei in der Luft. Bleiwasserleitungen oder bleihaltige Anstriche in alten Häusern können bedeutende Quellen der Bleibelastung für Menschen darstellen.

Die Toxizität von Blei lässt sich weitgehend dadurch erklären, dass es mit verschiedenen Enzymsystemen interagiert und deshalb viele Organe oder Organsysteme schädigen kann. Vor allem kann es die Blutbildung, das Nervensystem, den Blutdruck und das Herz-Kreislauf-System sowie die Nieren beeinträchtigen. Laut IARC gibt es keine ausreichenden Belege für eine krebserregende Wirkung von Bleiverbindungen beim Menschen.⁷⁷

Cadmium (Cd)

Cadmium ist ein Schwermetall, das in kleinen Mengen in der Luft, im Wasser, im Boden und in Nahrungsmitteln zu finden ist. Früher wurde Cadmium hauptsächlich bei der Galvanisierung von Metallen sowie für Pigmente oder Stabilisatoren für Kunststoffe verwendet. Heute ist Cadmium in vielerlei Hinsicht zu einem wichtigen Bestandteil der modernen Technologie geworden: zum Beispiel werden 55 % des gewonnenen Cadmiums bei der Herstellung von Cadmium-Nickel-Batterien verbraucht und es wird erwartet, dass diese Anwendung (z.B. durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen) zunehmen wird. In der Europäischen Union und weltweit stammen rund 85 - 90 % aller Cadmiumemissionen aus anthropogenen Quellen, hauptsächlich aus der Verhüttung und Veredelung von Nichteisenmetallen, der Verbrennung von fossilen Brennstoffen und der kommunalen Müllverbrennung. Cadmium hat eine außerordentlich lange biologische Halbwertszeit, die zu einer lebenslangen, nahezu irreversiblen Akkumulation des Metalls im Organismus führt. Es ist als krebserregend für den Menschen eingestuft.⁷⁸

Feinstaub (PM: Englische Abkürzung für particulate matter)

Feinstaub besteht aus einem Gemisch fester Partikel und flüssiger Tröpfchen, die in der Luft schweben. Diese Partikel kommen in vielen Größen und Formen vor und können aus hunderten von unterschiedlichen Stoffen bestehen. Einige Partikel werden unmittelbar an der Quelle (wie z. B. Baustellen, Felder oder durch Brände / Verbrennung) freigesetzt, die meisten entstehen jedoch in der Atmosphäre als Ergebnis komplexer Reaktionen von Stoffen wie SO₂ und NO_x. Feinstaub umfasst: PM₁₀ (Durchmesser von 10 Mikrometer (µm) und kleiner), PM_{2,5} (2,5 µm und kleiner) und UFP (oder PM_{0,1}, kleiner als 0,1 µm). Je kleiner die Partikel, desto einfacher können sie in die Lungenbläschen eindringen und Zellen und Organe erreichen.⁷⁹

Flüchtige organische Verbindungen (VOC: Englische Abkürzung für volatile organic compound) und Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC: Englische Abkürzung für Non-methane VOC)

VOC und NMVOC sind eine Gruppe organischer Verbindungen (wie z. B. Benzol, Ethanol, Formaldehyd, Cyclohexan, Trichlorethan oder Aceton), die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung stark voneinander unterscheiden, sich jedoch in der Atmosphäre ähnlich verhalten. Sie werden von vielen unterschiedlichen Produkten und Prozessen sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs freigesetzt, deren Zahl in die Tausende geht. Die meisten Düfte und Gerüche bestehen aus VOC. VOC umfassen eine Vielzahl von Chemikalien, von denen einige kurz- oder auch langfristige gesundheitsschädliche Auswirkungen haben können. Die Innenraum-Konzentrationen vieler VOC sind wesentlich höher (bis zu zehnmal so hoch) als die in der Außenluft. Einige NMVOC-Arten wie Benzol sind für die menschliche Gesundheit gefährlich und tragen zur Bildung von bodennahem Ozon bei.⁸⁰

Kohlenmonoxid (CO)

CO ist ein geruch- und geschmackloses giftiges Gas, das bei der unvollständigen Verbrennung von

77. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/123077/AQG2ndEd_6_7Lead.pdf

78. <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/cadmium>
https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/en/
https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0016/123073/AQG2ndEd_6_3Cadmium.PDF

79. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
<https://www.nature.com/articles/s12276-020-0403-3>

80. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-non-methane-volatile-1>
<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

Kohlenstoff entsteht. Das Einatmen in hohen Konzentrationen führt zu einer Schädigung des Zentralnervensystems und zum Erstickten.⁸¹

Nickel (Ni)

Nickel ist ein weit verbreitetes Schwermetall, das normalerweise in der Natur nur in sehr geringen Konzentrationen vorkommt. Die Verbrennung von Ölrückständen und Heizölen, der Abbau und die Aufbereitung von Nickel sowie die kommunale Müllverbrennung sind die wichtigsten anthropogenen Quellen von Nিকেmissionen in die Atmosphäre mit einem Anteil von rund 90 % an den globalen Gesamtemissionen. Nickeldämpfe verursachen Reizungen der Atemwege.⁸² Nickelverbindungen werden von der IARC als krebserregend für den Menschen eingestuft.

Ozon (O₃)

Ozon ist ein Gas, das sich aus drei Sauerstoffatomen zusammensetzt. Es tritt sowohl in der oberen Atmosphäre der Erde als auch in Bodennähe auf. Ersteres, das sogenannte stratosphärische Ozon, kommt natürlicherweise vor und bildet eine Schutzschicht, die die ultravioletten Sonnenstrahlen herausfiltert. Das bodennahe (oder troposphärische) Ozon ist hingegen ein gesundheitsschädlicher Luftschadstoff. Es wird nicht direkt in die Luft freigesetzt, sondern entsteht bei Sonneneinstrahlung durch die Reaktion zwischen NO_x und VOC. Daher kann Ozon vor allem an heißen, sonnigen Tagen in städtischen Gebieten gesundheitsschädliche Werte erreichen; auch in den kälteren Monaten sind jedoch noch hohe Werte möglich. Mit dem Wind kann es auch über weite Strecken transportiert werden, so dass selbst in ländlichen Gebieten hohe Ozonwerte auftreten können. Das Einatmen von Ozon kann eine Vielzahl von Atemproblemen auslösen. Ozon wirkt sich auch auf empfindliche Pflanzen und Ökosysteme aus.⁸³

Perchlorethylen (PER)

PER ist eine farblose Flüssigkeit, die giftige Dämpfe freisetzen kann, wenn sie Sonnenlicht oder Flammen ausgesetzt ist. Eine Exposition gegenüber PER reizt die oberen Atemwege und die Augen und hat neurologische Wirkungen sowie Nieren- und Leberschäden zur Folge. Es steht im Verdacht, für den Menschen karzinogen zu wirken. PER ist ein

häufiger Schadstoff im Boden. Wegen seiner Mobilität im Grundwasser, seiner Toxizität bei niedrigen Konzentrationen und seiner Dichte (durch die es unter den Grundwasserspiegel sinkt) sind Sanierungsarbeiten noch schwieriger als bei Ölverschmutzungen.⁸⁴

Persistente organische Schadstoffe (POP: Englische Abkürzung für persistent organic pollutant)

POP sind vor allem synthetische Stoffe anthropogenen Ursprungs. Sie werden industriell hergestellt oder entstehen als unbeabsichtigte Nebenprodukte in Industrie- oder Verbrennungsprozessen. Sie können aber auch aus Müll und aus der Müllverbrennung, durch den Verkehr und in der Landwirtschaft (einige POP sind Pestizide, wie z. B. DDT) freigesetzt werden. Sie sind von globaler Bedeutung aufgrund ihrer weiträumigen Transportfähigkeit (sie sind global verteilt und können in die Atmosphäre gelangen), aufgrund ihrer Persistenz in der Umwelt (bis zu mehreren Jahrzehnten oder Jahrhunderten), ihrer Fähigkeit zur Bioakkumulation und insbesondere Biomagnifikation in Ökosystemen und Organismen (die höchsten Konzentrationen finden sich daher in Organismen an der Spitze der Nahrungskette: Hintergrundwerte von POP können im menschlichen Körper gefunden werden) und ihrer stark negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Die Exposition des Menschen kann – für einige dieser Verbindungen und Szenarien, die auch niedrige POP-Werte berücksichtigen – unter anderem zu einem erhöhten Krebsrisiko, Fortpflanzungsstörungen, Veränderungen des Immunsystems, Verhaltensstörungen, Störungen im Nervensystem und mehr Geburtsfehlern führen.⁸⁵

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK bilden eine Gruppe von Chemikalien, die in Kohle, Rohöl und Benzin vorkommen. Sie entstehen auch bei der Verbrennung von Kohle, Öl, Gas, Holz, Abfall und Tabak. Wird bei hohen Temperaturen gekocht, können PAK auch in Lebensmitteln entstehen. Im Jahr 2010 hat das IARC Monographs Programme Versuchsdaten für 60 einzelne PAKs überprüft. Von diesen 60 PAK ist BaP als krebserregend für den Menschen (Gruppe 1) eingestuft. An-

81. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/281>.

82. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0014/123080/AQG2ndEd_6_10Nickel.pdf.

83. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

84. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31373>.

85. https://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/pops/en/.



dere PAK werden als wahrscheinlich krebserregend für den Menschen (Gruppe 2A) oder möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B) eingestuft, während eine weitere Gruppe aufgrund begrenzter oder unzureichender Versuchsdaten hinsichtlich ihrer krebserregenden Wirkung auf den Menschen nicht klassifiziert werden kann (Gruppe 3). PAK haben einen ähnlichen Mechanismus der karzinogenen Wirkung sowohl beim Menschen als auch bei Tierversuchen. Einige PAK haben bei Versuchstieren, die PAK ausgesetzt waren, Krebs, Fortpflanzungsprobleme, Schäden an der Haut, an Körperflüssigkeiten und am Immunsystem verursacht. PAK gelten als besorgniserregende Stoffe, weil sie persistent sind und über lange Zeiträume in der Umwelt verbleiben können.⁸⁶

Primäre und sekundäre organische Aerosole (POA und SOA)

Ein Aerosol ist ein Gemisch aus kleinen festen oder flüssigen Schwebeteilchen in der Luft. POA werden direkt von verschiedenen, sowohl natürlichen (Vegetation und Mikroorganismen) als auch anthropogenen Quellen (wie die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und von Biomasse) freigesetzt. SOA entstehen durch die atmosphärische Umwandlung organischer Verbindungen.

Quecksilber (Hg)

Quecksilber und seine Verbindungen sind allgegenwärtig in der Natur. Quecksilber gelangt durch natürliche Vorgänge wie Vulkanaktivität und Gesteinsverwitterung in die Umwelt, aber die Hauptquelle für Freisetzungen von Quecksilber sind menschliche Tätigkeiten, insbesondere Kohlekraftwerke, Kohleöfen zum Heizen und Kochen in Haushalten sowie industrielle Prozesse.⁸⁷ Die Belastung mit Quecksilber kann – auch in geringen Mengen – zu ernsthaften Gesundheitsproblemen führen und stellt eine Gefahr für ungeborene Kinder und

Säuglinge dar. Die Exposition von Menschen erfolgt hauptsächlich durch die Inhalation von elementarem Quecksilberdampf, der aus Amalgam-Zahnfüllungen freigesetzt wird, und durch den Verzehr von Fisch und Schalentieren, die mit Methylquecksilberverbindungen kontaminiert sind.⁸⁸ Die IARC stuft letztere als möglicherweise krebserregend für den Menschen ein.⁸⁹

Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid ist ein farbloses, stechend riechendes Gas. Es entsteht aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Verhüttung schwefelhaltiger Mineralerze. Die wichtigste anthropogene Quelle von SO₂ ist die Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Brennstoffe. SO₂ kann den Atemapparat und die Lungenfunktionen beeinträchtigen und zu Augenreizungen führen. An Tagen mit höheren SO₂-Werten steigen die Krankenhauseinweisungen wegen Herzerkrankungen und die Sterblichkeit. Wenn sich SO₂ mit Wasser verbindet, entsteht Schwefelsäure, die Hauptbestandteil des sauren Regens ist.⁹⁰

Stickstoffoxide (NO_x)

NO_x ist eine Sammelbezeichnung für Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). Diese Gase sind giftig und reagieren mit anderen Stoffen in der Luft, sodass sie für die Bildung von Feinstaub, Ozon und saurem Regen verantwortlich sind. NO_x-Gase entstehen in der Regel bei der Verbrennung von Kraftstoffen, wie z.B. Kohlenwasserstoffen, vor allem bei hohen Temperaturen, wie z. B. in Automotoren oder bei der Wärme- und Stromerzeugung. In Gebieten mit hohem Kfz-Verkehrsaufkommen, wie z. B. in Großstädten, können die freigesetzten Stickstoffoxide eine bedeutende Quelle der Luftverunreinigung sein. NO_x sind sehr giftig und verursachen starke Entzündungen der Atemwege.⁹¹

86. <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/pahs.pdf>

https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/pahs_factsheet_cdc_2013.pdf

<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Tumour-Site-Concordance-And-Mechanisms-Of-Carcinogenesis-2019>

87. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

88. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/

89. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/

90. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

91. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health);
<https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>

ANHANG 2

RELEVANTE PROJEKTE IM ALPENRAUM

ALPNAP: INTERREG IIIB-PROGRAMM „ALPINE SPACE“

ALPNAP (Überwachung und Minimierung von verkehrsbedingtem Lärm und Luftverschmutzung entlang der Hauptverkehrsachsen in den Alpen) wurde 2007 abgeschlossen. Das dreijährige Projekt (2005-2007) wurde aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Europäischen Interreg-IIIB-Alpenraumprogramms kofinanziert. Ziel von ALPNAP war es, die neuesten wissenschaftsbasierten Methoden zur Beobachtung und Vorhersage von Luftverschmutzung und Lärmbelastung entlang der transalpinen Verkehrsachsen zusammenzustellen und zu beschreiben, und die damit verbundenen Einflüsse auf die Gesundheit und das Wohlbefinden zu analysieren. Die Bedeutung von ALPNAP wurde durch die koordinierte Zusammenarbeit mit dem gleichzeitig durchgeführten Projekt MONITRAF (Monitoring der Auswirkungen des Straßenverkehrs im Alpenraum und Entwicklung gemeinsamer Maßnahmen), einem Netzwerk aus regionalen Verkehrs- und Umweltbehörden im Alpenraum, verstärkt. Ziel von MONITRAF war es, umfassende Maßnahmen zur Verringerung der negativen Auswirkungen des Straßenverkehrs bei gleichzeitiger Steigerung der Lebensqualität im Alpenraum zu entwickeln.

<http://alpnap.i-med.ac.at/>

<http://alpnap.i-med.ac.at/results-en.html>

LIFE BRENNER LEC: EMISSIONSARMER BRENNERKORRIDOR (ITALIEN)

BrennerLEC steht für „Brenner Low Emissions Corridor“ bzw. emissionsarmer Brennerkorridor. BrennerLEC zielt darauf ab, den Transitverkehr auf der Brennerachse in besseren Einklang mit der Gesundheit der Bevölkerung und den besonderen Eigenschaften des Gebiets zum Schutz der alpinen Umwelt zu bringen.

Durch Geschwindigkeitsregelung und Steuerung

der Verkehrsströme soll ein größtmöglicher Nutzen für die Umwelt und den Verkehr erzielt werden. Dabei soll die Wirksamkeit des Projektes belegt werden, die dann auf andere Strecken ausgeweitet werden können.

<http://brennerlec.life/en/home>

ESPACE MONT BLANC (FRANKREICH, ITALIEN, SCHWEIZ)

Das Projekt Espace Mont Blanc ist eine grenzüberschreitende Kooperationsinitiative der französischen Départements Savoyen (FR) und Hochsavoyen (FR), des Aostatal (IT) und des Kantons Wallis (CH) für den Schutz des einzigartigen Natur- und Umwelterbes und für gemeinsame wirtschaftliche und touristische Aktivitäten. Im Rahmen des Espace Mont Blanc wurde 1998 eine grenzüberschreitende Luftmesskampagne gestartet. Diese Maßnahme wird durch die Implementierung der kontinuierlichen Luftqualitätsüberwachung dauerhaft fortgesetzt. Von der Wirksamkeit der Maßnahmen profitiert der gesamte Alpenraum durch die Reduktion der lokalen Emissionsquellen und des Schadstofftransports aus der Poebene.

<http://www.espace-mont-blanc.com/>

MONARPOP (ÖSTERREICH, DEUTSCHLAND, ITALIEN, SCHWEIZ, SLOWENIEN)

Das Projekt Monarpop (Monitoring Network in the Alpine Region for Persistent and other Organic Pollutants) wurde 2008 abgeschlossen; es war ein Gemeinschaftsprojekt der EU und der Länder Österreich, Deutschland, Italien, Schweiz und Slowenien. Als Pilotprojekt untersuchte Monarpop erstmals die Belastung der Alpen mit persistenten organischen Schadstoffen (Phase 1) und formulierte aufgrund der Ergebnisse Schlussfolgerungen (z.B. eine gemeinsame Erklärung) und Umsetzungsschritte zur



Reduktion dieser Belastung (Phase 2). Die Alpen sind eine Hauptsenke und zugleich Barriere für weiträumig verfrachtete POP. Das ist die wichtigste Erkenntnis aus dem Monarpop-Projekt.

Das Projekt untersuchte die Luftverschmutzung im Alpenraum durch POP und andere organische Schadstoffe. 12 Partner arbeiteten in dem Netzwerk über ein Alpenraumprogramm der Europäischen Union zusammen. Pflanzen, Boden und Luft wurden in verschiedenen Höhenprofilen untersucht. Deposition und Luftströmung gaben dabei Aufschluss über den Weg und die Herkunft der Luftmassen. Durch kontinuierliche Luft- und Niederschlagsmessungen an ausgewählten Berggipfeln für das Zeitreihen-Monitoring trug Monarpop zur Wirkungskontrolle der Stockholm-Konvention bei. Eine Verlängerung des Projekts war notwendig, um Schlussfolgerungen über die geografische Herkunft und die jahreszeitlichen Unterschiede in der Herkunft von POP in den Alpen ableiten zu können.

<http://www.monarpop.at/>

<https://keep.eu/project/122/monitoring-network-in-the-alpine-region-for-persistent-and-other-organic-pollutants>

LIFE PREPAIR (VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT IM GEBIET DER POEBENE) (ITALIEN)

Ziel von „PrepAir (Po regions engaged to policies of air)“ ist es, die in den Regionalplänen und in der Vereinbarung der Regionen der Poebene festgelegten Maßnahmen in größerem Maßstab umzusetzen, um die Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten: Das geografische Gebiet des Integrierten Projekts (IP) ist die Poebene inklusive der Regionen und Städte, die den größten Einfluss auf die Luftqualität in dem Gebiet haben. Die Maßnahmen des IP erstrecken sich auch auf Slowenien, um gleichzeitig den Schadstofftransport über die Adria zu untersuchen und zu reduzieren.

Im Rahmen des Projekts sollen Maßnahmen in den Regionalplänen der Poebene in größerem Maßstab für mehr Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit eingeführt werden. Die norditalienische Poebene ist ein bedeutendes Quellgebiet für Feinstaub, NO_x, NO₂, NH₃ und O₃. Dieses Gebiet erstreckt sich über die norditalienischen Regionen und umfasst mehrere Ballungsräume wie Mailand, Turin und Bologna. Der Transport und die Ausbreitung von Schadstoffen werden durch die morphologischen Einflüsse auf die Poebene bestimmt. Zur weiteren Reduktion der Hintergrundbelastung der Luft haben sich alle Regionen der Poebene zusammengeschlossen und Maßnahmen geplant, um die

Emissionen durch Biomasseverbrennung, Güter- und Personenverkehr, Heizungsanlagen, Industrie, Energie und Landwirtschaft in den kommenden Jahren zu verringern. Sie haben deshalb eine Vereinbarung für die Entwicklung und Abstimmung kurz- und langfristiger Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in der Poebene unterzeichnet. Die Projektmaßnahmen werden auf Slowenien ausgeweitet, um den Schadstofftransport über die Adria zu untersuchen und zu reduzieren.

<http://www.lifeprepare.eu/>

PUREALPS (DEUTSCHLAND, ÖSTERREICH, ITALIEN)

Ziel des PureAlps-Projekts von Bayern (Deutschland) und Österreich ist es, die Alpen vor den schädlichen Auswirkungen von persistenten organischen Schadstoffen (POP) zu schützen und die Luftkonzentrationen sowie den Eintrag von POP durch Regen, Schnee und Staub zu überwachen. 106 Stoffe und Stoffklassen in Verbindung mit POP wurden in der Luft an der Umweltforschungsstation Schneesfernerhaus (UFS) auf der Zugspitze untersucht.

GUAN – DEUTSCHES NETZWERK FÜR ULTRAFEINSTAUB (DEUTSCHLAND, ITALIEN, ÖSTERREICH, SCHWEIZ)

Ultrafeinstaub kann eine Gefahr für Menschen darstellen. GUAN ist ein kooperatives Messnetz, welches in Deutschland neue wissenschaftliche Grundlagen für die Bewertung des Ultrafeinstaubes schafft. Hauptmessgrößen sind die atmosphärischen Partikelanzahl-Größenverteilungen und Ruß-Massenkonzentrationen. Mittlerweile ist das kooperative Netzwerk auf 17 Messstationen angewachsen. Die gesammelten Messdaten können für Revisionen der EU-Luftreinhalt Richtlinie genutzt werden. Die GUAN-Messstationen im Alpenraum befinden sich an der UFS auf der Zugspitze und am Hohenpeissenberg an den nördlichen Ausläufern der Alpen.

ERMITTLUNG DES REGIONALEN CO₂-BUDGETS AUS MESSREIHEN DER ATMOSPHÄRE (DEUTSCHLAND, ITALIEN, ÖSTERREICH UND SCHWEIZ)

Die Bestimmung des CO₂- und CH₄-Budgets des Alpenraums aufgrund der Luftmessungen lokaler

Beobachtungsstellen ist möglich und zuverlässig. Zudem kann die Projektmethode für die zuverlässige Messung klimaspezifischer Quellen und Senken sowie jahreszeitlicher Schwankungen genutzt werden.

VOTALP I UND VOTALP II – VERTIKALER OZONTRANSPORT IN DEN ALPEN (SCHWEIZ, ÖSTERREICH, DEUTSCHLAND, EU)

Das Projekt Votalp (Vertikaler Ozontransport in den Alpen) wurde Ende 1999 abgeschlossen; es war ein Gemeinschaftsprojekt der Universität für Bodenkultur Wien in Österreich, der Universität Köln und des Fraunhofer-Instituts für Atmosphärische Umweltforschung Garmisch-Partenkirchen in Deutschland, des Paul Scherrer Instituts, der Universität Bern und der MetAir AG in der Schweiz, des Nationalen Forschungsrates in Italien sowie der Universität Ljubljana in Slowenien. Schwerpunkt des Projekts war die Untersuchung des verstärkten vertikalen Austauschs über den Alpen sowie weiterer Prozesse, die für erhöhte Ozonkonzentrationen relevant sein könnten. Die Untersuchungen wurden in zwei aufeinander folgenden Projekten durchgeführt: Votalp I und Votalp II. Gefördert wurden sie von der Europäischen Kommission im Rahmenprogramm IV, Umwelt und Klima, und von der Schweizer Regierung.

Das Hauptziel von Votalp war die Untersuchung der vertikalen Schadstoffverteilung im Alpenvorland durch Flugmessungen, einschließlich Ozonuntersuchungen. Ebenfalls wurden die „Schadstoffbahnen“ von Mailand und München im Alpenraum durch Messflüge untersucht und mit früheren Kampagnen verglichen. Im Alpenvorland war ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen zu beobachten. Mit diesen Untersuchungen wurde erstmals die vertikale Schadstoffverteilung über den Gebirgsausläufern bestimmt. Mailand ist eine wesentliche Quelle für Schadstoffe. In den Sommermonaten werden die Schadstoffe aus dieser Region häufig in die Alpen getragen.

<https://imp.boku.ac.at/votalp/>

VAO – VIRTUELLES ALPENOBSERVATORIUM (DEUTSCHLAND, ITALIEN, FRANKREICH, ÖSTERREICH UND SCHWEIZ)

Das Projekt „Virtuelles Alpenobservatorium VAO“ dient der Vernetzung der Forschungsaktivitäten europäischer Höhenforschungsstationen für eine bessere Klima- und Umweltbeobachtung. Es unterstützt Forschungsaktivitäten der Höhenfor-

schungsstationen durch den Datenaustausch und die Durchführung gemeinsamer Forschungsprojekte. In Verbindung mit dem Zugang zu anderen, zum Beispiel satellitengestützten Daten und leistungsfähigen Rechnersystemen schafft das VAO einzigartige Forschungsmöglichkeiten.

GAW – GLOBALE ATMOSPHÄRENÜBERWACHUNG (DEUTSCHLAND, ITALIEN, FRANKREICH, ÖSTERREICH UND SCHWEIZ)

Das Programm Global Atmosphere Watch (GAW) der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ist eine Partnerschaft, an der WMO-Mitglieder beteiligt sind. Es bringt Netzwerke und kooperierende Organisationen und Institutionen zusammen, die fundierte wissenschaftliche Daten und Informationen über die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und ihre natürliche und anthropogene Veränderung bereitstellen und zum besseren Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, weiträumigem grenzüberschreitendem Transport von Luftverunreinigungen und Biosphäre beitragen.

GAW konzentriert sich auf Aerosole, Treibhausgase, ausgewählte reaktive Gase, UV-Strahlung und Niederschlagsbeschaffenheit (oder atmosphärische Deposition). GAW schafft ein Netzwerk für Forschung, eine Datenplattform, ein Modellierungs- und Monitoringnetzwerk.

BB-CLEAN – STRATEGIC TOOLS TOWARDS A SUSTAINABLE USE OF BIOMASS FOR LOW CARBON DOMESTIC HEATING (ITALIEN, FRANKREICH, SLOWENIEN UND ÖSTERREICH): STRATEGISCHE INSTRUMENTE FÜR EINE NACHHALTIGE NUTZUNG VON BIOMASSE BEI CO₂-ARMEN PRIVATEN HEIZUNGEN

Im Alpenraum müssen lokale Ressourcen wie Holz besser genutzt und dabei gleichzeitig die Auswirkungen auf Umwelt und Klima reduziert werden. Biomasse ist eine lokal verfügbare wirtschaftliche Ressource und daher für die Bevölkerung sehr wichtig. Bei der Verbrennung von Holz wird der Ausstoß fossiler CO₂-Emissionen in die Atmosphäre vermieden. Dennoch führt der Einsatz einer falschen Technik bei der Biomasseverbrennung (BB) zu schwerwiegenden Feinstaubemissionen (PM), die der Bevölkerung nicht bewusst sind. Das Hauptziel des Projekts besteht daher darin, transnationale Strategien für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse für private Heizungen zu entwickeln, um



diese Auswirkungen zu minimieren und die intelligente Nutzung dieser Ressource im Alpenraum zu fördern. Die Entwicklung gemeinsamer politikrelevanter Dokumente wird die Anwendung einheitlicher Regeln für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse im Alpenraum unterstützen.

ACTRIS / ACTRIS II AEROSOL, CLOUDS AND TRACE GASES RESEARCH INFRASTRUCTURE (ÖSTERREICH, FRANKREICH, DEUTSCHLAND, ITALIEN UND SCHWEIZ)

Actris (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) ist eine paneuropäische Initiative zur Konsolidierung von Maßnahmen zwischen europäischen Partnern, die qualitätsgesicherte Beobachtungen von Aerosolen, Wolken und Spurengasen durchführen. Verschiedene atmosphärische Prozesse stehen zunehmend im Mittelpunkt vieler gesellschaftlicher und ökologischer Herausforderungen, wie z. B. Luftqualität, Gesundheit, Nachhaltigkeit und Klimawandel. ACTRIS soll beim Umgang mit diesen Herausforderungen helfen, indem es WissenschaftlerInnen eine Plattform bietet, auf der diese ihre Anstrengungen besser bündeln können, und indem Beobachtungsdaten über Aerosole, Wolken und Spurengase offen für alle zugänglich gemacht werden.

CLIMGAS-CH (HALCLIM) / AGAGE – MESSUNG VON HALOGENIERTEN TREIBHAUSGASEN AUF DEM JUNGFRAUJOCH

Zwischen dem Jahr 2000 und 2018 wurden im Rahmen des schweizerischen Nationalprojekts HALCLIM unter der Leitung von Empa und BAFU (Bundesamt für Umwelt) auf dem Jungfraujoch mehr als 50 ozonabbauende Substanzen und Treibhausgase kontinuierlich gemessen. Im Projekt CLIMGAS-CH, das gemeinsam von Empa und BAFU geleitet wird, werden seit 2018 alle Nicht-CO₂-Treibhausgase (halogenierte Kohlenwasserstoffe, Methan und Lachgas) analysiert und ihre regionalen Emissionen abgeschätzt. Über diese Tätigkeit trägt auch die gemeinsame Messtechnik GC-MS (Gaschromatograph-Massenspektrometer) zum AGAGE-Messnetz bei. Dies ermöglicht also (1) die Bewertung der schweizerischen und regionalen europäischen Emissionen von Nicht-CO₂-Treibhausgasen, (2) den Beitrag zur Kontrolle des nationalen Emissionsinventars und (3) die Lokalisierung von Quellen und dominanten Quellregionen von Nicht-CO₂-Treibhausgasen mit Hilfe atmosphärischer Transportmodelle, und (4) können kontinuierliche Langzeitmessungen verschiedener halogenerter

Kohlenwasserstoffe zur Identifizierung globaler und regionaler Emissionen verwendet werden. So wird HFC-134a in großen Mengen als Kühlmittel (z.B. in mobilen Klimaanlage) oder HFC-125 in stationären Kältemischungen verwendet. Die Konzentrationen beider Gase steigen derzeit an (Früherkennung).

LUFTVERSCHMUTZUNG DURCH BLACK CARBON – DIE FALLSTUDIE LOŠKI POTOK

Die Studie konzentrierte sich auf eine Untersuchung zur Luftverschmutzung durch Black Carbon und Feinstaub, die im Winter 2017/2018 in der ländlichen Gegend der Gemeinde Loški Potok durchgeführt wurde. Die Messergebnisse zeigen die Hauptquellen der Luftverschmutzung durch Black Carbon in diesem Gebiet: Private Heizungen, die mit Biomasse betrieben werden (fast 80 % aller Black Carbon-Emissionen), und ungünstige Wetterverhältnisse für die Verdünnung der Schadstoffe bei Temperaturinversionen. Im Winter 2017/18 waren die durchschnittlichen Konzentrationen in der Retje-Senke sogar noch höher als in Ljubljana, was auf das Problem der Luftverschmutzung auch in ländlichen Räumen (Hügel-Gebirge) hinweist.

OVERVIEW OF THE IMPACT OF WOOD BURNING EMISSIONS ON CARBONACEOUS AEROSOLS AND PM IN LARGE PARTS OF THE ALPINE REGION (ÜBERBLICK ÜBER DIE AUSWIRKUNGEN DER EMISSIONEN AUS DER HOLZVERBRENNUNG AUF KOHLENSTOFFHALTIGE AEROSOLE UND PM IN GROSSEN TEILEN DES ALPENRAUMS): IN JOURNAL ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 89 (2014) 64-75

In den vergangenen Jahren konzentrierten sich die Maßnahmen zur Reduktion der Feinstaubbelastung in vielen europäischen Ländern auf die Straßenverkehrsemissionen. Deutlich weniger Aufmerksamkeit wurde den Emissionen aus der häuslichen Holzverbrennung geschenkt, obwohl deren Bedeutung als Quelle von atmosphärischem Feinstaub (PM) im Alpenraum in vielen Studien nachgewiesen wurde. Hier wird der aktuelle Kenntnisstand in Bezug auf den Beitrag der Emissionen aus der Holzverbrennung zu den Immissionskonzentrationen von elementarem Kohlenstoff (EC), organischem Kohlenstoff (OC) und Feinstaub (PM) im Alpenraum überprüft. Die publizierten Ergebnisse, die mit verschiedenen Ansätzen (z.B. Makrotracer-Methode, multivariate Rezeptormodellierung, chemische Massenbilanz-Modellierung und

sogenannte Aethalometer-Modellierung) erzielt wurden, werden in einem Umgebungs-Monotracer-Ansatz verwendet, um repräsentative Zusammenhänge zwischen Tracern für Holzverbrennung (Levoglucosan und Mannosan) und EC, OC und PM aus der Holzverbrennung abzuschätzen. Die gefundenen Zusammenhänge werden auf verfügbare Umgebungsmessungen von Levoglucosan und Mannosan an alpinen Standorten angewandt, um die Beiträge der Emissionen aus der Holzverbrennung zu den durchschnittlichen Werten von kohlenstoffhaltigen Aerosolen und PM an diesen Standorten abzuschätzen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass PM aus der Holzverbrennung allein an Wintertagen oft bis zu 50 % und mehr des EU-Tagesgrenzwertes für PM₁₀ in mehreren Alpentälern ausmacht. Die Konzentrationen kohlenstoffhaltiger Aerosole in diesen Tälern sind oft bis zu sechsmal höher als in städtischen oder ländlichen Gebieten im Alpenvorland.

AUSWIRKUNGEN DES AUSTAUSCHS VON ALTEN HOLZHEIZUNGEN GEGEN EFFIZIENTE HOLZÖFEN AUF DIE FEINSTAUBEMISSIONEN

Diese Auswirkungen werden durch Messungen vor Ort vor und nach dem Austausch des Geräts bewertet (Messungen im Arve-Tal, Hochsavoyen (FR)). Die Tests werden direkt vor Ort durchgeführt, wobei die realen Betriebsbedingungen der Geräte in Bezug auf Leistung, Holzart und -feuchtigkeit, Holzladung, Kaminzug usw. berücksichtigt werden. 35 Standorte, darunter 19 Erneuerungen mit Stückholzheizungen und 16 mit Pelletheizungen, wurden untersucht. Die erzielten Ergebnisse geben Aufschluss über die Auswirkungen des Geräteauswechsels auf die Schadstoffemissionen und die Energieeffizienz. Beim Austausch einer alten Heizung gegen eine neue Stückholzheizung lässt sich folgendes feststellen: Energieeffizienzsteigerung um 16 Punkte; Reduktion der Feinstaubbelastung um 57 %. Beim Austausch einer alten Heizung gegen eine Pelletheizung war folgendes nachzuweisen: Energieeffizienzsteigerung um 34 Punkte; Reduktion der Feinstaubbelastung um 44 %.

LANGFRISTIGES MONITORING VON PARTIKELN AUS DER VERBRENNUNG VON BIOMASSE IN GRENOBLE

Diese Studie basiert auf Messungen, die im Rahmen des nationalen „CARA-Programms“, eines Programms zur Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung von PM, in enger Zusammen-

arbeit mit Atmo Auvergne Rhône-Alpes und dem Institut für Umweltgeowissenschaften (IGE) durchgeführt wurden. Analysiert wurden die zwischen 2008 und 2017 gesammelten Messdaten. Ziel dieses Monitorings ist es, den Einfluss der Biomasseverbrennung auf die PM-Konzentration zu bestimmen, eine Quelle, die als eine der zentralen umweltbelastenden anthropogenen Aktivitäten gilt, vor allem in Alpentälern. Ein weiteres Ziel ist die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Entwicklung von PM aus Biomasse (mit Levoglucosan als Tracer der Biomasseverbrennung) und PAK-Konzentrationen. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Abnahme der PM₁₀-Belastung, aber auch der EC- und PAK-Konzentrationen. Die Konzentrationen von PM aus der Biomasseverbrennung weisen hingegen keinen signifikanten Trend auf. Ihr relativer Beitrag zu PM₁₀ hat daher zugenommen: Im Winter ist dieser Beitrag von 20 % im Zeitraum 2009-2010 auf 30-35 % im Zeitraum 2016-2017 angestiegen. Diese Ergebnisse deuten auf eine Verringerung der PM-Emissionen aus anderen Quellen als der Biomasseverbrennung hin, während die Holzverbrennung eine der zentralen PM-Quellen in Grenoble bleibt.

RÄUMLICHE UND ZEITLICHE SCHWANKUNGEN DER WICHTIGSTEN CHEMISCHEN KOMPONENTEN UND SPURENVERBINDUNGEN VON PM₁₀ IM METROPOLITANEN FRANKREICH

Diese Studie basiert auf Messungen, die im Rahmen des nationalen „CARA-Programms“ (ein Programm zur Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung von Feinstaub) und vom Institut für Umweltgeowissenschaften (IGE) durchgeführt wurden. Sie analysiert die jahreszeitliche und räumliche Variabilität der Konzentrationsmittelwerte bestimmter Partikelverbindungen, die an 19 Standorten verschiedener Art (ländlicher Raum, städtischer Raum, Verkehrswege, Alpentäler) gemessen wurden. Die Studie wurde zusammen mit einer breit angelegten Untersuchung zu Feinstaubquellen mit Hilfe von Positive Matrix Factorization durchgeführt. Diese Untersuchung bietet einen Gesamtüberblick über die wichtigsten Feinstaubquellen und ihre Auswirkungen je nach Art des Standorts. In Bezug auf die Alpentäler (siehe Seite 11 und 13 des LCSQA-Berichts) weisen die Ergebnisse höhere Konzentrationen an organischer Substanz und Levoglucosan im Winter (Standorte Passy, Marnaz und Chamonix) auf, was auf den Einfluss der Biomasseverbrennung hinweist.



SOURCES (FRANKREICH)

Es handelt sich um ein Forschungsprogramm, das von Ademe, der französischen Behörde für ökologischen Wandel, gegründet, vom IGE geleitet und vom Prüfinstitut Ineris koordiniert wird. Es wurde zur harmonisierten Sammlung und Untersuchung von 15 Datensätzen chemischer Verbindungen aus PM₁₀ aufgelegt, die für PMF-Studien über einen Zeitraum von 5 Jahren (2012-2016) in Frankreich zusammengetragen wurden. Es umfasst die Standorte Chamonix und Revin (Weber S. et al., 2019).

<http://pmsources.u-ga.fr/>

NETDESA: EMISSIONEN, TRANSPORT UND DEPOSITION VON AEROSOLEN UNTER EXTREM STAGNIERENDEN BEDINGUNGEN IN GEBIETEN, DIE DURCH MENSCHLICHE AKTIVITÄTEN IN BERGREGIONEN BEEINFLUSST WERDEN

Der Lebenszyklus von Aerosolen ist von Interesse für das Verständnis und die Vorhersage der Luftverschmutzung, unabhängig davon, ob sie vom Menschen verursacht (vom Autoverkehr bis hin zu unbeabsichtigten Emissionen) oder natürlich freigesetzt werden. Dieses Projekt zielt darauf ab, die Emissionen, den Transport und die Deposition von Aerosolen in Umgebungen mit steilem Relief und bei atmosphärischer Stagnation besser zu simulieren, wenn die Konzentrationen die gesetzlichen Grenzwerte für die Luftqualität überschreiten.

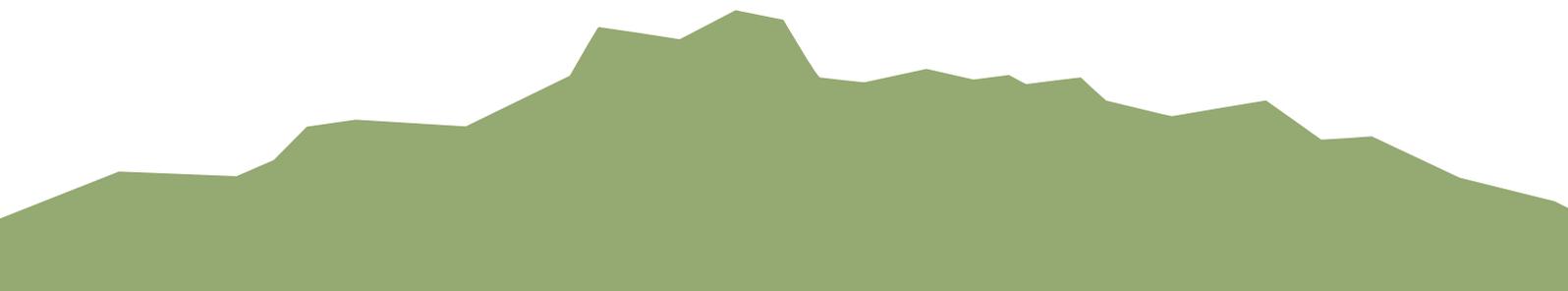


Die **Alpenkonvention** ist als erster internationaler Vertrag, der sich dem Schutz und der nachhaltigen Entwicklung eines ganzen Gebirges - der Alpen - widmet, eine Pionierin ihrer Art. Die Konvention wurde von den acht Alpenländern (Österreich, Frankreich, Deutschland, Italien, Liechtenstein, Monaco, Slowenien und der Schweiz) sowie der Europäischen Union unterzeichnet und trat 1995 in Kraft.

Die Grundlagen der Alpenkonvention sind die Rahmenkonvention und die Durchführungsprotokolle und Deklarationen, welche die Leitprinzipien und einen Rahmen für die transnationale Zusammenarbeit in Schlüsselbereichen der alpinen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft vorgeben. Basierend auf diesen Grundlagen arbeitet die Konvention daran, Partnerschaften aufzubauen und sektorenübergreifende Ansätze zu etablieren, um den dringendsten Herausforderungen in den Alpen zu begegnen.

Die Arbeit der Alpenkonvention ist auf mehrere Organe aufgeteilt, die in unterschiedlichen Formaten arbeiten: Die alle zwei Jahre stattfindende Alpenkonferenz, die Arbeit der Vertragsparteien, der Ständige Ausschuss, der Überprüfungsausschuss, mehrere Thematische Arbeitsgremien und das Ständige Sekretariat. Zahlreiche Beobachterorganisationen tragen ebenfalls zur Umsetzung der Konvention bei.

Die Alpenkonvention ist wegweisend für ein nachhaltiges Leben in den Alpen und setzt sich für den Erhalt ihres einzigartigen Natur- und Kulturerbes ein – jetzt und für die Zukunft.



Was wissen wir über die Luftqualität in den Alpen, die ein wesentliches Element dieser Region, dem Dach Europas, ist?

Und was kann getan werden, um sie zu verbessern? Solche und andere Fragen werden in diesem Bericht erforscht, der eine gründliche Untersuchung der alpinen Luftqualität sowie der Phänomene und Trends, die sie beeinflussen, durchführt.

Der Bericht enthält auch eine Liste von intelligenten Lösungen, die im gesamten Alpenraum umgesetzt wurden, sowie eine Reihe von politischen Empfehlungen, um dieses wichtige öffentliche Gut zu erhalten.

