



Luftqualität nach 30 Jahren Luftreinhaltung

eine Standortbestimmung

11/2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Übersicht	7
3. Luftschadstoffe und Luftqualität	11
4. Die Folgen zu hoher Luftbelastungen	35
5. Quellen und Emissionen von Luftschadstoffen	43
6. Ausbreitung von Luftverunreinigungen	53
7. Die Luftreinhaltung ist gesetzlich geregelt	61
8. Die Aufgaben des Kantons	67
9. Was erwartet uns in den nächsten Jahren?	79
Weiterführende Informationen	83
Glossar	85



Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser

Zum ersten Mal legt der Kanton Solothurn einen umfassenden Bericht über den Zustand der Luft und die vielfältigen Anstrengungen zur Verminderung von Emissionen vor. Die Standortbestimmung fällt zu einem grossen Teil erfreulich aus: In den gut dreissig Jahren seit dem Inkrafttreten von Umweltschutzgesetz und Luftreinhalte-Verordnung hat sich die Luftqualität erheblich verbessert. So werden mittlerweile auch beim einstigen Problemschadstoff Feinstaub die Grenzwerte fast überall eingehalten. Dieser Befund wird vielleicht viele überraschen, werden doch die Schritt für Schritt erzielten Verbesserungen in der Öffentlichkeit noch wenig wahrgenommen. Wesentlich zum Erfolg beigetragen hat das Amt für Umwelt, dem die grosse und oftmals schwierige Umsetzung und Kontrolle zahlloser Emissionsvorschriften übertragen ist.

Trotz aller Erfolge ist das Ziel unserer Bundesverfassung – eine für Mensch und Umwelt unbedenkliche Luftqualität – noch nicht erreicht. Sorgen bereiten vor allem die nach wie vor zu hohen Immissionen von Ozon und Ammoniak. Wir werden daher um weitere Massnahmen nicht herumkommen. Die dafür nötigen politischen Entscheide werden allerdings mehrheitlich ausserhalb des Kantons gefällt. Wie die gegenwärtigen Vorgänge um den «Dieselskandal» zeigen, sind nicht selten internationale Vereinbarungen notwendig, um einen Schritt weiter zu kommen. Der Handlungsspielraum des Kantons darf allerdings nicht unterschätzt werden: Gerade beim Ammoniak aus der Landwirtschaft, dessen Immissionen zur Überdüngung und

damit zur Beeinträchtigung von empfindlichen Ökosystemen führen, sind die kantonalen Möglichkeiten grösser. Gemeinsam mit der Landwirtschaft sollen in den nächsten Jahren wirksame Massnahmen entwickelt und umgesetzt werden.

Der Kanton will künftig im Bereich Luftreinhaltung seine Vorbildfunktion noch stärker wahrnehmen. Die kantonalen Fahrzeuge mit Diesel- oder Benzinmotor sollen sukzessive durch solche ohne schädliche Abgase ersetzt werden. Bei Elektrofahrzeugen wird darauf geachtet, dass der benötigte Strom aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt wird. Der Kanton wird zudem seine bisherigen Anstrengungen fortführen, auf fossile Energien zur Beheizung und zur Warmwassererzeugung bei seinen Gebäuden zu verzichten und seine Dachflächen, die zur Produktion von Solarstrom geeignet sind, dafür nutzen. Neben seiner behördlichen Tätigkeit trägt der Kanton damit auch direkt zu den Emissionsminderungen bei.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und neue, anregende Erkenntnisse über unsere Luft.

Roland Fürst
Regierungsrat



1. Einleitung

Die Qualität unserer Atemluft hat sich in den letzten Jahrzehnten laufend verbessert. Die «rauchenden Schlote» und der auffällige Geruch von Fahrzeugabgasen, früher Sinnbild von schlechter Luft, sind schon vor längerer Zeit aus unserem Alltag verschwunden. Aber müssen wir uns um die Luftqualität nun gar keine Sorgen mehr machen? Braucht es trotz der Erfolge weitere Anstrengungen zur Vermeidung oder Verminderung von Emissionen? Wo bestehen noch gesundheitliche Risiken durch zu hohe Schadstoffkonzentrationen? Das nötige Wissen zur Beantwortung solcher Fragen ist in der Öffentlichkeit nicht allzu verbreitet, und in den Medien fristen diese Themen eher ein Schattendasein. Dies dürfte nicht zuletzt daran liegen, dass es sich um schwierige technische und wissenschaftliche Sachverhalte handelt, deren Verständnis einiges Wissen voraussetzt.

Eine zusammenfassende, allgemein verständliche Darstellung der Themen Luftqualität und Luftreinhaltung im Kanton Solothurn fehlte bis anhin. Mit diesem Bericht soll nun die Lücke geschlossen werden. Zudem scheint es nach nunmehr 30 Jahren kantonalen Wirkens zur Luftreinhaltung an der Zeit, eine Standortbestimmung vorzunehmen.

In einer Übersicht werden zuerst der aktuelle Zustand, die Zusammenhänge und die Begriffe kurz erläutert. Dies vermittelt eine erste, in sich abgeschlossene Darstellung der Situation. Wer sich nicht um Details oder viele Zahlen kümmern mag, kann sich damit begnügen. Der erste Hauptteil des Berichtes widmet sich anschliessend der gegenwärtigen Luftqualität und ihrer zeitli-

chen Entwicklung sowie den Auswirkungen zu hoher Immissionen auf Mensch und Umwelt. Der zweite Teil geht der Frage nach, woher die Luftverunreinigungen stammen und welche Prozesse zu den Immissionen führen. Im dritten Teil geht es um die Aufgaben, die dem Kanton bei der Luftreinhaltung zugewiesen sind, und wie er diese bewältigt. Abgeschlossen wird der Bericht mit einem Ausblick auf die erwarteten Neuerungen der nächsten Jahre.

Die wichtigsten der verwendeten Begriffe können im Glossar am Schluss des Berichtes nachgeschlagen werden. Auf ein ausführliches Literaturverzeichnis wird verzichtet; es werden nur einige wichtige Grundlagentexte zu den Hauptthemen aufgeführt. In diesen Dokumenten finden sich umfassende Zusammenstellungen der einschlägigen Literatur. Der Bericht enthält auch Messergebnisse des Bundes von der Messstation Härkingen. Diese wurden freundlicherweise vom Bundesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt.

Wird in diesem Bericht wegen der Lesbarkeit nur eine Geschlechterform verwendet, sind immer beide Geschlechter gemeint.



Die Luft, die uns umgibt, enthält Bestandteile, die für Mensch oder Umwelt in höheren Konzentrationen schädlich sind. Der grösste Teil davon ist vom Menschen verursacht. In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts nahmen die Schadstoffkonzentrationen stark zu und erreichten teilweise bedenkliche Werte. Ab den 80er-Jahren wurden deshalb zunehmend strengere Vorschriften zur Begrenzung der Emissionen erlassen. Die Luftqualität hat sich seither Schritt für Schritt wesentlich verbessert. Die gesetzlichen Ziele für saubere Luft sind aber noch nicht alle erreicht.

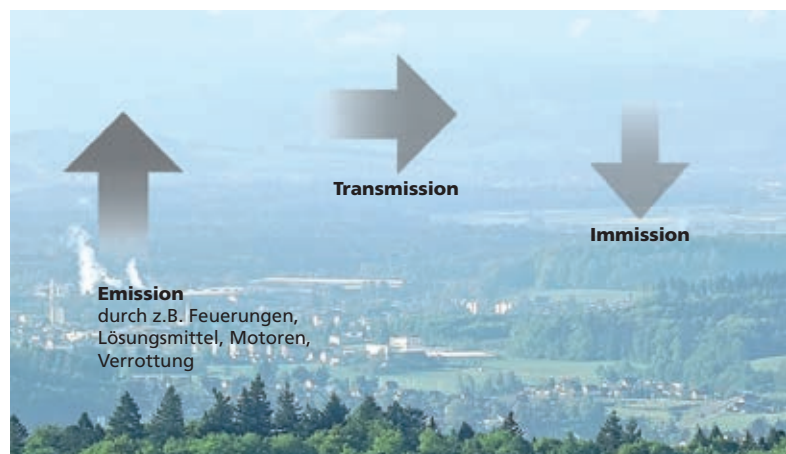
2. Übersicht

Die Atmosphäre besteht praktisch vollständig aus den beiden Gasen Stickstoff und Sauerstoff. Daneben enthält sie Spuren zahlreicher weiterer Stoffe, unter anderem Edelgase, Kohlendioxid und Methan, sowie stark variable Gehalte von Wasserdampf. Von Luftverunreinigungen, zusammengefasst auch als Luftverschmutzung bezeichnet, wird gesprochen, wenn die Zusammensetzung unserer Umgebungsluft nicht dem natürlichen Zustand entspricht. Luftverunreinigungen sind also vom Menschen verursacht. Ihre Bestandteile, Gase oder Partikel, werden allgemein Luftschadstoffe, oder einfach nur Schadstoffe, genannt. Luftverunreinigungen machen trotz ihrer Bedeutung nur einen äusserst geringen Anteil der Luft aus.

Die Industrialisierung führte im 19. Jahrhundert in den grossen Städten und Industriegebieten zu einer immer schlechteren Luftqualität. Mit dem Wirtschaftsaufschwung nach dem Zweiten Weltkrieg nahm die Luftverschmutzung, nicht zuletzt durch die rasante Verbreitung des Autos, massiv zu. Die schädlichen Auswirkungen wurden immer offensichtlicher, so dass sich Parlament und Verwaltung ab etwa den 60er-Jahren vermehrt dieser Probleme annehmen mussten. Die Bekämpfung der Luftverschmutzung mit dem Ziel, eine für Mensch und Umwelt unbedenkliche Luftqualität zu erreichen, wird seit diesen Zeiten Luftreinhaltung genannt. Der Auftrag, den Menschen und die Umwelt vor schädlichen und lästigen Einwirkungen zu schützen, wurde in den 70er-Jahren in der Bundesverfassung verankert. Ab den 80er-Jahren folgte schliesslich die konkrete Umsetzung mit dem Umweltschutzgesetz, der Luftreinhalte-Verordnung

und zahlreichen weiteren Gesetzen und Verordnungen.

Die Freisetzung von Luftverunreinigungen in die Atmosphäre – beispielsweise über einen Kamin oder den Auspuff eines Fahrzeugs – wird als Emission bezeichnet. Einmal dem freien Spiel von Wind und Wetter und chemischen Umwandlungen in der Umgebungsluft unterworfen, breiten sich die Luftverunreinigungen über kürzere oder längere Distanzen aus, was Transmission genannt wird. Treffen sie schliesslich auf Menschen, Tiere, Vegetation oder Gebäude, können sie bei diesen ihre schädliche Wirkung entfalten. Die Luftverunreinigungen, denen Mensch und Umwelt ausgesetzt sind, heissen Immissionen. Emissionen und Immissionen sind die beiden wichtigsten Aspekte der Luftreinhaltung.



In die Luft freigesetzt werden Hunderte von verschiedenen Luftschadstoffen. Als problematisch erwiesen sich vor allem die Emissionen von Stickoxiden (als NO_x bezeichnet), Feinstaub (Partikel kleiner als 10 Mikrometer, auch PM_{10} genannt), leichtflüchtigen organischen Verbindungen (zusammenfassend VOC genannt) und Ammoniak. Stickoxide entstehen durch Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen. Auch Feinstaub wird bei der Verbrennung erzeugt, zudem tragen auch Abrieb und Aufwirbelung massgeblich zu den Feinstaubemissionen bei. Die VOC stammen hauptsächlich von verdunstenden Stoffen wie Lösemittel und Benzin. Ammoniak wird zum allergrössten Teil durch die landwirtschaftliche Tierhaltung verursacht. Die wichtigsten Quellen von Luftschadstoffen sind deshalb der Verkehr, Feuerungsanlagen, industrielle und gewerbliche Anlagen und die Landwirtschaft.

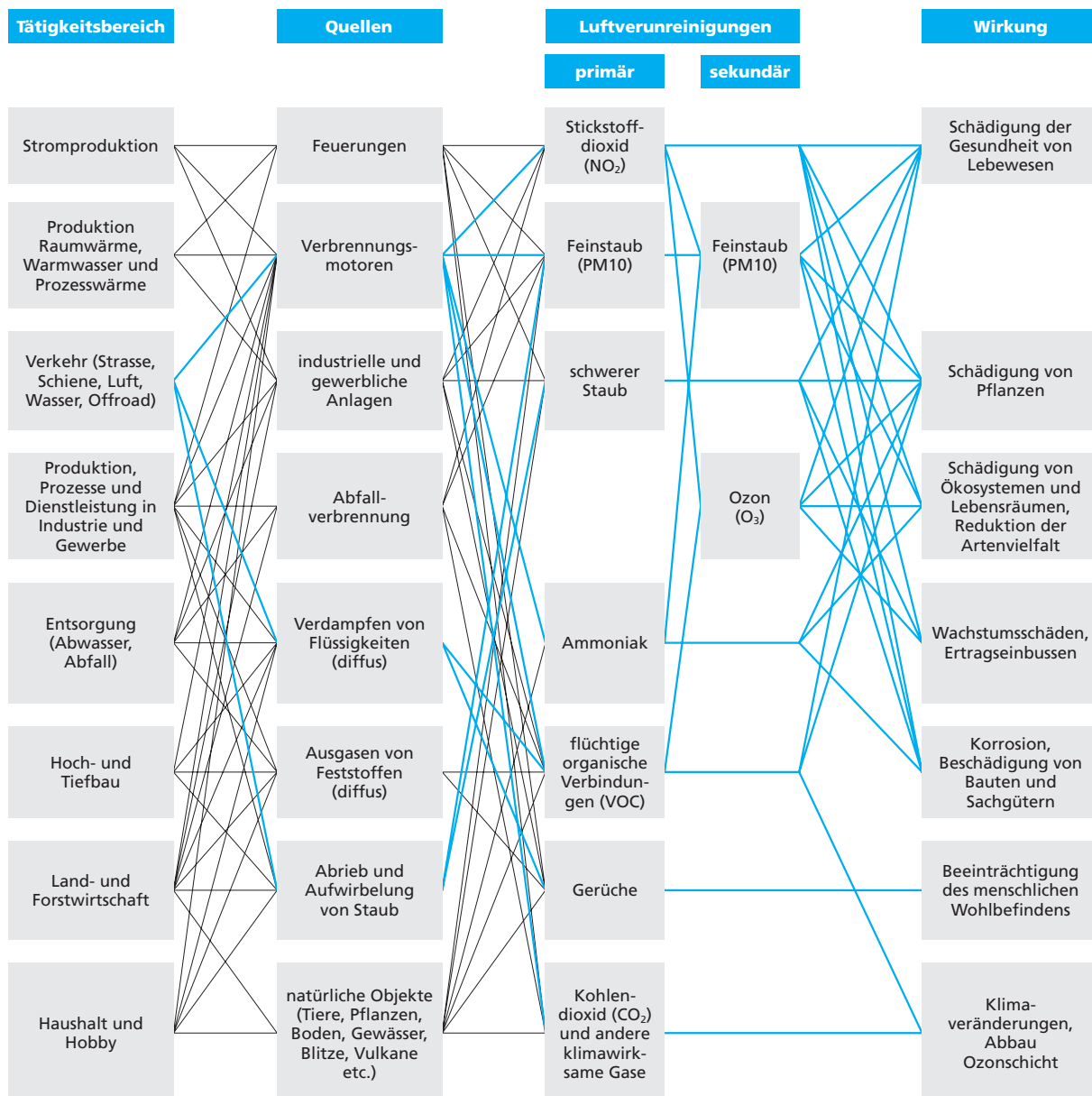
Mit den ab den 80er-Jahren erlassenen gesetzlichen Vorschriften und den eingeleiteten Massnahmen konnten die bis dahin sehr stark angestiegenen Emissionen schrittweise vermindert werden. Besonders wirksam waren die Einführung des Katalysators für Benzinmotoren, die Entschwefelung der Brenn- und Treibstoffe, die Einführung der LowNO_x -Technologie für Feuerungen, Abgasreinigungen bei industriellen Anlagen, die kontinuierliche Verschärfung der Abgasvorschriften für Motorfahrzeuge und die Partikelfilter für schwere Maschinen. Die Emissionen der Stickoxide nahmen dadurch gegenüber den Spitzenwerten um mehr als zwei Drittel ab, bei den VOC war der anteilmässige Rückgang sogar noch grösser. Beim Feinstaub führte der Aktionsplan des Bundes von 2006 in den letzten Jahren zu deutlichen Verminderungen der Emissionen. Beim Ammoniak dagegen gibt es bisher nur bescheidene Anstrengungen zur Emissionsminderung.

Nach ihrer Freisetzung werden Schadstoffe vom Wind weggeweht und gelangen dadurch auch in Gebiete fernab von den Quellen. Viele Schadstoffe reagieren auf dem Ausbreitungsweg chemisch mit den Bestandteilen der Luft oder anderen Schadstoffen und bilden neue Verbindungen. Von grosser Bedeutung ist dabei die Bildung von Ozon, welches bei Sonnenschein aus Stickoxiden und VOC entsteht. Komplizierte Umwandlungsprozesse der Schadstoffe führen zur Bildung von kleinen flüssigen oder festen Partikeln. Etwa die Hälfte des Feinstaubes in der Luft wird auf diese Weise gebildet. Alle Schadstoffe haben in der Luft eine beschränkte Lebensdauer. Früher oder später werden sie durch Deposition genannte Vorgänge, hauptsächlich mit dem Regen, wieder entfernt. Die Lebensdauer bestimmt, wie weit sich Schadstoffe verbreiten können. Stickoxide und Feinstaub sind ziemlich langlebig und können sich über grosse Gebiete verbreiten, das in der Atmosphäre sehr langlebige Ozon sogar über Tausende von Kilometern. Ammoniak hat hingegen eine kurze Lebensdauer und beeinflusst nur die regionalen Verhältnisse.

Nach Emission, Ausbreitung und Umwandlung treten die Schadstoffe schliesslich in Bodennähe als Immissionen in Erscheinung. Problematisch sind im Kanton Solothurn, wie in der ganzen Schweiz, vor allem die Immissionen von Stickstoffdioxid NO_2 (bei den Immissionen wird von den Stickoxiden nur das NO_2 betrachtet), Ozon, Feinstaub und Ammoniak. Die Anstrengungen der Luftreinhaltung haben das Ziel, diese Immissionen zu reduzieren. Den Massstab zur Beurteilung bilden dabei für Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung, für Ammoniak sind es die international vereinbarten Critical Levels. Im Gegensatz zu den überall geltenden Immissionsgrenzwerten der LRV sind die Grenzwerte für Ammoniak nur bei empfindlichen Ökosystemen anwendbar. Bei Werten unterhalb der Grenzwerte sind die Immissionen für Mensch und Umwelt nicht schädlich.

Die Erfolge der Emissionsminderungen haben sich auch bei den Immissionen bemerkbar gemacht. Ende der 80er-Jahre wurde der Immissionsgrenzwert für NO_2 im Kanton Solothurn noch in grossen Teilen des Siedlungsgebietes und entlang aller stark befahrenen Strassenverbindungen überschritten. Heute treten übermässige NO_2 -Immissionen, also Werte über dem Grenzwert, noch in wenigen sehr stark verkehrsexponierten Zentren und entlang der Autobahnen auf. Deutlich abgenommen haben in den letzten zehn Jahren auch die durchschnittlichen Feinstaubimmissionen. Heute liegen sie nur noch an wenigen Orten über dem Immissionsgrenzwert. In den letzten Jahren gab es nur wenige und verhältnismässig schwache Wintersmogereignisse, bei denen über Tage hinweg die Feinstaubimmissionen stark ansteigen. Nach wie vor schlecht sieht die Situation beim Ozon aus. Die Immissionsgrenzwerte werden im ganzen Kanton und meist massiv überschritten. Allerdings haben die Spitzenwerte bei Sommersmog in den letzten Jahren abgenommen. Die Grenzwerte für Ammoniak dürften heute bei vielen empfindlichen Ökosystemen im Kanton überschritten sein. Um die geltenden Immissionsziele für Ozon und Ammoniak zu erreichen, müssen die Emissionen noch beträchtlich reduziert werden.

Für uns Menschen von grösstem Interesse sind die gesundheitlichen Folgen übermässiger Immissionen. Dies können ausser Atemwegserkrankungen auch Herz- und Kreislaufbeschwerden sein. Die meisten Menschen spüren von den heutigen übermässigen Immissionen allerdings nichts, und das Risiko ist für den Einzelnen gering. Über die ganze Schweiz betrachtet sind aber die gesundheitlichen Beeinträchtigungen und ihre Kostenfolgen von grosser Bedeutung. Auch die Auswirkungen zu hoher Immissionen auf die belebte Umwelt und auf Ökosysteme sind beträchtlich. Ökosysteme werden indirekt durch Überdüngung und Versauerung von Gewässern und Böden in Mitleidenchaft gezogen.



Die Zusammenhänge zwischen der Entstehung von Luftverunreinigungen und deren möglichen schädlichen Wirkungen sind sehr vielfältig. Die wichtigsten Beziehungen sind in diesem Bild veranschaulicht. Für das Beispiel des Verkehrs sind die kausalen Ketten zwischen Tätigkeiten und Luftverunreinigungen mit dicken blauen Linien ausgezeichnet. Zwischen den Luftverunreinigungen und ihren Wirkungen sind die Zusammenhänge, unabhängig von den Quellen, immer gleich.

Quelle: Hans Ramseyer, Tensor Consulting AG

Die Anstrengungen zur Luftreinhaltung werden weitergeführt. Durch technische Fortschritte und zusätzliche Vorschriften, hauptsächlich auf Stufe Bund, sind noch weitere Emissionsminderungen möglich. Mittelfristig werden dadurch die Immissionsziele für NO₂ und Feinstaub voraussichtlich praktisch überall erreicht werden können. Ob sich in näherer Zukunft auch beim Ozon wesentliche Verbesserungen erzielen lassen, ist dage-

gen, nicht zuletzt wegen der internationalen Abhängigkeiten, fraglich. Beim Ammoniak haben die Bemühungen zur Reduktion gerade erst begonnen und es bleibt noch sehr viel zu tun.



Die Leitschadstoffe für die Luftqualität sind Stickstoffdioxid, Ozon, Feinstaub und Ammoniak. Ihre Immissionen werden vom Kanton an ausgewählten Standorten durch aufwendige Messungen überwacht. Die Immissionsgrenzwerte von Stickstoffdioxid und Feinstaub sind heute fast überall eingehalten; nur in schmalen Bereichen entlang der Autobahnen und um stark verkehrs-exponierte Standorte treten noch zu hohe Belastungen auf. Die Grenzwerte für Ozon werden dagegen überall und stark überschritten. Auch die Ammoniakimmissionen sind verbreitet zu hoch.

3. Luftschadstoffe und Luftqualität

3.1 Was genau sind Immissionen?

Als Luftverunreinigungen bezeichnet das Umweltschutzgesetz Veränderungen des natürlichen Zustandes der Luft. Sie sind also immer vom Menschen verursacht, obwohl auch die Natur schädliche Gase in die Atmosphäre abgeben kann. Luftverunreinigungen können in verschiedener Form auftreten, beispielsweise als Gase, Staub, Rauch oder Gerüche. Physikalisch unterscheidet man zwischen Gasen und Partikeln, wobei Partikel fest oder flüssig sein können. Am Ort, wo die Luftverunreinigungen auf Mensch und Umwelt treffen und einwirken, werden sie Immissionen genannt.

Gase oder feine Partikel, die sich praktisch wie ein Gas verhalten, sind bestrebt, sich möglichst gut mit der umgebenden Luft zu vermischen. Solche Immissionen werden meist als Konzentrationen, und zwar als Masse der Verunreinigung pro Volumeneinheit, angegeben. Als Einheit der Immissionskonzentrationen wird üblicherweise Mikrogramm (ein Millionstel Gramm) pro Kubikmeter (abgekürzt $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gewählt. Diese extrem kleine Grösse macht klar, dass der Anteil der Luftverunreinigungen an der natürlichen Luft nur sehr gering ist.

Schwerere Teilchen können nicht in der Luft verharren, sondern sinken wegen ihres Gewichtes auf den Boden ab. Von einer aufgewirbelten Staubwolke, beispielsweise vom Befahren eines Feldweges, ist daher bereits nach kurzer Zeit nichts mehr zu sehen. Ein sinnvolles Mass für die Immissionen von schwereren Partikeln

bildet deshalb der Niederschlag, in der Fachsprache Deposition genannt, der angibt, welche Masse an Luftverunreinigung pro Zeiteinheit auf einer bestimmten Fläche abgelagert wird. Depositionen werden meist in Einheiten von Milli- oder Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag ($\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{Tag})$ oder $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{Tag})$) angegeben.

Auch die aus Gasen oder feinen Partikeln bestehenden Immissionen bleiben nicht für immer in den bodennahen Luftschichten erhalten. Wäre dem nicht so, würden die vom Menschen verursachten Immissionen immer höhere Werte erreichen. Der wichtigste Prozess zur Entfernung von Luftverunreinigungen aus der Atmosphäre ist die Auswaschung durch Regen oder Schnee. Die so in die Böden oder Gewässer gelangenden Mengen an Luftverunreinigungen werden ebenfalls als Depositionen bezeichnet.

Die Immissionen an einem bestimmten Ort ändern dauernd mehr oder weniger stark. Die Werte eines bestimmten Moments, sowohl Konzentrationen wie auch Depositionen, sind für ihre Einwirkungen auf Mensch und Umwelt wenig aussagekräftig. Um ihre lufthygienische Bedeutung zu erfassen, müssen sie über geeignete Zeitintervalle, hauptsächlich Tag und Jahr, gemittelt werden.

3.2 Die wichtigsten Luftschadstoffe

Luftverunreinigungen bestehen aus chemischen Stoffen, also Elementen und ihren Verbindungen sowie Gemischen. Oft wird deshalb von Luftschadstoffen oder einfach nur Schadstoffen gesprochen. Auch komplexe Mischungen verschiedenster Substanzen wie Russpartikel oder Staub werden als Schadstoffe bezeichnet.

Auch in vermeintlich sauberer Luft lassen sich Dutzende, wenn nicht Hunderte von einzelnen chemischen Stoffen feststellen. Viele Schadstoffe kommen auch natürlicherweise als Bestandteile der Luft vor, wobei aber in aller Regel die Konzentrationen der menschengemachten Immissionen wesentlich über dem natürlichen Niveau liegen. Durch akribische Forschung musste vorerst ausfindig gemacht werden, welche der vielen Schadstoffe für die menschliche Gesundheit oder die Ökosysteme von Bedeutung sind. Heute konzentrieren sich die Anstrengungen für unsere Luftqualität auf ein gutes Dutzend Einzelstoffe, Gruppen von Einzelstoffen und Gemische.

Die Bedeutung der einzelnen Schadstoffe ändert sich im Laufe der Zeit mit dem technischen Fortschritt. Während vor hundert Jahren die Menschen vor allem unter Russ, Rauch und schwefelhaltigen Schadstoffen von Heizungen und industriellen Feuerungen litten, traten in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts Stickoxide vom Strassenverkehr und von Feuerungen sowie flüchtige organische Verbindungen aus der industriellen Produktion in den Vordergrund. Erst im Laufe der 90er-Jahre wurde die grosse lufthygienische Bedeutung der feinen Partikel erkannt.

Zu hohe Schadstoffimmissionen haben vielfältige Folgen für Mensch, Umwelt und Sachwerte (→ Kap. 4). Die für die menschliche Gesundheit wichtigsten Schadstoffe sind heute die Stickoxide, das Ozon und die ganz feinen Partikel, auch Feinstaub genannt. Für die Ökosysteme sind es Stickoxide, Ozon und Ammoniak. Diese vier Schadstoffe werden heute als so genannte Leitschadstoffe der Luftreinhalte betrachtet. Es sind denn auch sie, welche der Kanton durch Messungen überwacht. Stickoxide sind nicht nur direkt schädlich für Mensch und Umwelt, sondern stellen auch wichtige Vorläufersubstanzen dar für die Bildung sekundärer Partikel und, unter Sonneneinstrahlung, von Ozon.

Ozon ist eine chemische Verbindung von Sauerstoff (chemisches Symbol O). Ein Ozonmolekül wird aus drei Sauerstoffatomen gebildet und trägt daher das Symbol O₃. Stickoxide werden die gasförmigen Verbindungen von Stickstoff (N) mit Sauerstoff genannt. Die lufthygienisch wichtigsten Stickoxide sind das Stickstoffmonoxid (NO) und das Stickstoffdioxid (NO₂), die zusammen als NO_x bezeichnet werden. Emittiert wird hauptsächlich NO, dieses wandelt sich in der Luft zu

NO₂ um. Als Immission betrachtet man in der Regel nur das für Menschen schädlichere Stickstoffdioxid. Ammoniak ist ebenfalls eine Stickstoffverbindung. Das Ammoniakmolekül setzt sich aus einem Stickstoffatom (N) und drei Wasserstoffatomen (H) zusammen. Beim Feinstaub handelt es sich dagegen nicht um eine einfache chemische Verbindung (→ Box).

Was muss man sich unter Feinstaub vorstellen?

Feinstaub ist ein Oberbegriff für alle Teilchen in der Luft, die so klein sind, dass sie beim Einatmen bis in die Lunge vordringen können. Dies ist dann der Fall, wenn das Teilchen weniger als etwa 10 Mikrometer (1 hundertstel Millimeter) gross ist. Feinstaub wird daher mit PM₁₀ abgekürzt (vom Englischen particulate matter). Solch feine Partikel sinken in der Luft praktisch nicht mehr ab, weshalb man dafür auch den Begriff Schwebestaub verwendet. Unter Staub stellt man sich wohl meistens ein kleines Körnchen festen Materials vor, was beim Feinstaub in der Luft aber oft nicht der Fall ist. Die Teilchen können auch flüssig oder gemischt fest und flüssig sein. Sie haben vielfältige Formen und bestehen nicht selten aus einer Mischung der unterschiedlichsten Stoffe. Neben Gestein finden sich in den Partikeln vor allem Russ, Aschen, Salzkristalle sowie Pollen von Pflanzen, aber auch erst in der Luft gebildete sekundäre Partikel. Mengenmässig wichtige Bestandteile des Feinstaubes sind Ammoniumsalze, Russ, organische Verbindungen, Mineralien und Metalle.

Ausser den Immissionen der Leitschadstoffe interessieren im Kanton Solothurn, vor allem im Zusammenhang mit der Schwerindustrie im Raum Biberist, die Niederschläge des gesamten Staubes und seiner Gehalte an den Schwermetallen Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Zink (Zn). Die Immissionen von Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid, noch vor wenigen Jahrzehnten bedeutend, sind heute so gering, dass sie kein Problem mehr darstellen und nicht mehr überwacht werden. Eine Sonderstellung nehmen Kohlendioxid (CO₂) und Methan ein, welche für Lebewesen nicht toxisch sind, aber eine grosse Bedeutung wegen ihrer Wirkung auf das globale Klima haben. Ihre Immissionen spielen lokal keine Rolle und werden daher vom Kanton Solothurn nicht überwacht. Ebenfalls von spezieller Bedeutung als Luftverunreinigung sind die Gerüche (→ Box).

	Stickstoffdioxid	Ozon	Feinstaub (PM10)	Ammoniak	Staubniederschlag	Schwermetalle im Staubniederschlag
Chemisches Symbol	NO ₂	O ₃	–	NH ₃	–	Pb, Cd, Zn
Aggregatzustand	gasförmig	gasförmig	fest oder flüssig	gasförmig	fest	fest
Immissionsform	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Deposition	Deposition

Gerüche als besondere Luftverunreinigungen

Der Geruch von Gasen wirkt meist nicht schädigend auf Mensch oder Umwelt ein. Gerüche können aber, wie jedermann weiss, lästig sein, und das Umweltschutzgesetz bezweckt auch den Schutz vor solchen Einwirkungen. Die menschlichen Geruchsempfindungen umfassen eine grosse Bandbreite von extrem abstoßend (z.B. der Geruch von verwesendem Fleisch) bis sehr angenehm (z.B. Rosenduft). Einige chemische Einzelstoffe haben einen Geruch, so zum Beispiel Ozon und Ammoniak, welche beide unangenehm stechend riechen. Meistens bestehen Gerüche aber aus einer Vielzahl von Einzelstoffen, beim Aroma eines Weines beispielsweise einige Hundert. Erst deren Mischung führt zum charakteristischen Sinneseindruck. Geruch ist eine Empfindung von Menschen und Tieren. Zur Feststellung, ob ein Geruch lästig ist oder nicht, braucht es daher die menschliche Nase. Es gibt keine Messgeräte für Gerüche.

3.3 Grenzwerte

Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen sind in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für die wichtigsten Schadstoffe Immissionsgrenzwerte festgelegt. Ausser für die Leitschadstoffe Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub existieren auch für den Staubbiederschlag sowie die Schwermetallgehalte im Feinstaub und im Staubbiederschlag Immissionsgrenzwerte. Dass die Verordnung zudem noch Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid aufführt, ist Ausdruck der früheren Bedeutung dieser Schadstoffe. Heute liegen ihre Immissionen überall weit unter den Grenzwerten.

Bei Stickstoffdioxid und Feinstaub ist zu unterscheiden zwischen kurzzeitigen und langfristigen Schädigungen. Für diese Schadstoffe enthält die Verordnung daher sowohl Immissionsgrenzwerte für den Tages- als auch für den Jahresmittelwert. Ozon führt hauptsächlich zu akuten Beeinträchtigungen, weshalb es einen Grenzwert für den Mittelwert über eine Stunde gibt. Für Stickstoffdioxid und Ozon sind ausserdem Höchstwerte für die ½-h-Mittelwerte festgelegt, die von einem kleinen Prozentsatz der Einzelwerte überschritten werden dürfen.

Schadstoff	Immissionsgrenzwert LRV	Statistische Definition
Stickstoffdioxid (NO ₂)	30 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m ³	95% der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m ³
	80 µg/m ³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon (O ₃)	100 µg/m ³	98% der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m ³
	120 µg/m ³	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwebestaub (PM10)	20 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m ³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Staubbiederschlag insgesamt	200 mg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubbiederschlag	100 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubbiederschlag	2 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubbiederschlag	400 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

Für Ammoniak enthält die LRV keinen Immissionsgrenzwert. In internationalen Verträgen über die weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigung hat sich aber die Schweiz zur Einhaltung von Obergrenzen der Ammoniakkonzentration sowie der Deposition stickstoffhaltiger Luftverunreinigungen verpflichtet (→ Kap. 7). Die Critical Level genannten Obergrenzen betragen für Ammoniak $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zum Schutz von Flechten und Moosen und $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zum Schutz von höheren Pflanzen. Sie gelten für empfindliche Ökosysteme, aber nicht für intensiv genutzte Landwirtschaftsflächen oder besiedelte Gebiete.

Auch die Immissionen von Schadstoffen, für welche keine zahlenmässigen Begrenzungen bestehen, dürfen nicht beliebige Werte annehmen. Sie gelten gemäss LRV als übermässig, wenn sie Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften oder ihre Lebensräume gefährden. Diese Schwelle ist im Einzelfall allerdings nicht einfach zu eruieren. Für Gerüche existieren keine Immissionsgrenzwerte. Sie sind übermässig, wenn aufgrund einer Erhebung feststeht, dass sie einen wesentlichen Teil der Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich stören.

3.4 Überwachung der Luftqualität

Die Luftreinhalte-Verordnung verpflichtet die Kantone, «den Stand und die Entwicklung der Luftverunreinigung auf ihrem Gebiet» zu überwachen. Sie müssen «insbesondere das Ausmass der Immissionen» ermitteln, wozu sie Erhebungen, Messungen und Ausbreitungsrechnungen nach Empfehlungen des Bundes durchführen sollen. Mit der Immissionsüberwachung

ist im Kanton Solothurn das Amt für Umwelt (AfU) betraut.

Zur Immissionsüberwachung betreibt das AfU sechs automatisch messende Stationen sowie eine grössere Anzahl weiterer Messungen. Die Daten der automatischen Messstationen werden laufend im Internet publiziert (www.luftqualitaet.ch). Dafür hat sich Solothurn mit den umliegenden Kantonen zusammengeschlossen.

Das Netz der automatischen Stationen

Der Kanton hat bereits ab Ende der 80er-Jahre ein Netz von fest eingerichteten Messstationen mit automatisch messenden Geräten aufgebaut. Der Betrieb einer solchen Messstation ist trotz Automatisierung aufwendig. Es waren daher nie mehr als acht Stationen gleichzeitig in Betrieb. Sie vermitteln dennoch einen guten Überblick über die Immissionen, denen die Bevölkerung ausgesetzt ist. Mit einer Ausnahme (Jurahöhe) befinden sich alle Messstationen im Siedlungsgebiet. Gemessen werden die Immissionskonzentrationen von Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub. Einige Stationen messen aber nur einen oder zwei dieser Parameter.

Die Immissionen an einem bestimmten Standort sind vor allem durch die Bebauung und den Verkehr, die wichtigsten Schadstoffquellen in seiner Umgebung, bestimmt (→ Kap. 6). Beim Verkehr sind vor allem der Abstand zur nächsten grösseren Strasse und ihre Verkehrsmenge massgebend. Damit sich die Messresultate für weitere Orte verallgemeinern lassen, werden die Messstationen bestimmten Standorttypen zugeordnet.

Standort	Messung	Standorttyp	Betrieb
Solothurn, Altwyberhüsli	NO ₂ , O ₃ , PM10	Stadt, nahe Strasse mit mittlerem Verkehr	Seit 1994
Solothurn, Werkhofstrasse	NO ₂ , PM10	Stadt, direkt an Strasse mit starkem Verkehr	Seit 1999
Grenchen, Schulhaus II	NO ₂ , O ₃	Grosse Ortschaft, nahe Strasse mit mittlerem Verkehr	1989 bis 2014
Olten, Frohheim	NO ₂ , O ₃ , PM10	Stadt, abseits von stärker befahrenen Strassen	1993 bis 2014
Egerkingen, Industriestrasse	NO ₂ , O ₃ , PM10	Dorf, direkt an Strasse mit mittlerem Verkehr (hoher Schwerverkehrsanteil)	Seit 2002
Dornach, Schulhaus Brühl	NO ₂ , O ₃ , PM10	Grosse Ortschaft, abseits von stärker befahrenen Strassen	Seit 1988
Bettlachstock (Jurahöhe)	O ₃	Abseits Siedlungsgebiet, oberhalb 1000 m ü.M., kein Verkehr	1993 bis 2000
Brunnersberg (Jurahöhe)	O ₃	Abseits Siedlungsgebiet, oberhalb 1000 m ü.M., kein Verkehr	Seit 2003
Biberist, Schachen	PM10	Grosse Ortschaft, abseits von stärker befahrenen Strassen, nahe Schwerindustrie	Seit 2009

Automatische Messungen



Die automatische Messstation Altwyberhüsli in Solothurn befindet sich in einem parkähnlichen Gebiet zwischen Stadtzentrum und den nördlichen Wohnquartieren. Ihre Messergebnisse sind repräsentativ für ein städtisches Umfeld abseits der grossen Verkehrsachsen.

Die Messstation in Härkingen liegt direkt neben einem der am stärksten befahrenen Abschnitte der Autobahn A1. Sie gehört zum Messnetz NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) des Bundes. Die Immissionen an diesem Standort werden hauptsächlich vom Verkehr verursacht.



Die Konzentrationen der Luftschadstoffe werden mit technisch raffinierten und komplizierten Messgeräten gemessen. Im rechten Teil des Geräteschranks sieht man in der Mitte den «Analysator» für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, darüber jenen für Feinstaub. Im linken Teil sind zwei Ozonmessgeräte untergebracht.



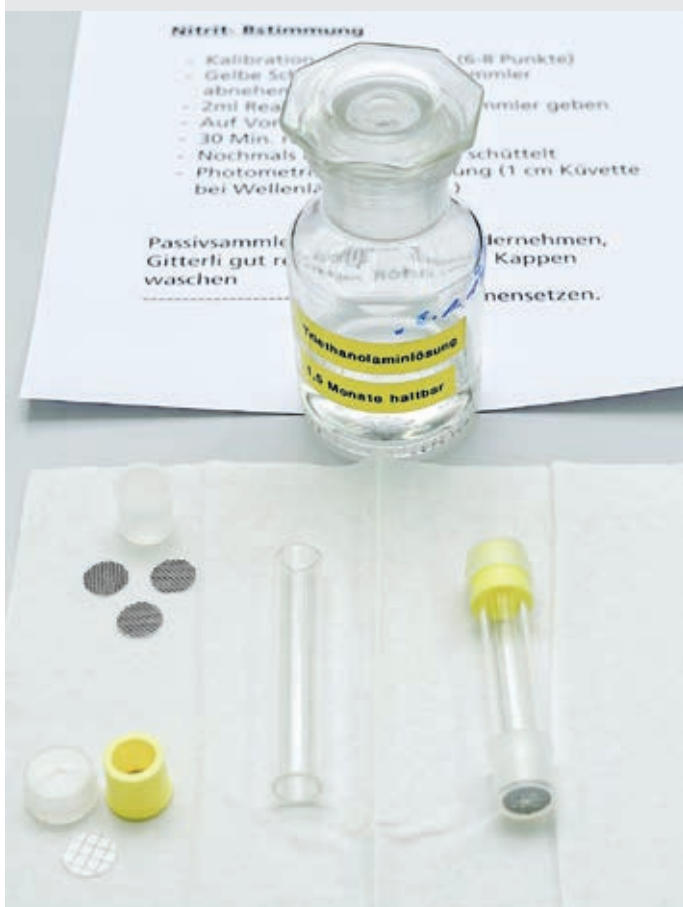
Damit sich die Messgenauigkeit der empfindlichen Geräte nicht verschlechtert, müssen sie regelmässig kalibriert und gewartet werden. Einfachere Unterhaltsarbeiten führt der Mitarbeiter bei der monatlichen Kontrolle vor Ort, kompliziertere in der Werkstatt des AfU aus. Die Funktion der Geräte wird vom AfU aus überwacht, so dass bei Störungen sofort eingegriffen werden kann.

Weitere Messnetze

NO_2 lässt sich mit so genannten Passivsammlern wesentlich einfacher messen als mit den automatischen Geräten in den Messstationen. Die Passivsammler können allerdings nicht kontinuierlich, sondern nur Mittelwerte über längere Zeitabschnitte messen. Die Sammler werden von Mitarbeitern des AfU aufgehängt und wieder eingesammelt und anschliessend im Labor analysiert. Dank der kostengünstigen Methode kann eine grössere Anzahl von Messstandorten be-

trieben werden. Zurzeit umfasst das Messnetz der NO_2 -Passivsammler 30 Standorte. Neben Standorten, die der allgemeinen Immissionsüberwachung dienen und daher für lange Zeit bestehen bleiben, werden jeweils für eine beschränkte Zeit auch Standorte für spezifische Fragestellungen, beispielsweise bei grossen Bauprojekten wie der neuen Strassenverbindung «Entlastung Region Olten (ERO)», untersucht.

NO_2 -Passivsammler und Bergerhoff



▲ Bei den Passivsammlern zur Messung der NO_2 -Konzentrationen handelt es sich um einfache Einrichtungen. Der Schadstoff diffundiert durch das Röhrchen und wird in der Beschichtung der drei Metallnetze am Ende des Röhrchens absorbiert. Das Glasfläschchen enthält die Chemikalie zur Beschichtung der Netze.



▲ Die NO_2 -Passivsammler werden in einer Halterung für jeweils 14 Tage exponiert. Die Halterbüchsen können, wie hier in Biberist am Kandelaber der Strassenbeleuchtung, auf einfache Weise fast überall montiert werden.

Zur Staubmessung nach Bergerhoff-Methode werden nur Auffanggefässe und Drahtkörbe auf Stangen benötigt. Die Stacheln der Drahtkörbe verhindern, dass sich Vögel auf die Gefässe setzen.



Seit 2011 werden die Ammoniakimmissionen mit Hilfe von Passivsammlern an zwölf Standorten gemessen. Da das Ammoniak zum weitaus grössten Teil von der Nutztierhaltung stammt, wurden Standorte auf dem Bucheggberg, im Gäu und in der Umgebung von Matzendorf ausgewählt. Die Sammler werden jeweils für einen Monat exponiert.

Weiter wird der Staubbiederschlag nach der so genannten Bergerhoff-Methode gemessen. Bei diesem

einfachen Verfahren wird der absinkende Staub in einem Gefäss aufgefangen und danach gewogen. Im gesammelten Staub werden auch die Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium und Zink bestimmt. Solche Messungen werden seit den 80er-Jahren an zwei Standorten in Biberist durchgeführt. Zwischen 1990 und 2013 wurden der Staubbiederschlag und seine Inhaltsstoffe auch in der Grenchener Witi, weit abseits von Siedlungen und Industrie, gemessen.



▲ Zur Analyse des NO_2 in einem Passivsammler wird dieses zuerst chemisch aus den Metallnetzen gelöst. Dann wird eine Substanz zugegeben, die eine Farbreaktion auslöst. Je rötler die Flüssigkeit wird, umso mehr NO_2 enthält sie.



Wesentlich schwieriger als die Bestimmung der Staubmenge ist die Analyse der Schwermetallgehalte im gesammelten Staub. Dafür braucht man dieses hochtechnische Gerät. Je stärker das Licht einer gewissen Frequenz abgeschwächt wird, umso mehr ist von einem bestimmten Schwermetall in der Probe vorhanden.



◀ In den Gefässen sammelt sich der trocken oder mit dem Niederschlag abgelagerte Staub. Im Labor wird später das Wasser verdampft, und danach wird die zurückbleibende Staubmenge gewogen.

3.5 Der Zustand der Solothurner Luft

Die Luftqualität 2016 im Überblick

Das Jahr 2016 zeichnete sich meteorologisch aus durch einen fast durchwegs milden Winter, einen niederschlagsreichen Frühling, einen verspäteten Sommer mit einer kurzen Rekordhitze Ende August, einen extrem warmen September und einen sehr sonnigen

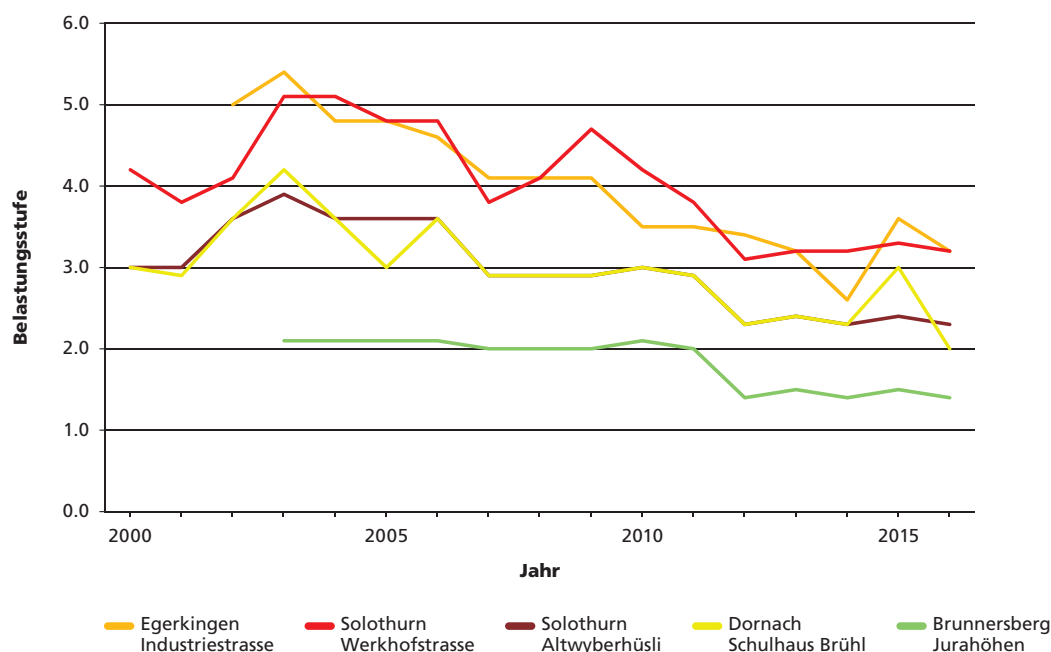
Dezember. Die meteorologischen Bedingungen waren günstig, so dass sich keine starken Winter- und Sommersmogssituationen ausbildeten (→ Kap. 6). 2016 lagen denn die Schadstoffimmissionen allgemein etwas tiefer als im Vorjahr mit einem ungewöhnlich heissen Sommer. Die Werte des Langzeit-Belastungsindex (→ Box) für 2016 liegen deshalb unter jenen des Vorjahres.

Der LBI, ein Mass für die Gesamtbelastung

Um einen einfachen Überblick über die aktuellen und langfristigen Einwirkungen der Schadstoffimmissionen auf die menschliche Gesundheit zu ermöglichen, haben die Kantone als Beurteilungsgrösse den Langzeit-Belastungsindex (LBI) entwickelt. Er wird aus den Jahresmittelwerten der Immissionen von NO₂ und Feinstaub sowie dem höchsten Monatswert des Ozons berechnet, wobei NO₂ und Feinstaub wesentlich stärker gewichtet werden als Ozon. Der LBI gibt die Immissionssituation auf einer Skala von 1 (gering) bis 6 (sehr hoch) wieder. Der LBI wird für

die fünf automatischen Messstandorte bestimmt.

Seit Anfang dieses Jahrhunderts zeigt sich ein deutlicher Trend hin zu besserer Luftqualität. Je höher die Belastungen an einem bestimmten Standort, umso ausgeprägter ist dieser Trend. Bereits seit 2010 sind keine als erheblich (Stufe 4) bezeichneten Belastungssituationen mehr eingetreten. Die teilweise starken Veränderungen von Jahr zu Jahr sind vor allem auf wetterbedingte Schwankungen der Feinstaubimmissionen zurückzuführen.



Die 2016 gemessenen Jahresmittel von Stickstoffdioxid (NO₂) lagen mehrheitlich unter dem Immissionsgrenzwert. Nur an wenigen, stark dem Verkehr ausgesetzten Standorten waren Immissionen über dem Grenzwert zu verzeichnen. Heute sind im Kanton Solothurn nur noch verhältnismässig wenige Bewohner zu hohen durchschnittlichen NO₂-Immissionen ausgesetzt. Die einstmals erheblichen direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind in den letzten Jahren zu einem grossen Teil verschwunden. Als Vorläufersubstanzen für Ozon und Feinstaub oder im Zusammenhang mit dem Stickstoffkreislauf sind die heutigen NO₂-Immissionen aber immer noch von Bedeutung.

Die beiden Immissionsgrenzwerte für Ozon werden jedes Jahr und überall im Kanton massiv überschritten. Das Mass der Überschreitungen hängt stark vom Ort ab. Am häufigsten sind sie an ländlichen und erhöhten Standorten, weniger häufig in der Nähe von grossen Verkehrsachsen (→ Kap. 6). Die zu hohen Ozonimmissionen stellen ein grossräumiges lufthygienisches Problem dar. Zu ihrer Reduktion müssten die Konzentrationen der Vorläuferschadstoffe – hauptsächlich Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen – noch wesentlich weiter vermindert werden.

Die durchschnittlichen Feinstaubimmissionen haben in den letzten Jahren deutlich abgenommen und der Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel wird schon seit einigen Jahren an keiner Messstation mehr überschritten. Auch die Anzahl der Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes für das Tagesmittel hat sich gegenüber früher stark vermindert. 2016 wurde dieser Grenzwert nur noch an einer Station mehr als ein Mal überschritten (eine Überschreitung ist zulässig). In den letzten Jahren gab es jeweils nur wenige und schwache Wintersmogepisoden.

Das Jahresmittel von Ammoniak lag bei mehr als der Hälfte der Messstandorte über den Critical Levels. Da empfindliche Ökosysteme oftmals an landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen grenzen, ist anzunehmen, dass im Kantonsgebiet verbreitet Überschreitungen der Critical Levels vorkommen.

Die nach Standorttypen verallgemeinerten Messresultate vermitteln eine Übersicht über die Immissionen, welchen die Bevölkerung ausgesetzt ist. Dabei werden sowohl die Langzeitimmissionen – die Jahresdurchschnitte für NO₂ und Feinstaub (beim Ozon sind die Jahresmittel nicht von Bedeutung) – als auch die kurzzeitigen Immissionen – das Tagesmittel von NO₂ und Feinstaub und der 1-h-Mittelwert für Ozon – betrachtet:

Schadstoff	abseits von stark befahrenen Strassen						an stark befahrener Strasse	
	Stadt		Grössere Ortschaft		Land		langzeitig	kurzzeitig
	langzeitig	kurzzeitig	langzeitig	kurzzeitig	langzeitig	kurzzeitig		
NO ₂							 bis 	
Ozon	–		–		–		–	
Feinstaub								

-  = **sehr gut**
 = **gut**
 = **mässig**
 = **schlecht**



Die Entwicklung über die letzten zwei Jahrzehnte

Stickstoffdioxid (NO_2)

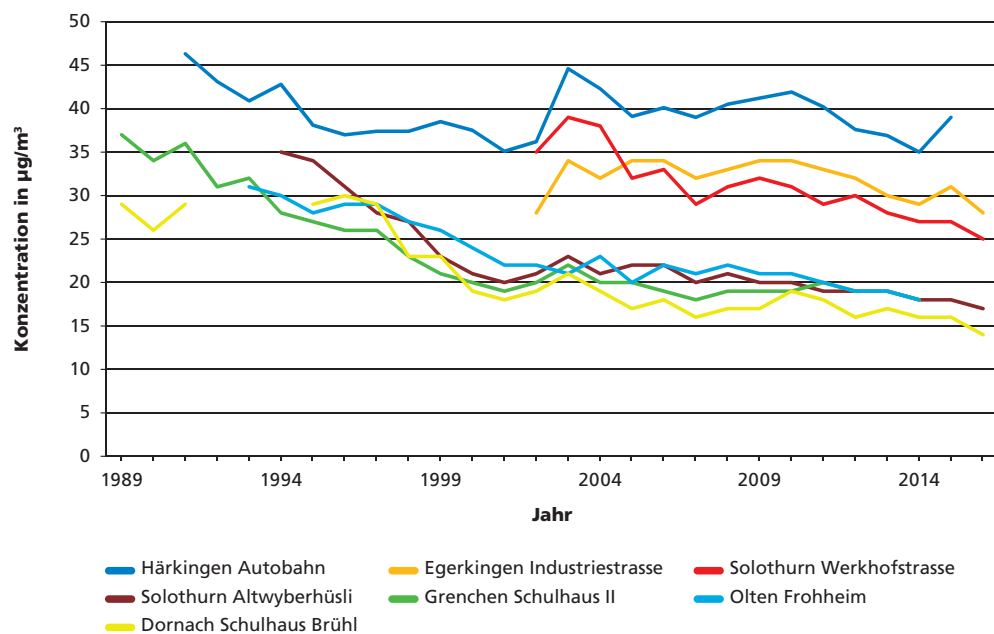
Bei fast allen Stationen ist von Beginn der 90er-Jahre bis heute eine deutliche Abnahme der NO_2 -Jahresmittelwerte zu beobachten. Besonders stark war der jährliche Rückgang bis etwa 2000. Dies war eine Folge der in der Schweiz und umliegenden Ländern ergriffenen emissionsmindernden Massnahmen, allen voran die verschärften Abgasvorschriften. Danach flachte der Trend ab, so dass sich die jährlichen Schwankungen wegen meteorologischer Unterschiede stärker bemerkbar machten.

Bereits seit Ende der 90er-Jahre liegen die NO_2 -Jahresmittel bei der Mehrzahl der Stationen unter dem Immissionsgrenzwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ausnahmen bilden die Standorte Egerkingen und Härkingen, die beide grossem Lastwagenverkehr ausgesetzt sind, sowie der Standort an der stark befahrenen Werkhofstrasse in Solothurn. Die Werkhofstrasse wurde aber ab 2002 durch die Eröffnung der Autobahn A5 vom Durchgangsverkehr wesentlich entlastet, so dass hier der Immissionsgrenzwert seit 2010 ebenfalls eingehalten ist.

Die vier Standorte in Olten und Dornach, wovon jeweils einer an einer Strasse mit starkem Verkehr und einer in einem ruhigen Wohnquartier liegt, illustrieren die örtlichen Variationen im städtischen Bereich. Der verkehrsexponierte Standort in Dornach ist einer der wenigen, die über die letzten Jahre keinen Trend zur Abnahme der NO_2 -Immissionen zeigte.

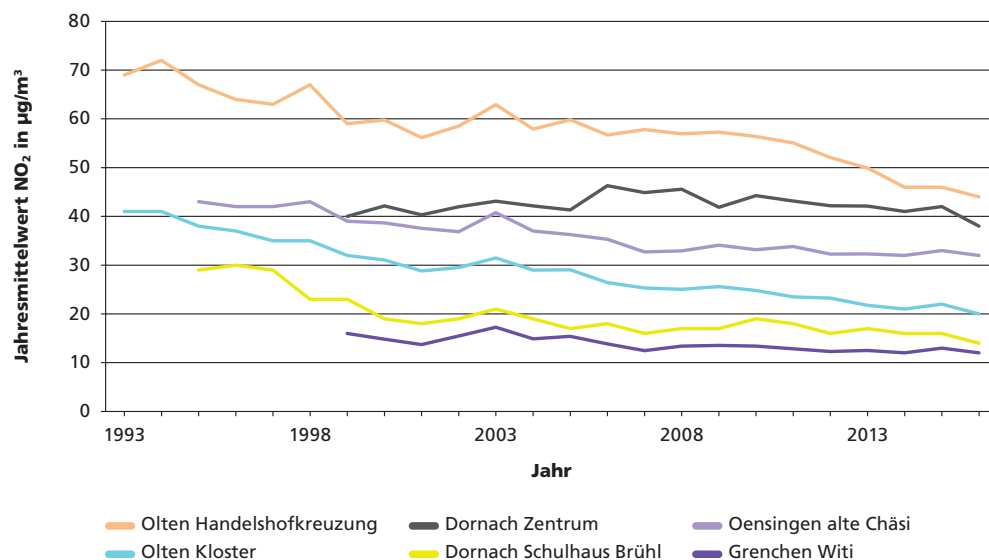
Die höchsten von den automatischen Stationen gemessenen Tagesmittelwerte lagen seit Messbeginn meist unter dem Immissionsgrenzwert von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nur in einzelnen Jahren und jeweils auch nur an einzelnen Stationen wurde der Immissionsgrenzwert mehr als das eine erlaubte Mal überschritten. Die letzten Fälle traten 2005 am Standort Egerkingen und 2006 an der Werkhofstrasse in Solothurn auf. Da die Tagesmittelwerte stark vom Wettergeschehen abhängig sind, können die Maximalwerte von Jahr zu Jahr ziemlich stark schwanken. Der allgemeine Rückgang der Immissionen in den letzten 25 Jahren ist daher bei den Tagesmitteln weniger offensichtlich als bei den Jahresmittelwerten.

Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid



Heute liegen die NO_2 -Jahresmittel bei fast allen automatischen Messstationen unter dem Immissionsgrenzwert. Die Ausnahme bildet der Standort Härkingen direkt an der Autobahn.

Bandbreite



Der Verlauf der NO_2 -Jahresmittelwerte bei ausgewählten Passivsammler-Standorten illustriert die Bandbreite der früheren und heutigen Immissionen. Er zeigt deshalb ein etwas anderes Bild als die Werte der automatischen Stationen. Die in der Grenchner Witi gemessenen Werte stellen die Hintergrundbelastung am Jurasüdfuss dar.

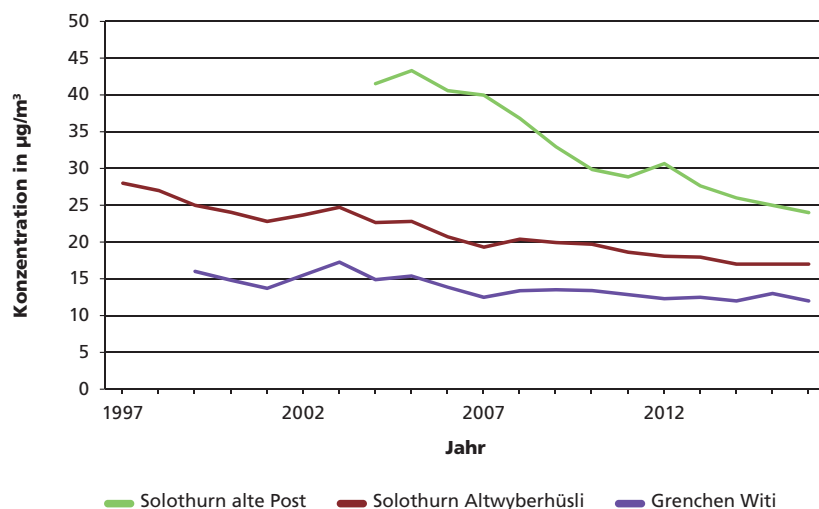
Die Sperrung der Wengibrücke

Eine Bedingung für die Realisierung der Westumfahrung von Solothurn war die Sperrung der Wengibrücke zwischen Vorstadt und westlicher Altstadt. Die Wengibrücke war neben der Rötibrücke die einzige Aarequerung für den Strassenverkehr im Stadtbereich. Die Sperrung wirkte sich daher auf das Verkehrsregime in den angrenzenden Stadtteilen massiv aus. 2002 wurde die Autobahn A5 eröffnet, was bereits zu einer deutlichen Abnahme des Verkehrs durch Solothurn führte. Die Sperrung der Wengibrücke ging ab etwa 2005 schrittweise vonstatten. Die Westumfahrung wurde schliesslich 2008 in Betrieb genommen. Vorher und nachher wurden bedeutende Veränderungen an der Verkehrsführung im Umfeld der Wengibrücke vorgenommen, was auch zu Veränderungen der Quartiernutzungen führte.

Durch den sukzessiven Rückgang des Verkehrs in den betroffenen Stadtquartieren



nahmen die NO_2 -Immissionen stärker als anderswo ab. Die Auswirkungen der Verkehrsveränderungen allein lassen sich für den Messstandort Alte Post durch Vergleich mit Messungen vom Altwyberhüsli zu ungefähr $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ schätzen. Die restliche Abnahme um etwa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist dem allgemeinen Immissionsrückgang in dieser Zeit zuzuschreiben.



Immissionsmessungen liefern nur punktuelle Informationen. Flächenhafte Aussagen über die NO_2 -Immissionen in einem Gebiet oder gar dem ganzen Kanton können nur mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen gewonnen werden. Das Amt für Umwelt hat solche Berechnungen mit den Daten des Emissionskatasters (→ Kap. 5) für das Jahr 2010 und als Prognose für das Jahr 2020 durchführen lassen.

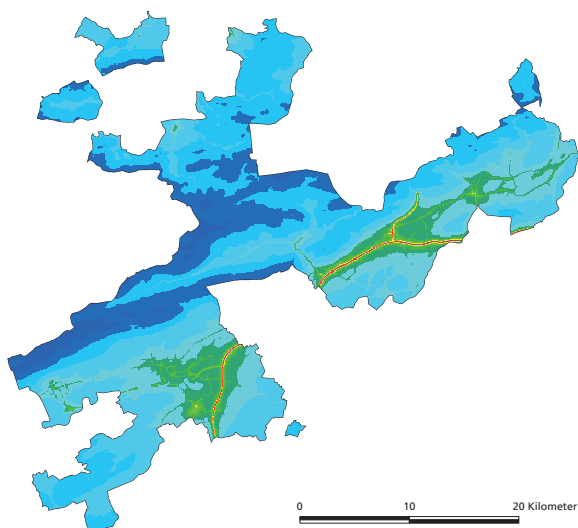
Die NO_2 -Verteilung ist ein Abbild der Intensität der menschlichen Aktivitäten und ihrer Schadstoffemissionen. Die höchsten NO_2 -Immissionen treten an den Autobahnen auf. Für 2010 weisen die Berechnungen Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes entlang aller Autobahnabschnitte auf. Überschreitungen wurden sonst nur punktuell für Olten und Biberist berechnet. Für grosse Teile des Kantons, namentlich die Jura-

höhen und den Bucheggberg, wurden geringe Immissionen unter $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt.

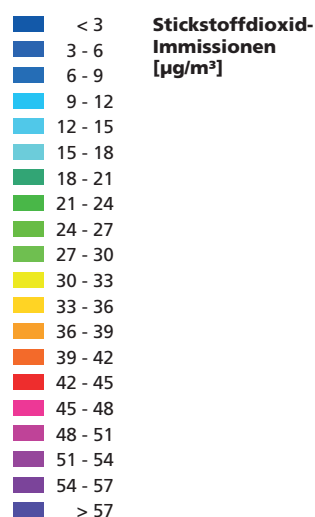
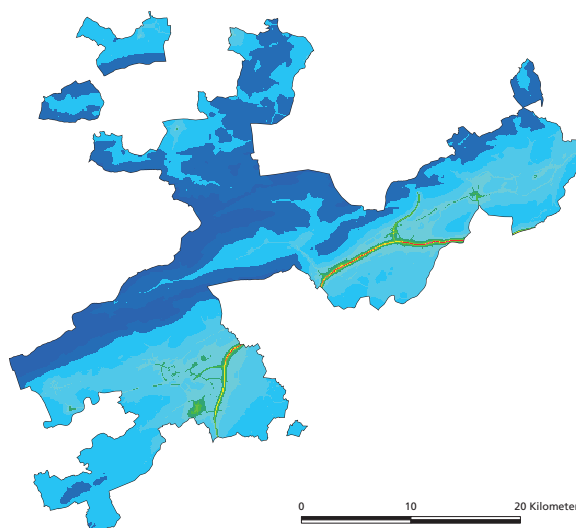
Die Karte der NO_2 -Immissionen im Zustand 2020 zeigt, dass die Flächen mit höheren Immissionen gegenüber 2010 deutlich abnehmen werden. Der Immissionsgrenzwert wird nicht mehr entlang der gesamten Autobahnabschnitte überschritten, weitere Überschreitungen treten nicht mehr auf. Es wird nur noch wenig Flächen in den Agglomerationen mit NO_2 -Immissionen über $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geben.

Mit Hilfe der Immissionskarten und der bekannten Verteilung der Einwohnerinnen und Einwohner lässt sich die Exposition der gesamten Bevölkerung aufzeigen. Im Jahr 2010 war demnach gut die Hälfte der Bevölkerung durchschnittlichen NO_2 -Immissionen zwischen 15 und $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgesetzt. Bis 2020 wird sich dieser Bereich auf 12 bis $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduzieren. Bereits 2010 wohnte weniger als ein Prozent der Bevölkerung an Orten mit einer Überschreitung des Immissionsgrenzwertes. Dieser Anteil wird sich bis 2020 nochmals vermindern.

Die für den ganzen Kanton berechneten NO_2 -Jahresmittelwerte im Jahr 2010.



Die Prognose für das Jahr 2020.



Ausschnitt der NO_2 -Karte 2020 für den Raum Biberist. In einem schmalen Band entlang der Autobahn werden immer noch verhältnismässig hohe Immissionen auftreten.



Ozon

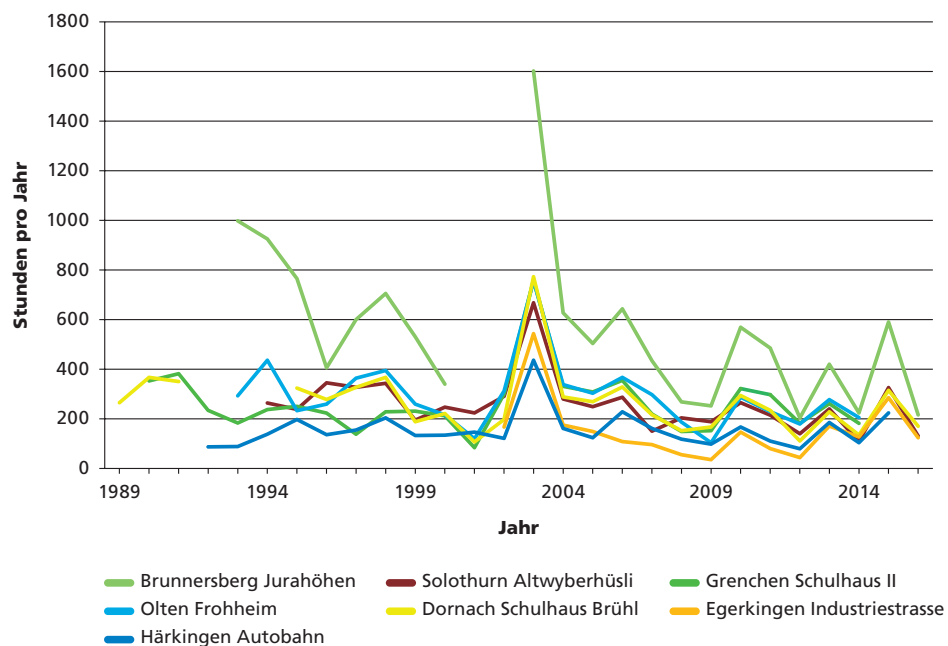
Ozon nimmt unter den Leitschadstoffen eine Sonderstellung ein, da es kein Primärschadstoff ist, also nicht emittiert, sondern hauptsächlich über komplizierte Prozesse aus anderen Schadstoffen gebildet wird. Die Ozonkonzentrationen haben daher keinen einfach zu interpretierenden Bezug zu den Aktivitäten des Menschen. Sie sind stark abhängig vom Wettergeschehen, vor allem von der Sonneneinstrahlung, und zeigen deshalb beträchtliche Schwankungen von Tag zu Tag.

Die beiden Immissionsgrenzwerte des Ozons – für das 1-h-Mittel und für 98 Prozent der Halbstundenwerte eines Monats – werden überall und meistens massiv überschritten. 150 und mehr Stunden pro Jahr mit Ozonkonzentrationen über dem Grenzwert sind die Regel. In den meisten Jahren ist der Grenzwert für die Monatswerte während 5 bis 8 Monaten nicht eingehalten. Ähnliche Verhältnisse werden auch in den anderen Kantonen beobachtet.

Am geringsten sind die Ozonimmissionen bei den Stationen Egerkingen und Härkingen, welche starken Immissionen vom Verkehr ausgesetzt sind. Das an diesen Orten in höheren Konzentrationen vorkommende NO reagiert mit Ozon und baut dieses ab. Im Gegensatz dazu treten die meisten Überschreitungen auf den Jurahöhen auf, wo die Produktion am grössten ist und der Ozonabbau am geringsten.

Für die gesundheitlichen Auswirkungen von Interesse ist auch, wie stark der Immissionsgrenzwert für das 1-h-Mittel überschritten wird. Seit einigen Jahren liegen die Spitzenwerte zwischen 150 und 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, während sie früher oftmals 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. Hier zeichnet sich über die Jahre, bei starken jährlichen Schwankungen, eine allmähliche Abnahme ab.

Anzahl Überschreitungen des 1-h-Grenzwertes



Bei sämtlichen Messstationen wurde der Immissionsgrenzwert für den 1-h-Mittelwert der Ozonkonzentration in allen Jahren massiv überschritten. Die mit Abstand höchste Anzahl Überschreitungen trat im Jahr 2003 mit einem sehr heissen Sommer und einer ungewöhnlich lang andauernden Schönwetterperiode auf («Jahrhundertsummer»).





Feinstaub (PM₁₀)

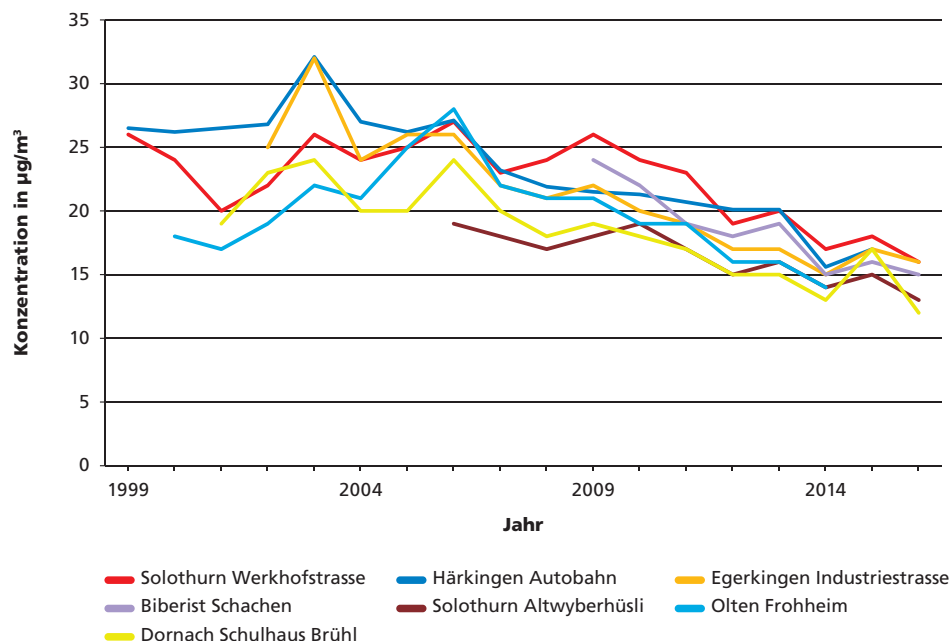
Zwischen dem Messbeginn 1999 und 2009 schwankten die Jahresmittel der Feinstaubkonzentrationen teilweise ziemlich stark. Auffällig sind in diesem Zeitabschnitt die hohen Werte von 2003 und 2006. Diese lassen sich durch die ausgeprägten Inversionslagen und den starken Wintersmog in diesen beiden Jahren erklären (→ Kap. 6). Bei allen schweizerischen Messstandorten nördlich der Alpen wurden damals ähnlich hohe Werte registriert.

Seit 2009 gingen die Feinstaubkonzentrationen allgemein deutlich zurück. Die Abnahme beträgt im Mittel etwa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Grund dafür ist die sukzessive Verminderung der Emissionen sowohl der primären Partikel als auch der gasförmigen Vorläufersubstanzen für die sekundären Partikel. Die Schwankungen zwischen 2012 und 2016 sind eine Folge der besonderen Wetterbedingungen dieser Jahre. 2013 zeichnete sich durch einige kurze Wintersmogperioden aus, während im aussergewöhnlich milden Winter 2014 der Wintersmog fast gänzlich ausblieb.

Im Vergleich zum NO_2 zeigen die Feinstaubimmissionen einen weniger starken Gegensatz zwischen städtischen und ländlichen Standorten. Dies ist zum einen eine Folge davon, dass ein Teil der Partikel erst im Laufe der Ausbreitung und damit in einiger Distanz zu den Quellen gebildet wird. Zum anderen ist dafür der Transport von Partikeln über grosse Distanzen verantwortlich (→ Kap. 6).

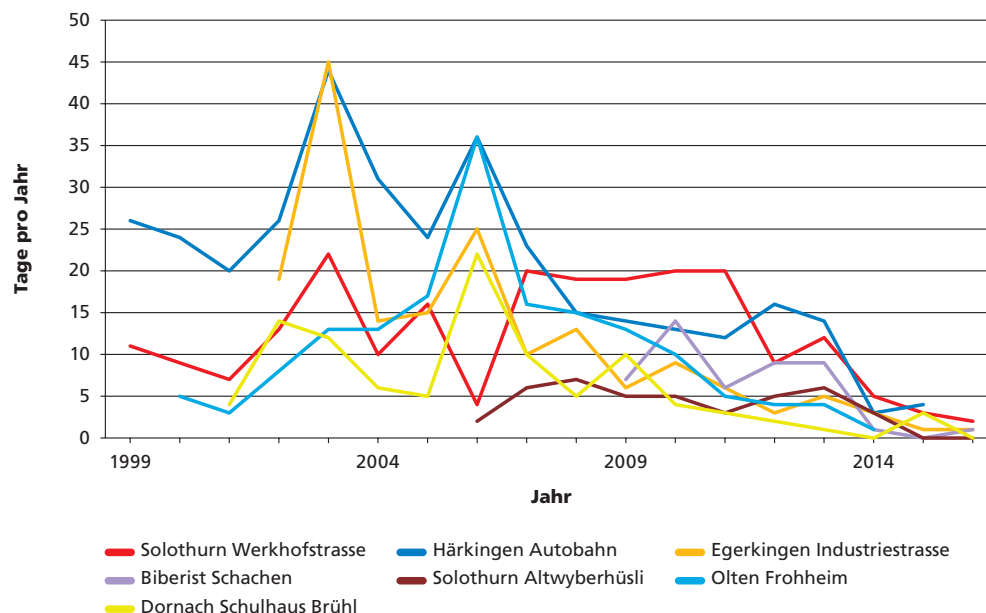
Der Immissionsgrenzwert für das Tagesmittel ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde früher an allen Stationen häufig überschritten. In den letzten Jahren war die Anzahl Tage mit Immissionen über dem Grenzwert jedoch stark rückläufig. Seit 2014 sind an allen Stationen weniger als fünf Überschreitungen pro Jahr verzeichnet worden. Besonders markant war der Rückgang bei der Messstation an der Werkhofstrasse in Solothurn ab 2011.

Jahresmittelwerte Feinstaub



Zwischen 2000 und 2009 lagen die Jahresmittelwerte der Feinstaubimmissionen bei den Messstationen noch mehrheitlich über dem Immissionsgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Seit 2012 wurden dagegen keine Überschreitungen mehr gemessen.

Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel



Die Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) war in den Jahren 2003 und 2006 mit starkem Wintersmog bei den meisten Stationen deutlich höher als sonst. Wie die Messungen von der Station Dornach zeigen, war aber offenbar der Wintersmog 2003 nördlich des Juras weniger ausgeprägt als im Mittelland. Heute wird der Grenzwert für das Tagesmittel nur noch selten überschritten.



Staubniederschlag und Inhaltsstoffe

Die Immissionen durch den schweren, an der Oberfläche abgelagerten Staub sind überall im Kanton gering im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten. Die langen Messreihen von Biberist, den beiden Messstandorten mit den grössten Staubimmissionen im Kanton, zeigen seit Mitte der 80er-Jahre Jahresmittelwerte von höchstens $120 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{-Tag})$. Der Immissionsgrenzwert von $200 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{-Tag})$ war somit auch hier immer mit grosser Reserve eingehalten. Die Immissionen sanken gegen Mitte der 90er-Jahre, stiegen danach bis etwa 2006 wieder an und zeigen seither eine fallende Tendenz. Dieser Verlauf lässt sich mit den Emissionen des Stahlwerkes Gerlafingen erklären.

Die Messstation in Härkingen an der Autobahn registrierte bis etwa 2000 ungefähr gleich grosse Staubniederschläge wie jene in Biberist. Seither liegen sie mit Werten zwischen 60 und $80 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{-Tag})$ deutlich tiefer. Eine Besonderheit stellen hier die ungewöhnlich hohen Immissionen im Jahr 2012 dar. Diese stammten von den Bauarbeiten für den Ausbau der Autobahn auf sechs Spuren. Der Autobahnverkehr selber verursacht keine besonders hohen Staubniederschläge.

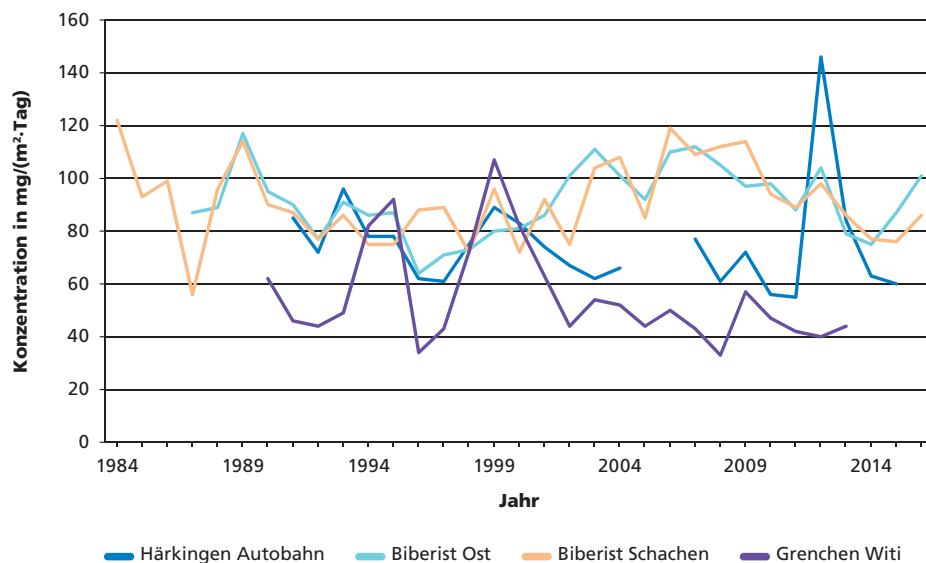
Die in der Grenchner Witi gemessenen Staubniederschläge zwischen 40 und $60 \text{ mg}/(\text{m}^2\text{-Tag})$ sind als Hintergrundwert zu betrachten. Die erhöhten Werte um 1995 und 1999 dürften von Bauarbeiten in der näheren Umgebung für die Autobahn A5 verursacht worden sein. Da der Gesamtstaub in der Regel nicht über grosse Strecken mit dem Wind verfrachtet wird,

muss er, anders als der Feinstaub, in der Grenchner Witi hauptsächlich durch lokale landwirtschaftliche und natürliche Quellen verursacht werden.

Die in Härkingen und der Grenchner Witi gemessenen Depositionen von Blei, Cadmium und Zink liegen seit Messbeginn in den 90er-Jahren weit unter den Immissionsgrenzwerten und stellten lufthygienisch nie ein Problem dar. Die im Vergleich zum Grenzwert grössten Depositionen zeigte in den 90er-Jahren das Blei, was eine Folge der damals noch weit verbreiteten Bleizusätze im Benzin war. Seit 1985, der Einführung des bleifreien Benzins, nahmen die vor allem in Härkingen an der Autobahn hohen Bleigehalte im Staubniederschlag markant ab. Aber auch bei den Hintergrundwerten von der Grenchner Witi ist ein deutlicher Rückgang festzustellen. Die Messwerte von Härkingen und der Grenchner Witi lassen vermuten, dass die Depositionen von Blei, Cadmium und Zink, ausser in der Nähe von grossen Quellen, überall im Kanton sehr gering sind.

Eine grosse Quelle von Schwermetallen stellt das Stahlwerk Gerlafingen dar. Die an den beiden Standorten in Biberist gemessenen Depositionen von Blei, Cadmium und Zink widerspiegeln eindrücklich die Emissionsgeschichte dieser industriellen Anlage. Mit dem Einbau von ersten Filtern in den 80er-Jahren nahmen die vorher ausserordentlich hohen Blei-, Cadmium- und Zinkbelastungen stark ab, bis um 1990 herum erstmals die Grenzwerte von Blei und Cadmium eingehalten werden konnten. Ein neuer Schmelzofen liess danach die Werte wieder stark ansteigen,

Jahresmittelwerte Staubdeposition



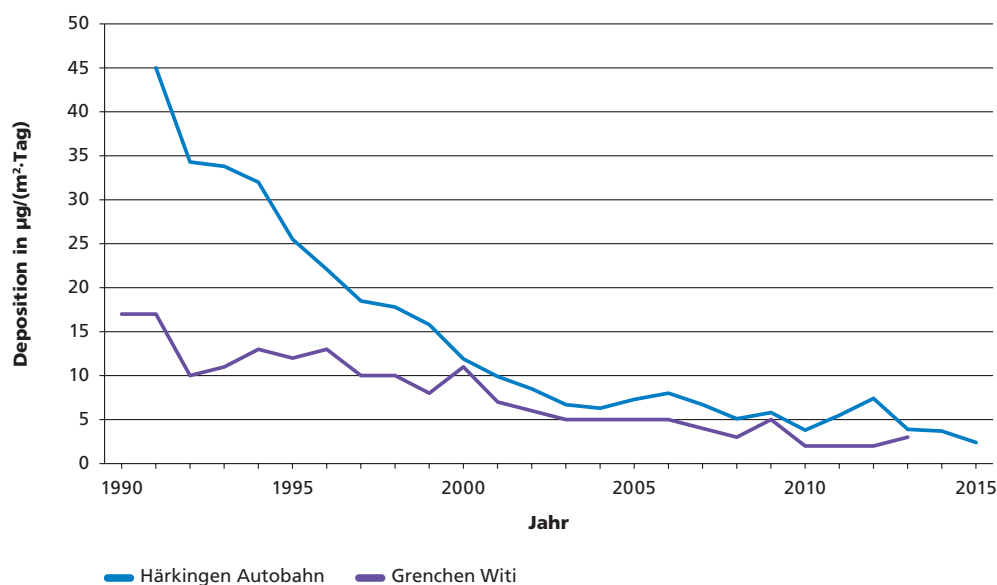
Die Jahresmittelwerte der Staubbiederschläge lagen stets an allen Messstationen weit unter dem Immissionsgrenzwert von 200 mg/(m²·Tag). Die Staubbiedemissionen von Biberist werden zu einem grossen Teil vom Stahlwerk Gerlafingen verursacht. Der aussergewöhnlich hohe Wert von 2012 in Härkingen ist auf Bauarbeiten zurückzuführen.



bis 1997 neue Filter Abhilfe schufen. Seit 1997 liegen nun an beiden Messstandorten die Cadmium- und seit 2008 auch die Bleidepositionen unter dem Immissionsgrenzwert. Der Immissionsgrenzwert für Zink wird aber nach wie vor überschritten. Im Gebiet Schachen

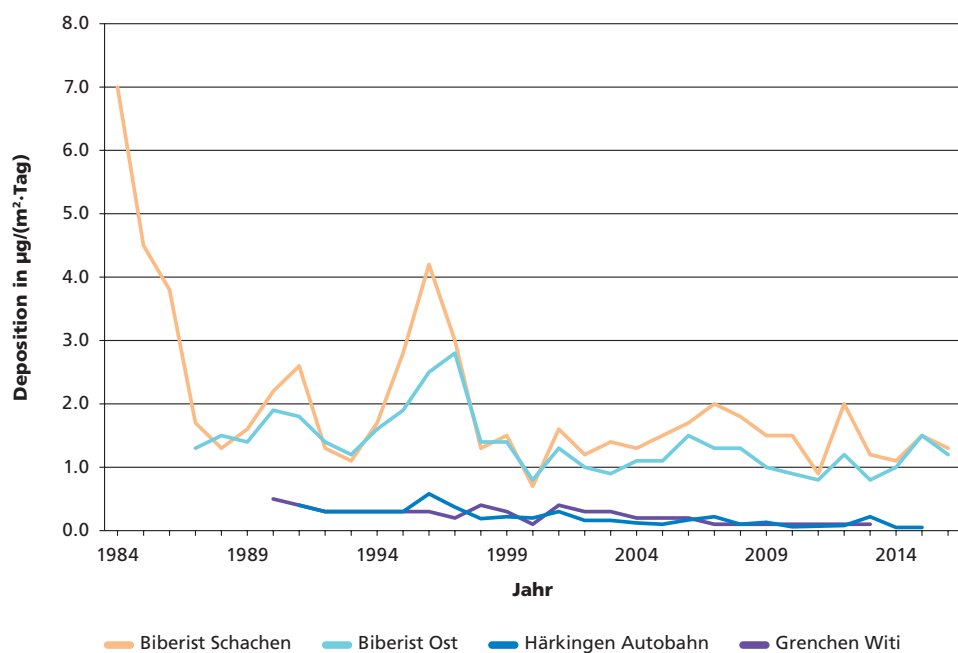
westlich des Stahlwerks sind die Immissionen in den meisten Jahren etwas höher als bei der östlichen Messstelle, was auf die geringere Entfernung von den Schadstoffquellen und die örtlichen Windverhältnisse zurückzuführen ist.

Jahresmittelwerte Bleideposition



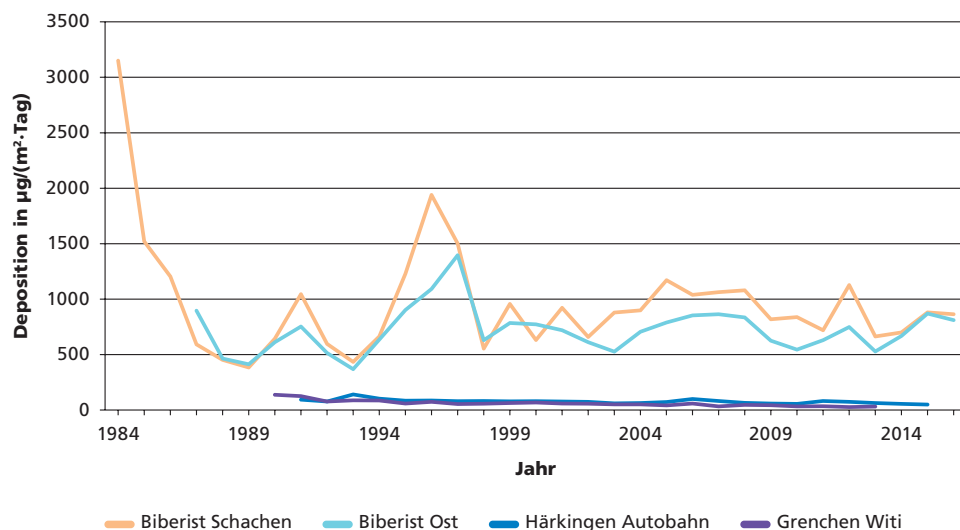
Die Bleigehalte im Staubbiederschlag liegen heute an der Autobahn A1 fast auf dem Niveau der Hintergrundwerte, wie sie in der Grenchner Witi gemessen wurden. Der Strassenverkehr stellt heute keine wesentliche Quelle von Blei mehr dar.

Jahresmittelwerte Cadmiumdeposition



Die Gehalte von Cadmium im Staubbiederschlag dürften heute fast im ganzen Kantonsgebiet zwischen dem Hintergrundwert (unter der Nachweisgrenze) und den Werten an der Autobahn in Härkingen liegen. In Biberist sind sie deutlich höher; seit Ende der 90er-Jahre sind aber auch hier keine Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von 2 µg/(m²·Tag) mehr verzeichnet worden.

Jahresmittelwerte Zinkdeposition



Die Zinkdeposition mit dem Staub ist an der Autobahn in Härkingen und in der Grenchner Witi sehr gering. Mit Ausnahme des Raumes Biberist ist dies heute wahrscheinlich im ganzen Kanton der Fall. In der Umgebung des Stahlwerks Gerlafingen haben die Zinkdepositionen zwar gegenüber den höchsten Belastungen in den 80er- und 90er-Jahren abgenommen, seit ungefähr 2000 sind aber ihre Werte, abgesehen von den jährlichen Schwankungen, unverändert hoch geblieben. Der Immissionsgrenzwert von $400 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ wird deutlich überschritten.



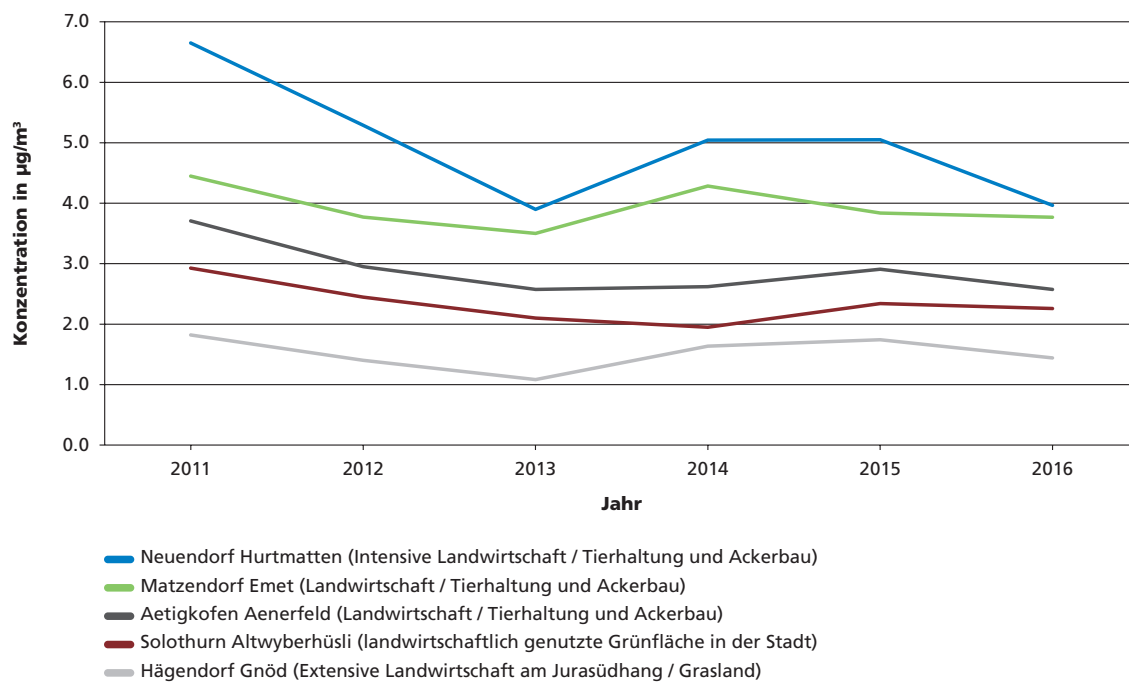


Ammoniak

Die meisten der an zwölf Standorten gemessenen Ammoniakkonzentrationen liegen zwischen 2 und 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel. Werte unter 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden nur am Standort Hägendorf Gnöd am Jurahang in einer extensiv genutzten Wiesenfläche und, in einem einzigen Jahr, am Standort Altwyberhüsli in der Stadt Solothurn festgestellt. Die grössten Ammoniakimmissionen weist der Standort Hurtmatten in Neuendorf, inmitten eines intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebietes, auf. Der kleinste gemessene Wert beträgt hier 3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der tiefere Critical Level von 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Flechten und Moose ist an keinem der Messstandorte im Kanton eingehalten, der höhere von 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für höhere Pflanzen wird dagegen nur in der Nähe intensiver Landwirtschaft überschritten. Da die Ammoniakimmissionen sehr stark von der Entfernung zu Nutztierhaltungen und zu den Orten des Gülleausstrags abhängen, ist bei einer Verallgemeinerung der Messwerte Vorsicht geboten. Es ist aber anzunehmen, dass es im solothurnischen Mittelland und in den Tälern des Jura zahlreiche Flächen empfindlicher Ökosysteme gibt, in denen der jeweilige Critical Level überschritten ist.

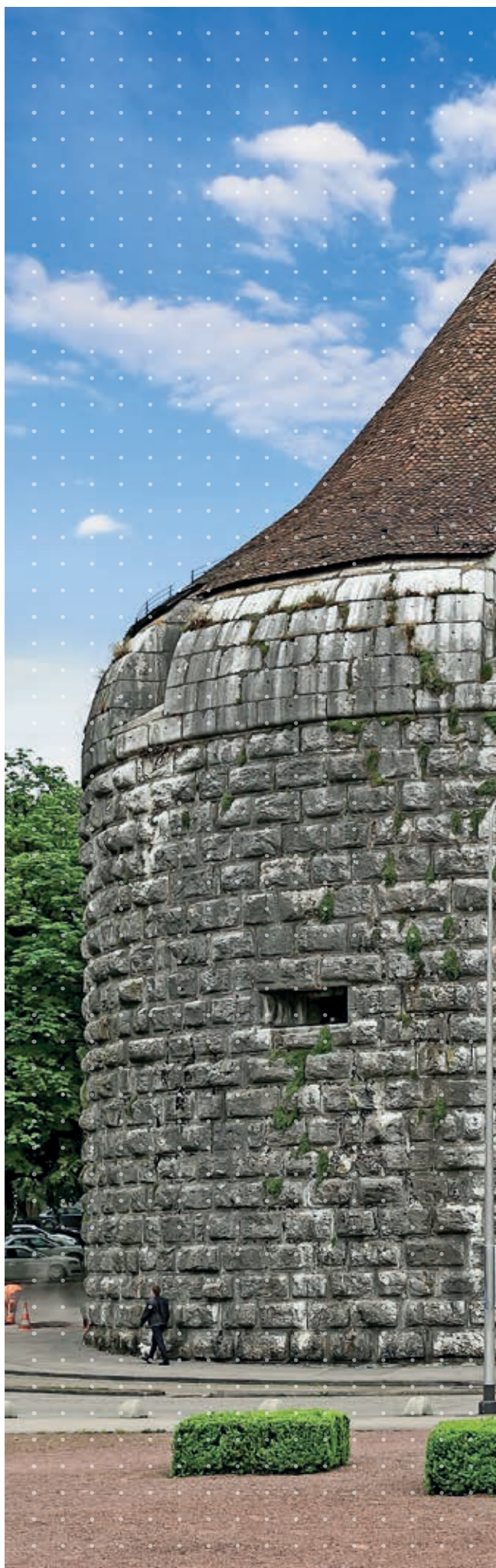
Die Jahresmittelwerte schwanken von Jahr zu Jahr nur relativ wenig. Bei allen Messstellen waren die Immissionen im Jahr 2011 am grössten, bei fast allen 2013 am kleinsten. Da Ammoniak mit dem Regen ausgewaschen wird, spielt das Wetter eine grosse Rolle für die durchschnittlichen Immissionen. Bei allen Stationen wurden immer im März die grössten Immissionen im Jahresverlauf gemessen. Bei einigen Stationen trat ein zweites Maximum im November auf. In diesen beiden Monaten wird mit Abstand am meisten Gülle ausgebracht.

Jahresmittelwerte Ammoniak



In der Umgebung von intensiver Landwirtschaft – wie an den Standorten Hurtmatten bei Neuendorf oder Emet bei Matzendorf – treten die grössten Ammoniakimmissionen auf. Es gibt keine klaren systematischen Unterschiede zwischen den drei untersuchten Regionen Bucheggberg, Gäu und Thal.





Schadstoffimmissionen bis zu gewissen Schwellenwerten sind unbedenklich. Ab diesen Grenzen können aber Schädigungen auftreten, und zwar umso stärker, je höher die Immissionen sind. Beim Menschen können zu hohe Belastungen die Atemwege sowie Herz und Kreislauf beeinträchtigen. Das gesundheitliche Risiko ist heute für eine Einzelperson gering. Die Folgen für die Gesundheitskosten sind dennoch beträchtlich. Zu hohe Luftbelastungen schädigen auch Tiere, Pflanzen, Ökosysteme und Bauwerke.

4. Die Folgen zu hoher Luftbelastungen

4.1 Vielfältige Auswirkungen

Dank der Anstrengungen zur Luftreinhaltung hat sich die Luftqualität in den letzten Jahrzehnten in der Schweiz wesentlich verbessert (→ Kap. 3). Damit haben auch die schädlichen Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf Mensch und Umwelt deutlich abgenommen. Offensichtliche Schädigungen werden heute kaum noch beobachtet. Dennoch treten auch bei den heutigen Immissionen noch Schädigungen, insbesondere der menschlichen Gesundheit, auf. Sie äussern sich allerdings fast nur noch in statistischen Zusammenhängen und sind entsprechend schwierig nachzuweisen.

Einmal freigesetzt, werden Luftverunreinigungen verbreitet und in Stoffkreisläufe eingebunden, die ausser der Luft auch den Boden, das Wasser und die belebte Umwelt – Mensch, Tiere, Pflanzen und andere Organismen – umfassen. Gewisse Schadstoffe können unmittelbar nach der Einwirkung zu akuten Schädigungen führen, häufiger und wichtiger sind bei uns jedoch die chronischen Schädigungen nach längerer Einwirkungszeit.

Das Spektrum der möglichen nachteiligen Auswirkungen von Luftverunreinigungen ist sehr breit. Das Umweltschutzgesetz führt denn auch mehrere Schutzziele bezüglich Luftverunreinigungen auf. So dürfen Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährdet, die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich gestört, Bauwerke nicht beschädigt und die Frucht-

barkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigt werden.

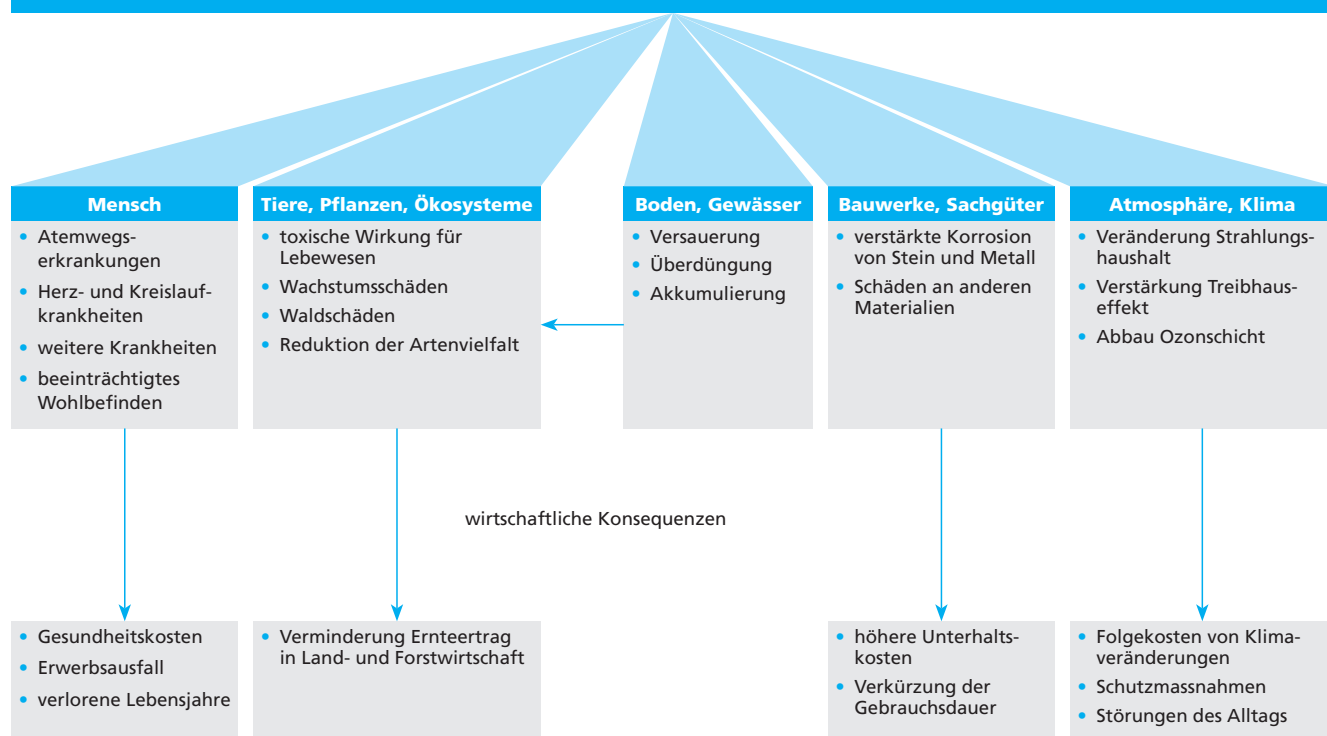
Die meisten Auswirkungen führen, direkt oder indirekt, zu wirtschaftlichen Einbussen oder zusätzlichen Kosten. Die Abbildung auf der nächsten Seite schafft eine Übersicht über die wichtigsten Auswirkungen und ihre ökonomischen Folgen. Für uns Menschen von grösstem Interesse sind natürlich die Wirkungen auf die menschliche Gesundheit; aber auch Störungen natürlicher Gleichgewichte, die zu Veränderungen unserer Lebensbedingungen führen, sind von Bedeutung.

4.2 Von wo an ist es zu viel?

Die nachteiligen Auswirkungen von Luftverunreinigungen sind allgemein umso grösser, je höher die Konzentrationen sind. Zudem spielt auch die Dauer der Einwirkung eine Rolle. Die Kombination von Einwirkungsintensität und -dauer wird als Exposition oder Dosis bezeichnet. In der Regel wird nur zwischen kurzzeitiger Exposition – einige Stunden bis Tage – und dauernder Exposition (mindestens ein Jahr) unterschieden.

Schädliche Auswirkungen durch Luftverunreinigungen treten erst ab gewissen Konzentrationswerten auf. Diese Wirkungsschwellen bilden die Grundlage für die gesetzlichen Grenzwerte. Die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) beziehen sich auf den Schutz der menschlichen Gesundheit, da dieser

Luftverunreinigungen (NO₂, Feinstaub, Ozon, Ammoniak, VOC etc.)



Quelle: Hans Ramseyer, Tensor Consulting AG

die strengsten Anforderungen stellt. Die anderen in der LRV erwähnten Schutzobjekte sind damit ebenfalls ausreichend geschützt. Eine etwas andere Situation liegt beim Ammoniak vor, bei welchem der Schutz der Ökosysteme die Immissionsbegrenzung bestimmt. Für Menschen ist Ammoniak in diesen Konzentrationen noch nicht schädlich.

Schädliche Auswirkungen können bereits bei relativ geringen Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte auftreten. Die allermeisten Menschen spüren davon allerdings nichts, solche Folgen sind nur statistisch in einer grossen Bevölkerungsgruppe feststellbar. Mit zunehmenden Konzentrationen wächst der Anteil der Betroffenen, welche unter Beeinträchtigungen leiden, und umso stärker sind die Beschwerden.

4.3 Schädigungen der menschlichen Gesundheit

Die Qualität der Luft ist für den Menschen besonders bedeutsam. Ein Teil der eingeatmeten Schadstoffe wird über die Schleimhäute des Nasen-Rachen-Raumes und die Lunge im Körper aufgenommen. Gewisse Schadstoffe unterliegen im Körper chemischen Reaktionen, andere werden eingelagert und können sich über Jahre hinweg anreichern. Der Körper verfügt aber auch über Prozesse, mit welchen störende Fremdstoffe wieder ausgeschieden werden können.

Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon sind starke Reizgase für den Atemtrakt. Feinstaubpartikel (PM₁₀) dringen

beim Einatmen in die Bronchien und Bronchiolen vor, die ganz feinen Partikel gelangen bis in die Lungenbläschen. Die Partikel lagern sich auf den Oberflächen ab und rufen Schleimbildung, Husten und Auswurf hervor.

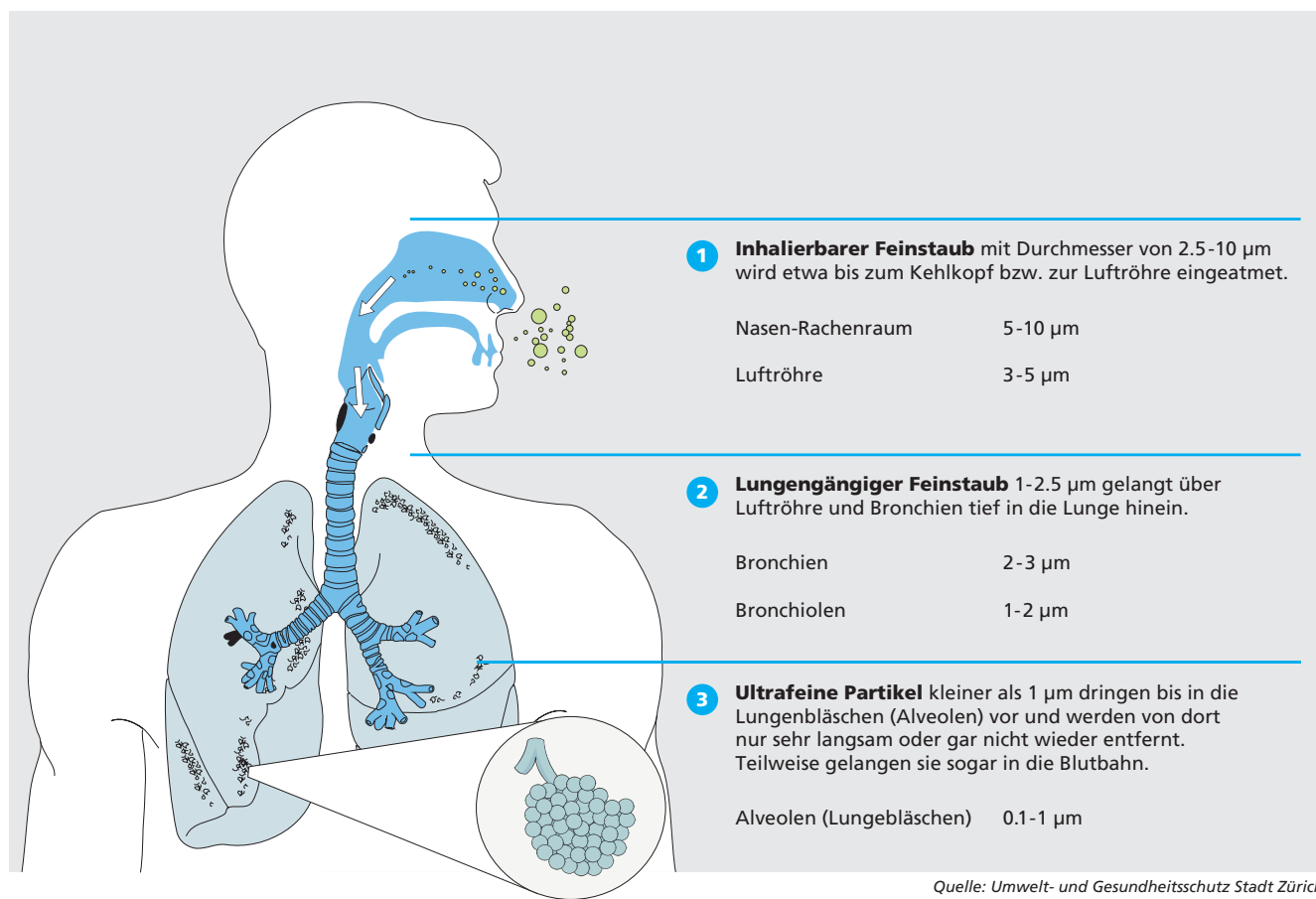
In höheren Konzentrationen können NO₂, Ozon und Feinstaub zu akuten Atembeschwerden führen, bereits bestehende Symptome von Atemwegserkrankungen werden verstärkt. Längere Expositionen, auch in kleineren Konzentrationen, stehen unter anderem in Zusammenhang mit Einschränkungen der Lungenfunktion, Asthmaanfällen, chronischer Bronchitis, chronisch obstruktiver Lungenkrankheit (wozu auch die berühmte «Raucherlunge» zählt) und Lungenkrebs.

Feinstaubimmissionen können ausserdem zu Herz- und Kreislauferkrankungen führen. Die entzündlichen Prozesse in der Lunge setzen Stoffe frei, die zusammen mit gelösten Stoffen aus abgelagerten Partikeln in die Blutbahn übertreten und eine Folge von Reaktionen auslösen können. Zahlreiche Studien belegen, dass zwischen Störungen der Blutgerinnung, Bluthochdruck, Gefässverengungen, Herzschwäche und -infarkt und Hirnschlag und der Feinstaubexposition ein Zusammenhang besteht. Zu hohe Feinstaubimmissionen haben allgemein eine erhöhte Sterblichkeit zur Folge.

In den letzten Jahren mehrten sich die Hinweise, dass auch weitere Körperfunktionen durch Luftschadstoffe geschädigt werden können. So scheinen Diabetes und

allergische Reaktionen damit zusammenzuhängen. Trotz der Fülle neuer Erkenntnisse sind die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverunreinigungen nach wie vor sehr schwierig abzuschätzen (→ Box).

Das individuelle Risiko für eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch Luftschadstoffe ist in der Schweiz gering. Wegen der grossen Anzahl Betroffener sind die Folgen für die Volksgesundheit und -wirtschaft



Wie werden die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht?

Die besten Kenntnisse bestehen verständlicherweise über die akuten Beschwerden bei sehr hohen Schadstoffkonzentrationen, wie sie glücklicherweise heute in der Schweiz nicht mehr vorkommen (anders als etwa in Peking). Die Langzeitwirkungen der hierzulande auftretenden Immissionen müssen durch so genannte epidemiologische Studien untersucht werden. In diesen wird eine möglichst grosse Anzahl von Menschen über längere Zeit hinweg beobachtet, und die Befunde werden statistisch analysiert. Die Menschen sind vielfachen, sich überlagernden Einflüssen ausgesetzt. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe sind zudem unspezifisch, es kommen also jeweils auch viele andere Ursachen dafür in Frage. Epidemiologische Studien, mit welchen mögliche Zusammenhänge aus den Beobachtungen herausgefiltert werden, sind

deshalb immer ausserordentlich schwierig und aufwendig.

In der Schweiz läuft seit 1991 die epidemiologische Langzeitstudie SAPALDIA. Dafür wurden rund 10000 Personen an acht Wohnorten mit unterschiedlichen Immissionssituationen (Stadt, Vorstadt, Land, Berge) ausgewählt und medizinisch untersucht, auch ihre Lebensbedingungen wurden detailliert erfasst. Bereits aus der ersten Phase bis 1993 resultierten statistisch zuverlässige Dosis-Wirkungs-Beziehungen für wichtige Gesundheitsparameter. So zeigte sich zum Beispiel, dass die Häufigkeit von Atemnot annähernd proportional zur Feinstaubexposition ansteigt. Die Untersuchungen wurden in zwei späteren Phasen, 2001 und 2010, an den gleichen Personen wiederholt. So konnte für zahlreiche weitere Gesundheitsparameter ein Zusammenhang mit der Schadstoffexposition nachgewiesen werden.

dennoch bedeutend. Sie äussern sich unter anderem in gesteigertem Medikamentenbedarf, vermehrten Arztbesuchen, Einschränkungen der Aktivität, Ausfällen am Arbeitsplatz, zusätzlichen oder längeren Spitalaufenthalten und vorzeitigen Todesfällen. Die

schwerwiegenderen Beeinträchtigungen treten glücklicherweise wesentlich seltener auf als die leichteren.

In einer grossen Studie des Bundes über die externen Kosten des Verkehrs wurde auch der Einfluss von des-

Interview mit dem Lungenarzt Dr. Thomas Schmid, Solothurn



Wie belastet die Umwelt unsere Atmung?

Der Mensch atmet pro Tag rund zehn bis zwanzig Kubikmeter Luft ein – und mit ihr alles, was darin eingeschlossen ist. Dazu zählen natürliche Verunreinigungen wie Pollen, aber auch Schadstoffe, die sich beispielsweise durch Verbrennungsprozesse in der Luft angereichert haben. Zwar verfügt der Körper über natürliche Reinigungssysteme der Nasen- und Bronchialschleimhaut, welche Partikel einfangen und wie auf einem Förderband aus den Bronchien entfernen. Je kleiner die Partikel, desto tiefer dringen sie in die Bronchien und bis in die Lungenbläschen vor. Kleinstpartikel können durch die Lungenbläschen hindurch ins Blut und über den Kreislauf in den Körper gelangen. Diese Kleinstpartikel sind also nicht nur ein Problem für die Atmungsorgane, sondern beeinträchtigen den gesamten Organismus.

Welche Symptome beobachten Sie bei Ihren Patientinnen und Patienten?

Husten und Auswurf sind ein Zeichen, dass das Reinigungssystem durch Schadstoffe überlastet und gestört ist. Durch anhaltende Belastungssituationen können die Beschwerden auch chronisch werden.

Wer ist besonders betroffen?

Besonders betroffen sind Menschen, die bereits geschwächt sind, wie Asthmakranke oder an chronisch obstruktiver Lungen-

krankheit (COPD) leidende Personen. Ihr Gesundheitszustand kann sich durch Luftschadstoffe rasch verschlechtern. Aber auch Kinder reagieren sehr empfindlich.

Seit wann sind Luftschadstoffe bekannt?

Seit der Mensch das Feuer entdeckt hat, beeinträchtigt er seine Atemluft mit Schadstoffen. In Innenräumen sind offene Feuerstellen, Gasherde und Passivrauch die Hauptquellen. Die Aussenluft wurde früher durch Kohle- und Ölfeuerungen der Industrie und der Privathaushalte belastet. Heute stehen in der Schweiz vor allem die Schadstoffe, die beim Strassenverkehr entstehen, im Vordergrund, besonders der Feinstaub von Dieselfahrzeugen.

Welche Situationen machen Ihnen aus medizinischer Sicht Sorgen?

Wir stellen zwei kritische Situationen fest: Ozonlagen im Sommer und Wintersmog. Ozon reizt und belastet vor allem Asthmakranke. Doch Ozonlagen kann man etwas ausweichen, wenn man auf Anstrengungen im Freien verzichtet und sich während kritischen Tageszeiten in Innenräumen aufhält. Schwieriger ist es mit den Inversionslagen im Winter. Oft vermuten die Menschen, dass der Nebel ihnen auf die Atmung schlägt. Doch in Wahrheit sind es die im Nebel angesammelten Schadstoffe, die das Unwohlsein verursachen.

Was erwarten Sie von der Politik und den Behörden?

Die wohl grösste Luftverschmutzung mutet sich der Mensch mit dem Rauchen zu. Viel bewirkt hat der Passivrauchschutz in den meisten öffentlich zugänglichen Räumen. So gingen nach der Einführung die Notfallspitaleintritte wegen akuten Herzerkrankungen markant zurück. Verbesserungspotential gibt es sicher im Strassenverkehr. Durch eine konsequente Förderung der Elektromobilität könnte die Luftqualität in Ballungszentren und entlang den Verkehrsachsen verbessert werden.

sen Schadstoffemissionen auf die Gesundheit ermittelt. Für die Verhältnisse von 2010 ergaben sich für die gesamte Schweiz als Folge der Schadstoffbelastung unter anderem 20 000 Spitaltage wegen Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen (1% aller Spitaltage durch solche Erkrankungen), 1 Million Tage mit Erwerbsausfall (1% aller derartige Tage), 30 000 verlorene Lebensjahre und 3 000 vorzeitige Todesfälle (5% aller Todesfälle). Die dadurch verursachten Gesundheitskosten wurden auf rund vier Milliarden Franken geschätzt. Im Kanton Solothurn mit 3,2% Bevölkerungsanteil liegen die jährlichen Gesundheitskosten somit in der Grössenordnung von gut 100 Millionen Franken. Da die Immissionen von NO₂ und Feinstaub seither deutlich abgenommen haben, dürfte sich auch das Ausmass der gesundheitlichen Beeinträchtigungen vermindert haben. Diese Resultate, teilweise mit statistisch schlecht abgestützten Wirkungszusammenhängen gewonnen, sind mit gebührender Vorsicht zu interpretieren. Über die aktuelle Situation gibt es noch keine umfassenden Studien.

Eine besondere Rolle spielen Geruchsimmissionen. Oftmals sind Gerüche für den Menschen «lästig» im Sinne des Umweltschutzgesetzes, haben aber keine direkten Auswirkungen auf die Gesundheit. Man denke beispielsweise an die Gerüche beim Austrag von Gülle auf die Wiesen. Lästige Gerüche wirken sich auf das Wohlbefinden der Menschen aus, was längerfristig ebenfalls gesundheitliche Probleme hervorrufen kann. Viele gesundheitsgefährdende Stoffe, wie zum Beispiel Benzindämpfe oder die meisten Lösemittel, haben einen ausgeprägten Geruch und können folglich sowohl schädlich wie auch lästig wirken. Derartige Stoffe treten aber nur in unmittelbarer Nähe der Quellen in gesundheitsschädigenden Konzentrationen auf.

4.4 Schädigungen der belebten Umwelt

Zu hohe Konzentrationen von Luftschadstoffen haben auf Säugetiere ähnliche gesundheitliche Auswirkungen wie auf Menschen. Sie können auch die Vegetation und je nach Empfindlichkeit ganze Ökosysteme schädigen.

Die Pflanzenwelt wird vor allem durch Ozon beeinträchtigt, welches durch die Spaltöffnungen aufgenommen wird. Dies führt zur Schädigung von Zellen und zu Wachstums- und Reproduktionsstörungen. Auch sichtbare Schäden an den Blättern treten auf. Die Pflanzen werden allgemein geschwächt und dadurch anfälliger gegenüber Trockenheit und Schädlingen. Empfindliche Pflanzen werden zurückgedrängt, was sich längerfristig negativ auf die Artenvielfalt auswirkt. Durch die Wachstumsreduktion verringert sich der Ertrag von Waldbäumen und landwirtschaftlichen Kulturen. Bei den heutigen Ozonkonzentrationen liegt die Ertragseinbusse in der Grössenordnung von etwa

Was ist eigentlich aus dem Waldsterben geworden?

Die Bilder abgestorbener Wälder im Erzgebirge – «klassische Rauchschäden» von Schwerindustrie und Kohlekraftwerken – gingen vor rund 30 Jahren um die Welt. Ab etwa 1980 wurde in Mitteleuropa auch weitab von solchen Quellen eine neue Art von Waldschäden beobachtet. Auch in der Schweiz verschlechterte sich der Zustand des Waldes rasch. Es wurde befürchtet, dass der Wald innert kurzer Zeit grossflächig verschwinden würde. Als Hauptursachen wurden die Luftverschmutzung und der saure Regen ausgemacht. Die emotionale politische Debatte dieses Waldsterbens genannten Phänomens sensibilisierte die Bevölkerung und half mit, dass wirksame Massnahmen zur Reduktion der Emissionen ergriffen wurden, wie zum Beispiel die Einführung des bleifreien Benzin, des Katalysators und des schwefelarmen Heizöls. Die Wälder stabilisierten sich Ende der 80er-Jahre und erholten sich anschliessend wieder. Trotz grosser Forschungsanstrengungen konnte die Ursache der neuen Art von Waldschäden nicht schlüssig geklärt werden. Neben den Emissionsminderungen trugen sicher auch andere Faktoren zur Gesundung bei. Auch heute noch werden, wenn auch in geringerem Ausmass, Auswirkungen von Luftschadstoffen auf den Wald beobachtet. Die Zusammenhänge werden weiterhin erforscht.

zehn Prozent. Die kombinierte Wirkung verschiedener Schadstoffe kann zu komplexen Schadensbildern führen. Luftschadstoffe sind aber nicht nur schädlich für Pflanzen. Durch sie wird den Pflanzen auch ein wesentlicher Teil der benötigten Nährstoffe zugeführt.

Ökosysteme werden, ausser durch die direkte toxische Wirkung von Schadstoffen auf Tiere und Pflanzen, indirekt durch Eutrophierung und Versauerung in Mitleidenschaft gezogen. Eutrophierung bezeichnet einen Überschuss an Nährstoffen im Boden oder im Wasser. Hauptursache sind zu hohe Einträge von Stickstoff und Ammoniak. Die Überdüngung bewirkt ein übermässiges Wachstum gewisser Arten auf Kosten der Mehrheit der anderen, wie beispielsweise bei der bekannten «Algenblüte». Letztlich hat die Eutrophierung eine Verringerung der Artenvielfalt zur Folge.

Stickoxide und Schwefeloxide werden in der Luft teilweise zu Salpetersäure und Schwefelsäure umgewandelt, die sich in Regentröpfchen lösen und so den

sauren Regen verursachen. Dieser führt mit der Zeit zu einer Versauerung von Böden und Gewässern, was Tiere und Pflanzen schädigt. Berühmt geworden sind vor rund 50 Jahren die stark sauren Bergseen im Tessin, die praktisch keine Lebewesen mehr enthielten. Durch saure Niederschläge werden ausserdem im Boden vermehrt Nährstoffe wie Calcium, Magnesium und Natrium ausgewaschen und Schwermetalle mobilisiert. Dies kann bei den auf diesen Böden wachsenden Pflanzen zu Nährstoffmangel und direkten Schädigungen durch zu hohe Schwermetallaufnahmen führen.

4.5 Noch mehr Folgen

Es gibt viele weitere Auswirkungen zu hoher Schadstoffimmissionen. Während einige durch direkten Kontakt zustande kommen, wie beispielsweise die Korrosion, sind andere die Folge von indirekten Wirkprozessen. Unter der letzten Kategorie verdienen die klimawirksamen Luftverunreinigungen und jene, welche die Ozonschicht abbauen, besondere Beachtung. Halogenierte Kohlenwasserstoffe, welche früher in der Industrie in grossen Mengen verwendet wurden, sind zwar in den untersten Luftschichten ohne grosse Wirkung, führen aber in grösseren Höhen (Stratosphäre), vor allem im Sommer über der Antarktis, zu einem katalytischen Abbau der Ozonschicht. Durch dieses als Ozonloch bekannt gewordene Phänomen wird die Atmosphäre durchlässiger für die Ultraviolettstrahlung des Sonnenlichts, was bei Menschen, Tieren und Pflanzen Schädigungen verursachen kann. Ozonschicht abbauende Stoffe wurden zwar schon vor längerer Zeit fast vollständig verboten. Da sie in der Stratosphäre aber äusserst langlebig sind und beim Abbau von Ozon nicht in weniger schädliche Stoffe umgewandelt werden, werden sie ihre zerstörerische Wirkung noch längere Zeit entfalten.



▲ Gewisse Luftverunreinigungen, allen voran Kohlendioxid und Methan, führen zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts und damit direkt zu einer Zunahme der mittleren globalen Temperatur. Dies wird als wichtigste Ursache für die seit einiger Zeit stattfindenden Klimaveränderungen betrachtet.

Die natürliche Korrosion von Steinen, Beton, Ziegeln und Metallen wird durch ihren Kontakt mit sauren Gasen und der Ablagerung von Staubpartikeln stark beschleunigt. Derartige Schäden an Bauwerken haben in der Schweiz dank der Verbesserung der Luftqualität in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung verloren.



Quelle: Denkmalpflege

Bei winterlichen Inversionen kann es vorkommen, dass in der Nähe eines Gebietes mit industrieller Nutzung isoliert Schnee fällt. Dies war letztmals Anfang Dezember 2016 im Raum Biberist-Gerlafingen-Kriegstetten der Fall, während der übrige Kanton völlig schneefrei blieb. Voraussetzung für dieses als Industrieschnee bezeichnete Phänomen sind besondere meteorologische Bedingungen sowie Emissionen von Wasserdampf und Partikeln. Interessanterweise war aber das Stahlwerk Gerlafingen während der Episode im Dezember 2016 nicht in Betrieb. Industrieschnee hat keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit.

In der näheren Umgebung von grossen industriellen Quellen wurden früher durch die Ausbreitung über die Luft beträchtliche Mengen an Schadstoffen abgelagert. Nicht abbaubare Stoffe, wie zum Beispiel giftige Schwermetalle, reicherten sich in den obersten Bodenschichten teilweise über lange Jahre hinweg an. Verunreinigte Böden neben der Swissmetall in Dornach mussten deshalb abgetragen und gereinigt werden.



Quelle: Doris Mülchi



Die Luftverunreinigungen stammen zu einem grossen Teil von der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen und von Abfällen. Die wichtigsten Schadstoffquellen stellen heute der motorisierte Verkehr, Feuerungsanlagen, der Umgang mit leichtflüchtigen Chemikalien und die Tierhaltung dar. Ozon und ein grosser Teil der Feinstaubpartikel werden nicht aus Quellen freigesetzt, sondern entstehen erst in der Luft durch Umwandlung von anderen Schadstoffen. Der Kanton führt seit den 80er-Jahren einen Emissionskataster, ein umfassendes Verzeichnis der Emissionen im Kantonsgebiet. Dieser zeigt, dass die meisten Emissionen in den letzten zwei Jahrzehnten stark zurückgegangen sind.

5. Quellen und Emissionen von Luftschadstoffen

43

5.1 Woher kommen die Luftverunreinigungen?

Freisetzung aus Quellen

Der grösste Teil der Schadstoffemissionen entsteht durch Verbrennungsvorgänge. Diese finden vor allem bei der Wärme- und Energiegewinnung in Feuerungen und Motoren, aber auch bei der Verbrennung von Abfällen in speziellen Anlagen statt. Würde ein Brenn- oder Treibstoff ausschliesslich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, so könnte er durch die Verbrennung theoretisch vollständig in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt werden. Alle Brenn- und Treibstoffe enthalten aber gewisse Verunreinigungen, wie zum Beispiel Schwefel, die direkt oder über Umwandlungsprodukte als schädliche Abgase in Erscheinung treten. Eine vollständige Verbrennung ist zudem technisch nicht realisierbar, so dass die Abgase immer auch Kohlenmonoxid, Russ und unverbrannte Kohlenwasserstoffe enthalten.

Wie kommen die Stickoxide in die Abgase?

Der zur Verbrennung (Oxidation) benötigte Sauerstoff wird durch Luft zugeführt. Diese besteht aber zu rund 80 Prozent aus Stickstoff (N_2), zudem enthalten alle Brenn- und Treibstoffe kleine Anteile von Stickstoffverbindungen. Bei der Verbrennung wird ein Teil des Stickstoffs durch verschiedene Reaktionen chemisch in Stickstoffmonoxid (NO) umgewandelt. Dieses ist also ein Nebenprodukt der Verbrennung. Ein Teil des gebildeten NO reagiert bereits im Abgas mit Sauerstoff, wodurch Stickstoffdioxid (NO_2) entsteht. Bei Verbrennungsprozessen werden deshalb NO und NO_2 immer zusammen emittiert.

Durch raffinierte technische Einrichtungen bei Feuerungsanlagen und in Motoren wird eine geringere Bildung von NO erzielt. Die modernen Brenner von Feuerungsanlagen werden deshalb als Low NO_x bezeichnet.

Weitere wichtige Prozesse, die zur Entstehung von Luftschadstoffen führen, sind die Verdunstung von Flüssigkeiten und die Ausgasung fester Materialien. Stoffe, die besonders stark als Gase in die Atmosphäre entweichen, sind beispielsweise die Bestandteile von Benzin oder Lösungsmittel wie Aceton oder Isopropanol. Diese gehören zu den flüchtigen organischen Verbindungen, die unter der Bezeichnung VOC (volatile organic compounds) zusammengefasst werden. Da sie

meist einen charakteristischen Geruch haben, kann man sie, im Gegensatz zu den meisten anderen Schadstoffen, auch mit den menschlichen Sinnen feststellen. VOC finden als Lösungsmittel bei der chemischen Produktion, als Verdünner für Farben und Lacke, als Reinigungsmittel und als Zusätze in chemischen Produkten weite Verwendung, nicht zuletzt auch im Haushalt. Werk- und Baustoffe, Anstriche und Klebstoffe können über längere Zeit hinweg VOC freisetzen.

Ein beträchtlicher Teil der gesamten Emissionen stammt von den Abgasen von Feuerungsanlagen. Diese dienen ausser zur Beheizung auch für die Gewinnung von Energie für industrielle Prozesse. Feuerungsanlagen werden hauptsächlich mit fossilen Brennstoffen betrieben. Holz, der klassische Brennstoff, gewinnt wieder zunehmend an Bedeutung, führt aber vor allem in Hausfeuerungen oftmals zu erheblichen Feinstaubemissionen.



Verbrennungsmotoren von Fahrzeugen – für Strasse, Schiene und Luft – und Maschinen sind für einen grossen Teil der Stickoxidemissionen verantwortlich. Dank technischer Verbesserungen und immer strengeren Abgasvorschriften nahmen die Emissionen pro verbrauchte Treibstoffmenge seit den 80er-Jahren aber stark ab.



Viele handwerkliche Tätigkeiten, beispielsweise Schleifen oder Sägen, verursachen Staub. Der Handwerker kann sich davor schützen, der Staub wird aber oft weggeweht und führt in der Umgebung zu störenden oder schädlichen Immissionen.



Partikelförmige Luftverunreinigungen werden unter dem Oberbegriff Staub zusammengefasst. Staub entsteht, ausser bei der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen, durch die mechanische Beanspruchung von Materialien, sei es durch Bearbeitung von Holz oder Metall, bei Mahlvorgängen, beim Abbremsen von Strassen- und Schienenfahrzeugen, beim Befahren von Strassen und vielem anderem mehr. Staub lagert sich an Oberflächen ab und kann danach durch

menschliche Tätigkeiten oder Wind erneut aufgewirbelt werden. Lufthygienisch wichtig sind vor allem die Emissionen von Feinstaub (PM₁₀), der bis in die menschliche Lunge vordringen kann (→ Kap. 4). Die schwereren Stäube, früher durch den stets präsenten Russ aus Kohlefeuerungen der Inbegriff der Luftverschmutzung («London-Smog»), spielen heute keine grosse Rolle mehr.



Chemikalien, die Schadstoffe emittieren, wie zum Beispiel Lösungsmittel, finden nicht nur in der Industrie Anwendung. Aber während bei industriellen Anlagen die entstehenden Dämpfe meist gefasst und behandelt werden, entweichen sie in Gewerbe und Haushalt in der Regel in die Atmosphäre. Man kennt sie wegen ihrer oft auffälligen «aromatischen» Gerüche.

Über 90 Prozent der Ammoniakemissionen stammen von der Intensivlandwirtschaft, vor allem vom Hofdünger der Nutztiere. Mit Schleppschlauchverteilern können die Ammoniakemissionen beim Ausbringen von Gülle massiv gesenkt werden.



Auch in der Natur werden Schadstoffe emittiert. Sie werden durch mikrobiellen Abbau, Erosion, Ausgasung von Gesteinen, Vulkanismus und vieles andere mehr verursacht. Mengenmässig bedeutend sind die natürlichen VOC-Emissionen, die rund 30% der gesamten VOC-Emissionen ausmachen. Sie stammen hauptsächlich von den Nadelbäumen.

Bildung von Schadstoffen in der Atmosphäre

Die meisten emittierten gasförmigen Schadstoffe werden in der Atmosphäre mehr oder weniger rasch chemisch umgewandelt. Die emittierten Luftverunreinigungen werden daher als primäre, die aus ihnen hervorgehenden anderen Verbindungen als sekundäre Schadstoffe bezeichnet. Die chemischen und physikalischen Reaktionen, die sich in der Atmosphäre abspielen, sind äusserst vielfältig und noch nicht in jedem Detail verstanden. Die wichtigsten sekundären Schadstoffe sind das Ozon (O_3) und erst in der Luft gebildete Feinstaubpartikel (PM_{10}).

Ozon entsteht in der unteren Atmosphäre als Folge der Zerlegung von NO_2 durch die Ultraviolettstrahlung der Sonne. Sind in der Luft VOC vorhanden, so führen diese durch eine Kette von chemischen Reaktionen zur verstärkten Bildung von NO_2 aus NO, was unter starker Sonneneinstrahlung eine Zunahme der Ozonkonzentrationen bewirkt. Der Aufbau hoher Ozonwerte aus den primären Schadstoffen NO und VOC wird als photochemischer Smog oder, da er vor allem im Sommer auftritt, als Sommersmog bezeichnet (→ Kap. 6).

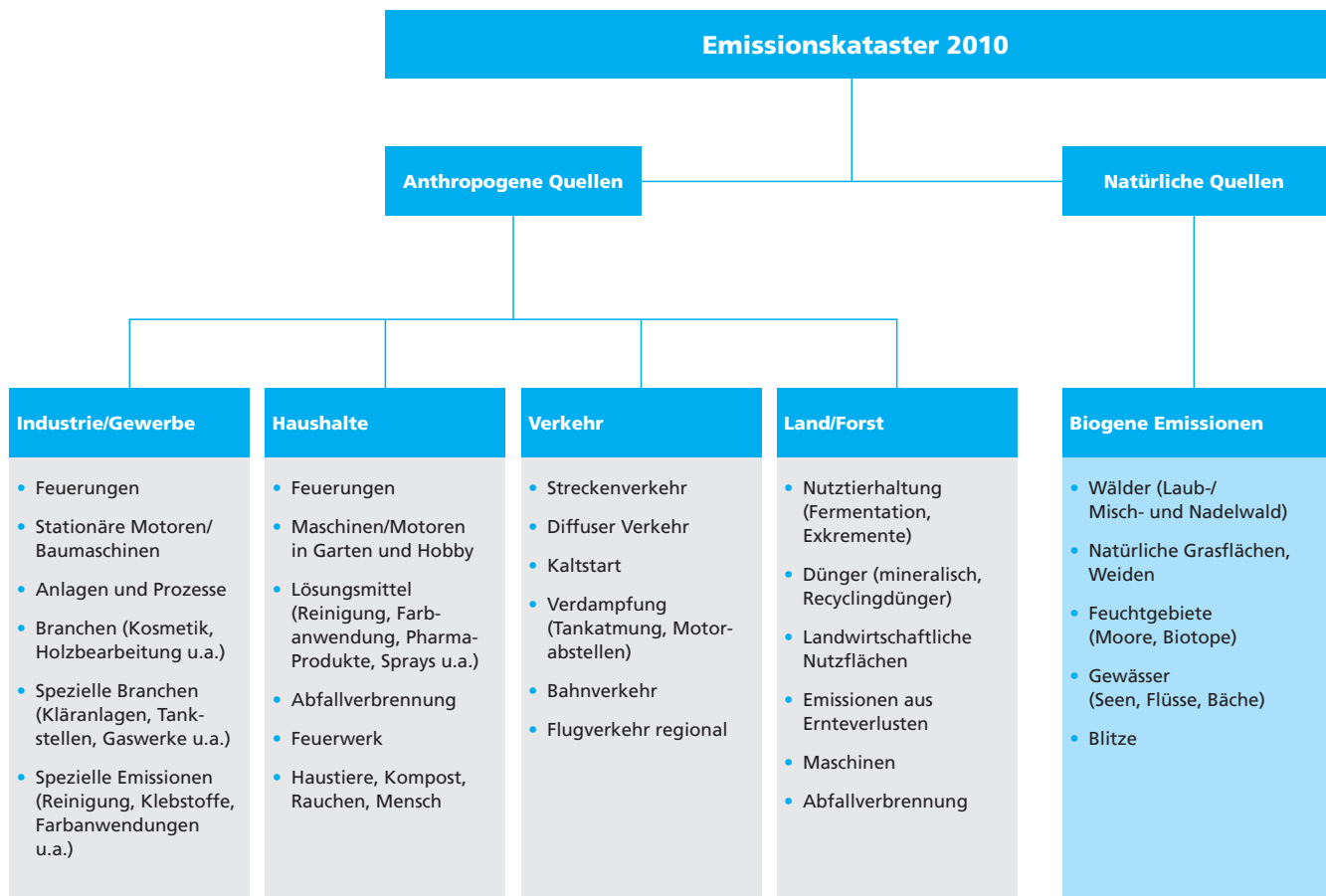
Komplexe Prozesse führen in der Atmosphäre zur Entstehung von Partikeln aus primären Schadstoffen, hauptsächlich Schwefelverbindungen, Stickoxiden, Ammoniak und VOC. Den Ausgangspunkt dafür bilden meist Kondensationskeime, gewisse Stoffe können

aber auch direkt kondensieren. Über zahlreiche Zwischenstationen entstehen Gemenge verschiedener chemischer Stoffe und teilweise auch verschiedener Aggregatzustände, nämlich fest und flüssig. Diese sekundären Partikel sind sehr klein und gehören deshalb zum Feinstaub. Der als Immission in Erscheinung tretende Feinstaub wird etwa zur Hälfte erst in der Atmosphäre gebildet. Feinstaub ist nicht nur als Schadstoff bedeutend, sondern spielt auch bei der Bildung von Niederschlag und bei Klimaprozessen eine wichtige Rolle.

5.2 Der kantonale Emissionskataster

Was ist ein Emissionskataster?

Das Wissen um zu hohe Schadstoffimmissionen verlangt nach Handlungen zur deren Verminderung. Dies kann nur wirkungsvoll geschehen, wenn man über die Emissionen möglichst gut Bescheid weiss. Dabei spielt nicht nur eine Rolle, welcher Erzeuger (Quelle) wie viel von einem bestimmten Schadstoff in die Atmosphäre abgibt, sondern auch der Ort und die Art der Emission. Je nachdem, ob eine gewisse Schadstoffmenge von einem hohen Kamin oder einer flächigen Quelle am Boden freigesetzt wird, entstehen daraus Immissionen ganz unterschiedlicher Intensität an völlig verschiedenen Orten (→ Kap. 6). Ein solches Verzeichnis der Emissionen wird wegen des räumlichen Bezugs Emissionskataster genannt.



Das Umweltschutzgesetz verlangt von den Kantonen, dass sie den Stand der Umweltbelastung erheben. Bei übermässigen Immissionen müssen sie zudem einen Massnahmenplan erstellen, der anzugeben hat, welche Quellen für die Entstehung der übermässigen Immissionen verantwortlich sind (→ Kap. 8). Für die Erfüllung dieser Aufgaben ist ein Emissionskataster als Hilfsmittel bestens geeignet. Er leistet zudem nützliche Dienste bei der Umsetzung der LRV durch den Kanton. Für eine Berechnung von Immissionskarten (→ Kap. 3) ist er unabdingbar.

Der Emissionskataster des Kantons Solothurn

Erstmals wurden die Schadstoffemissionen im ganzen Kanton für den Zustand 1980 erhoben. Seither werden die Emissionen für Zustände im Abstand von jeweils fünf Jahren berechnet. Der Kataster umfasst sämtliche relevanten Schadstoffemissionen. Für jede Art von Quellen – zum Beispiel verschiedene Fahrzeugkategorien oder Typen von Feuerungsanlagen – werden die Emissionen separat berechnet. Anschliessend werden die Ergebnisse für eine übersichtliche Darstellung nach Gruppen und Untergruppen zusammengezählt.

Im Kataster werden die Emissionen für sieben Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen berechnet. Die wichtigsten sind Stickoxide (NO_x), primärer Feinstaub (PM10), Ammoniak (NH_3) und flüchtige organische Verbindungen ausser Methan (als NMVOC bezeichnet). Zusätzlich werden die Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) ermittelt.

Die Zahl der realen Schadstoffquellen ist sehr gross. Die wichtigsten und wohlbekannten sind der motorisierte Verkehr, Feuerungsanlagen, industrielle und gewerbliche Anlagen und Prozesse, Verbrennungsanlagen sowie die landwirtschaftliche Tierhaltung. Aus praktischen Gründen können nur grosse Quellen oder Quellen in besonderen Vollzugsprogrammen einzeln erfasst werden. Wiederum nur für einen Teil dieser Anlagen lassen sich die Emissionen aus Messungen ermitteln. Die Emissionen aller übrigen Einzelquellen und der Vielzahl kleinerer, nicht einzeln bekannter

Quellen werden dagegen mittels Kennwerten der Literatur aus den statistischen Grunddaten – Bevölkerungsdichte, landwirtschaftliche Nutzfläche und Ähnliches – berechnet. Für die Zwecke des Katasters sind diese Abschätzungen von ausreichender Zuverlässigkeit.

Die im Kanton Solothurn emittierten Stickoxide stammen gut zur Hälfte vom Verkehr. Die Haushalte mit ihren Feuerungsanlagen tragen rund zehn Prozent zum gesamten NO_x bei. Von den Feinstaubemissionen entfällt je rund ein Drittel auf die Haushalte und den Verkehr. Die PM10-Emissionen der Haushalte werden zu einem wesentlichen Teil von den Holzfeuerungen verursacht. Der Beitrag des Verkehrs zu den Ammoniakemissionen ist auf den zunehmenden Gebrauch von Treibstoffzusätzen zur Stickoxidminderung («Ad-Blue») zurückzuführen.

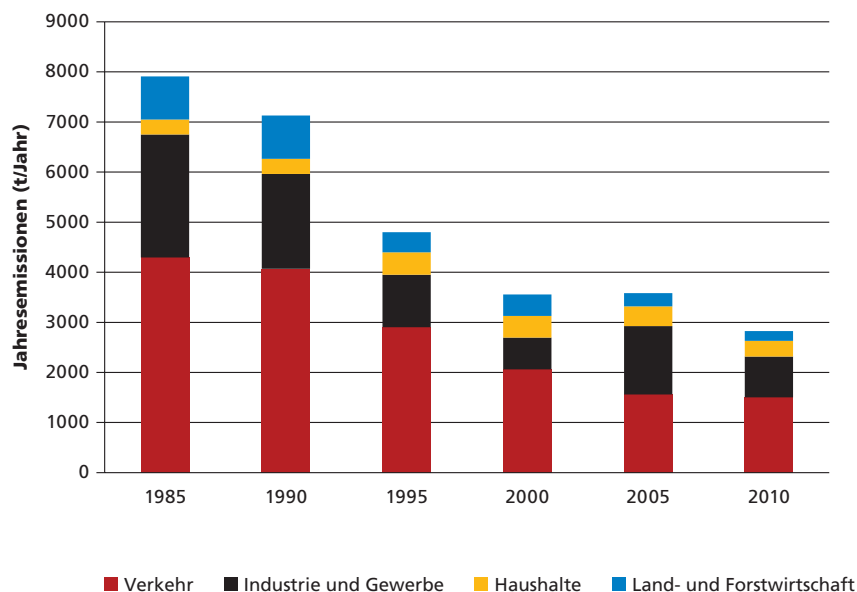
Die solothurnischen Emissionen gestern und heute

Dank dem regelmässig aktualisierten Emissionskataster verfügt der Kanton Solothurn heute über eine gute Kenntnis der zeitlichen Entwicklung der Emissionen zwischen 1985 und 2010. Ausnahme bilden der Feinstaub (PM10) und Ammoniak, für welche Emissionsdaten ab 2005 bzw. 1995 zur Verfügung stehen. Erst seit der Jahrtausendwende wird dem PM10, dem lungengängigen Anteil des Schwebstaubes, die nötige Beachtung geschenkt.

Die Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2) reduzierten sich schon zwischen 1985 und 1990 allein durch die Sanierung der Zellulosefabrik Attisholz um fast 80 Prozent. Weitere Reduktionen bewirkten die Entschwefelung der Brenn- und Treibstoffe. Heute sind die Schwefelemissionen nur noch sehr gering. Sie werden deshalb hier nicht aufgeführt. Die Gesamtemissionen von Stickoxiden und von VOC (ohne Methan) nahmen zwischen 1985 und 2010 um rund zwei Drittel markant ab. Die Feinstaubemissionen gingen von 2005 bis 2010 leicht zurück.

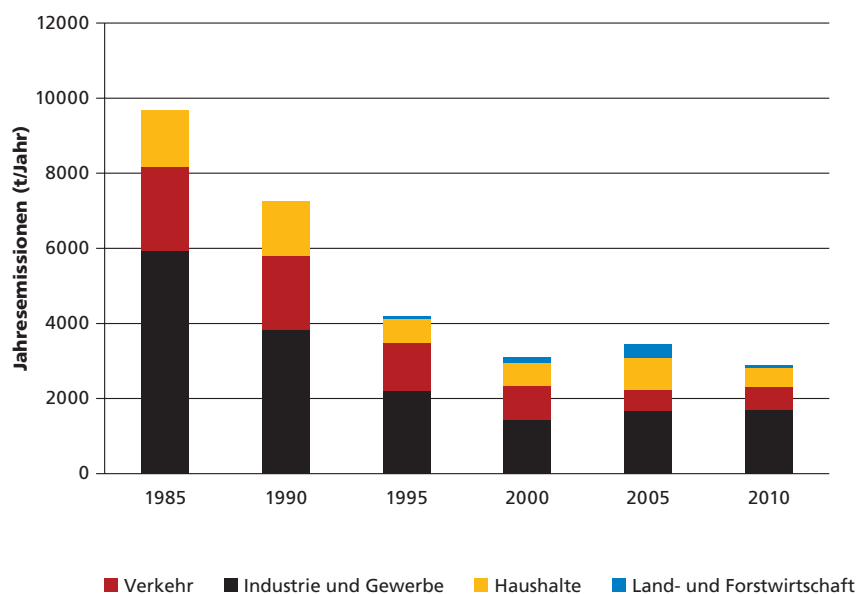
Schadstoff bzw. Klimagas	Jahresemissionen 2010 (t/Jahr, CO_2 : 1000 t/Jahr)				
	Industrie, Gewerbe	Haushalte	Verkehr	Land-, Forstwirtschaft	Total
Stickoxide (NO_x)	815 (29%)	314 (11%)	1501 (53%)	194 (7%)	2825
Primärer Feinstaub (PM10)	104 (17%)	175 (28%)	200 (33%)	133 (22%)	611
Ammoniak	8 (1%)	30 (2%)	91 (7%)	1202 (90%)	1330
VOC ohne Methan	1718 (59%)	520 (18%)	583 (20%)	72 (3%)	2893
Kohlendioxid (CO_2)	501 (32%)	585 (37%)	475 (30%)	14 (1%)	1575

Entwicklung der Stickoxidemissionen



Ab den 80er-Jahren wurden zunehmend strengere Abgasvorschriften für Motorfahrzeuge erlassen, was eine Ausrüstung der Autos mit Katalysatoren erforderlich machte. Dadurch nahmen die Emissionen des Verkehrs zwischen 1990 und 2000 um die Hälfte ab. Auch Sanierungen und Stilllegungen grosser industrieller Anlagen bewirkten erhebliche Reduktionen.

Entwicklung der VOC-Emissionen



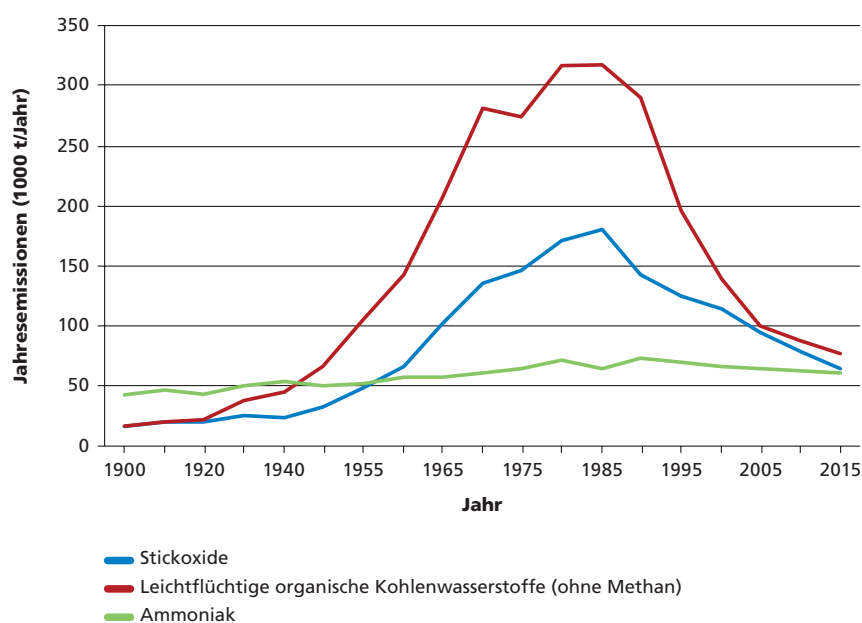
Zwischen 1985 und 2000 konnten bei den VOC (ohne Methan) grosse Emissionsreduktionen durch Sanierungen von Industriebetrieben erzielt werden. Auch die Haushalte und der Verkehr konnten ihre VOC-Emissionen erheblich vermindern.

Vergleich mit der gesamten Schweiz

Der Bund ermittelt jährlich aus statistischen Grundlagendaten die Emissionen einer grossen Anzahl von Luftschadstoffen und Klimagasen für die ganze Schweiz. Die letzten publizierten Daten sind vom Jahr 2015. Ausserdem erstellt der Bund eine Prognose für die Entwicklung der Emissionen in den nächsten Jahren. So wird beispielsweise für NO_x zwischen 2015 und 2030, ohne zusätzliche Massnahmen, eine weitere Abnahme um ungefähr ein Drittel erwartet.

Der Kanton Solothurn wies Ende 2015 eine ständige Wohnbevölkerung von 266'400 Personen aus (Bundesamt für Statistik). Dies entsprach 3,2 Prozent der Bevölkerung der Schweiz. Obwohl die Emissionen mehrheitlich nicht direkt von der Anzahl Einwohner abhängig sind, machen die solothurnischen Emissionen um die drei Prozent der nationalen Emissionen aus. Wie das Beispiel des Verkehrs zeigt – die Verkehrsemissionen des Kantons Solothurn sind durch die Autobahnabschnitte dominiert –, ist diese Übereinstimmung eher überraschend. Beim Vergleich ist ausserdem zu beachten, dass der Kanton Solothurn und der Bund die Emissionen nicht auf die genau gleiche Weise ermitteln.

Gesamtschweizerische Emissionen



Die gesamtschweizerischen Emissionen von Stickoxiden und NMVOC stiegen ab den 50er-Jahren stark an, erreichten in den 80er-Jahren maximale Werte und gingen seither wieder stark zurück. Die Ammoniakemissionen nahmen dagegen nur leicht zu und verharren seit etwa 1980 auf dem ungefähr gleichen Niveau.

Quelle: Bundesamt für Statistik

5.3 Was bleibt noch zu tun?

Zielvorgaben des Bundes

Der Bund hat bereits 1986 in seinem Luftreinhalte-Konzept Zielwerte für die maximalen Emissionen der Schadstoffe SO₂, NO_x und VOC festgelegt. Später kamen noch Obergrenzen für Feinstaub und Ammoniak hinzu. Die Emissionsziele sind so definiert, dass bei ihrer Einhaltung auch von einer Einhaltung der immissionsseitigen Ziele ausgegangen werden kann. Zielwerte für die Treibhausgasemissionen sind im CO₂-Gesetz festgelegt, welches sich auf die Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls abstützt. Die Emissionen der Treibhausgase sind demnach zwischen 2013 und 2020 um 15,8 Prozent der Werte von 1990 zu reduzieren. Die vor Kurzem erfolgte Ratifizierung des Klimaabkommens von Paris wird, sofern das Abkommen tatsächlich umgesetzt wird, neue gesetzliche Zielwerte für die Treibhausgasemissionen zur Folge haben.

Der Zielwert für SO₂ wurde bereits in den 90er-Jahren unterschritten. Bei den anderen Schadstoffen bestehen, bezogen auf die Emissionen von 2005, gemäss Luft-

reinhalte-Konzept von 2009 noch Lücken zwischen 20 und 50 Prozent. Mittlerweile wurden diese Lücken verringert, aber noch nicht geschlossen. Neuere Untersuchungen dazu gibt es leider noch nicht.

Ziele des Kantons

Da die solothurnischen Emissionen pro Kopf der Bevölkerung ungefähr dem schweizerischen Durchschnitt entsprechen, sollte der Kanton rund drei Prozent der geforderten nationalen Reduktionen beisteuern. Diese Reduktionen, umgerechnet auf den Zustand von 2010, sind in der folgenden Tabelle als «Handlungsbedarf Kanton Solothurn 2010» bezeichnet. Natürlich kann und muss der Kanton dies nicht alles mit eigenen Massnahmen zustande bringen. Einige wirksame Reduktionsmassnahmen, zum Beispiel die Abgasvorschriften für Motorfahrzeuge oder Baumaschinen, hängen vom technischen Fortschritt und von internationalen Regelungen ab, auf die der Kanton kaum Einfluss hat. Ihre Wirkungen kommen aber auch ihm zugute. So ist die vom Bund prognostizierte Abnahme der NO_x-Emissionen in den nächsten Jahren auch für den Kanton Solothurn zu erwarten.

	Emissionen (t/Jahr, CO ₂ : 1000 t/Jahr)				
	NO _x	PM10	NH ₃	NMVOC	CO ₂
Emissionen Kanton Solothurn (2010)	2800	600	1300	2900	1600
Handlungsbedarf Kanton Solothurn 2010	1300	230	500	300	325

Der Handlungsbedarf 2010 des Kantons hat sich in der Zwischenzeit, zumindest für NO_x und PM_{10} , vermindert. Diese Verminderung wird in der nächsten Aktu-

alisierung des Emissionskatasters für 2015 aufgezeigt. Das Ausmass des Handlungsbedarfs soll anhand von zwei Beispielen illustriert werden:

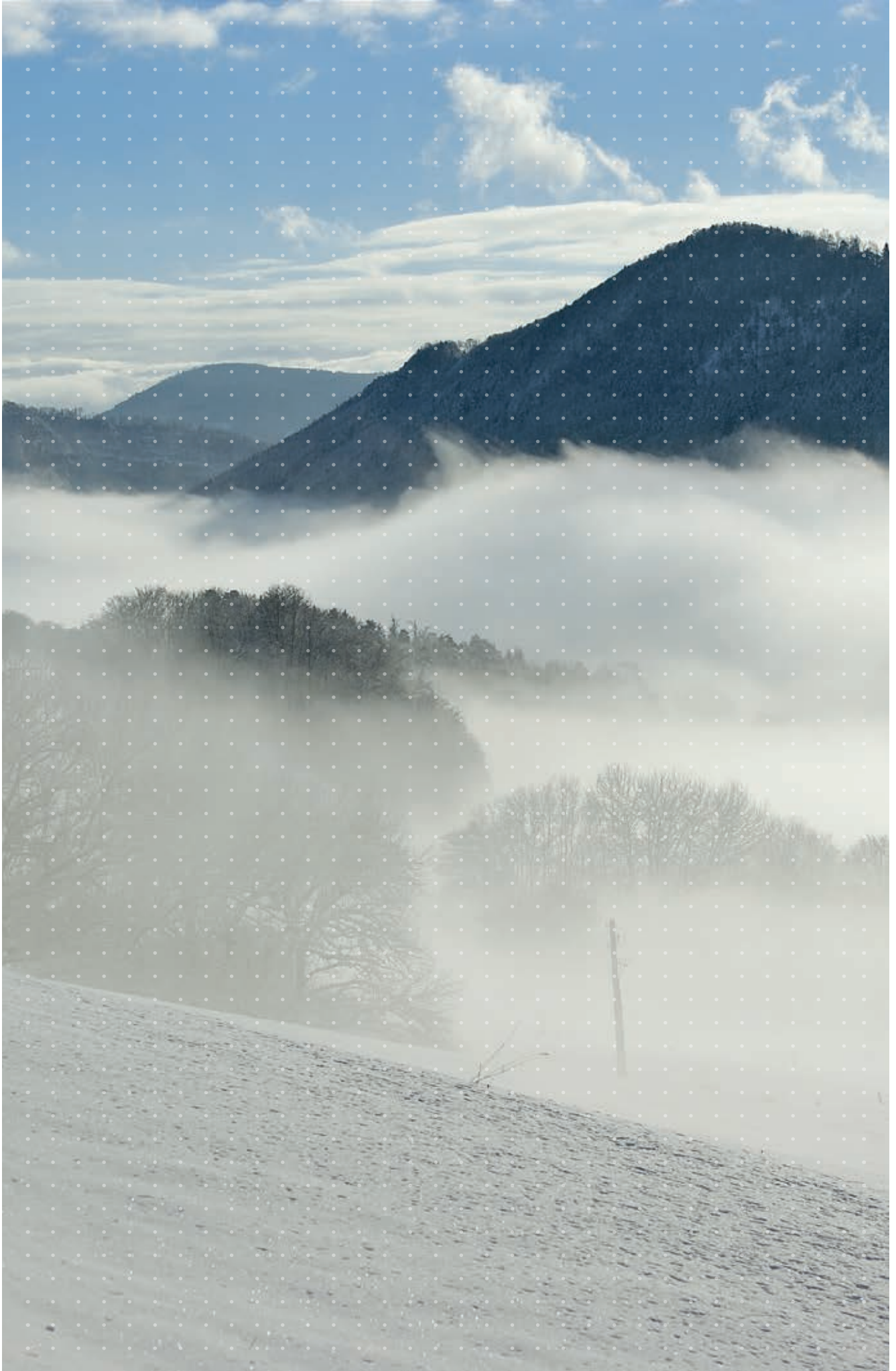


Quelle: Hans Ramseyer, Tensor Consulting AG

Ein 10-jähriger Radlader emittiert pro Jahr bei durchschnittlichem Gebrauch einige Hundert Kilogramm NO_x . Wird er durch eine neue Maschine ersetzt, welche der Emissionsstufe EU-IV entspricht, so reduzieren sich ihre NO_x -Emissionen um fast 90%.



Ein einzelner moderner Kleinwagen mit Benzinmotor (Euro 6) emittiert jährlich bei der durchschnittlichen schweizerischen Fahrleistung von 15 000 km pro Jahr im Mittel noch ungefähr 300 - 400 g NO_x . Dies ist etwa zehnmal weniger als ein vergleichbares Dieselfahrzeug der neusten Abgasstufe (Quelle: Datenbank HBEFA).



Nach ihrer Freisetzung werden Luftschadstoffe durch Wind und Turbulenz in der Atmosphäre verteilt. Auf dem Weg der Ausbreitung werden sie teilweise umgewandelt. Regen und Schnee führen schliesslich früher oder später zu ihrer Entfernung aus der Luft. Kurzlebige Schadstoffe treten nur lokal in Erscheinung, während langlebige sich über sehr grosse Gebiete verteilen können. Bei all diesen Vorgängen spielt das Wetter eine entscheidende Rolle. Die beiden berückichtigten Phänomene Winter- und Sommersmog können nur bei bestimmten Voraussetzungen auftreten.

6. Ausbreitung von Luftverunreinigungen

6.1 Was geschieht nach der Freisetzung?

Je nach Quelle und Schadstoff können die Orte der Freisetzung (Emission) und der Einwirkung (Immission) wenige Meter oder aber auch Hunderte von Kilometern auseinanderliegen. Beim Transport unterliegen die Schadstoffe vielerlei Einflüssen, die zur Verteilung, zur Umwandlung und letztlich auch wieder zur Entfernung aus der Luft führen. Diese Prozesse hängen stark vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre – also von der Sonneneinstrahlung und vom Wetter – ab und ändern sich daher fast laufend.

Einfluss der Meteorologie

Die Ausbreitung der Luftschadstoffe erfolgt hauptsächlich durch den Wind, der die verunreinigte Luft mitträgt. Wind entsteht entweder im kontinentalen Massstab durch Hoch- und Tiefdruckgebiete oder regional und lokal durch unterschiedliche Erwärmung der Erdoberfläche. Berge, Hügel und grosse Bauten verändern die allgemeinen Strömungen. Durch den Wind werden die Schadstoffe nicht nur transportiert, sondern auch verdünnt, und zwar umso mehr, je stärker der Wind weht. Stärke und Richtung des Windes schwanken immer mehr oder weniger stark. Dies ist eine Folge der Turbulenz des Windes, welche durch Störungen an unebenen Oberflächen oder durch Bebauung oder Vegetation verursacht wird. Die Turbulenz, auch Verwirbelung genannt, ist von zufälliger, chaotischer Natur, was dazu führt, dass die von einer Emissionsquelle verursachten Schadstoffkonzentrationen in aller Regel zeitlich und örtlich sehr stark veränderlich sind. Nur im Mittel über längere Zeiten

lassen sich die Immissionen einigermaßen zuverlässig berechnen.

Eine weitere Form von Turbulenz entsteht durch das Aufsteigen von im Vergleich zur Umgebung wärmerer Luft, was als Konvektion bezeichnet wird. Die Luft wird nicht direkt durch die Sonnenstrahlung, sondern indirekt durch den aufgeheizten Erdboden erwärmt. Die erwärmte Luft steigt auf und kühlt dabei wieder ab. Je nach Wettersituation und Temperaturverlauf steigt das warme Luftpaket entweder immer weiter auf, oder aber sein Aufstieg wird rasch gestoppt und es sinkt wieder auf seine Ausgangsposition zurück. Im ersten Fall spricht man von labiler, im zweiten Fall von stabiler Schichtung der Atmosphäre. Analoge Vorgänge spielen sich beim Absinken von kälterer Luft ab. Bei labiler Schichtung können kleine Unterschiede grosse Bewegungen auslösen. Da die Umwälzungen nicht gleichmässig sind, nennt man sie thermische Turbulenz. Grosse Turbulenz bewirkt eine gute Verteilung der Schadstoffe in der Luft und dadurch verhältnismässig tiefe Immissionen.

Nimmt die Temperatur mit der Höhe nur wenig ab oder, bei einer Inversion, sogar zu, so ist die Luftschichtung besonders stabil. In der Inversionsschicht gibt es praktisch keine Auf- und Abwärtsbewegungen mehr durch thermische Turbulenz. Schadstoffe können diese Schicht nicht mehr verlassen. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen treten daher immer bei lange andauernden Inversionen auf.

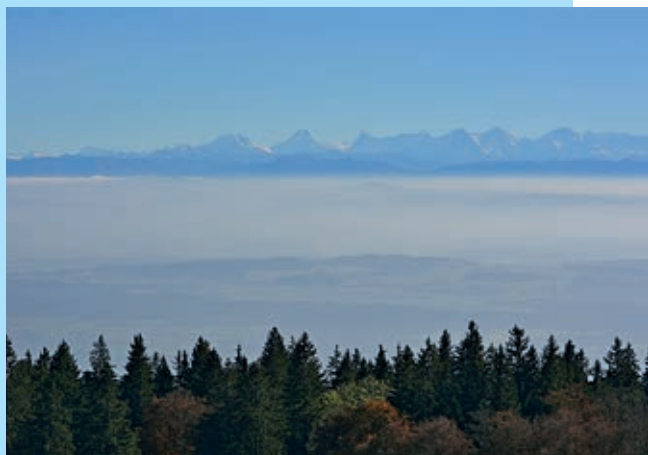
Verschiedene Ursachen können zu einer Inversion führen. Am häufigsten sind die Bodeninversionen durch Auskühlung des Bodens während der Nacht. Besonders bei klarem Wetter und schwachem Wind geben die untersten Luftschichten in der Nacht Wärme an den Boden ab, wodurch eine Zunahme der Temperatur mit der Höhe resultiert. Im Sommer löst sich die Bodeninversion am nächsten Morgen rasch wieder auf. Im Winter reicht die Sonneneinstrahlung dazu meist nicht aus, und die Bodeninversion kann sich hartnäckig über Tage hinweg erhalten.



▲ *Wenn die Temperatur mit der Höhe stark abnimmt, entsteht eine labile Schichtung. Das aus dem Kamin austretende Abgas – von dem hier nur der Wasserdampf sichtbar ist – kann sich dann in der Höhe gut verteilen. Durch die Turbulenz bilden sich in der Dampffahne rasch wechselnde Mäander und Schleifen.*

► *Ist die Atmosphäre dagegen stabil geschichtet, wie beispielsweise hier bei einer Bisenlage, so bleibt die Abgasfahne auf etwa gleichbleibender Höhe und weitet sich nur wenig auf. Die freigesetzten Schadstoffe erreichen den Boden erst in grosser Entfernung vom Kamin.*





Im Herbst und Winter liegt das Mittelland oft unter einer kalten Dunst- oder Nebelschicht, deren Höhe durch eine Inversion begrenzt ist. Der Wasserdampf und auch die Schadstoffe können die unterste Luftschicht nicht mehr verlassen. Auf den Jurahöhen ist es bei solchen Lagen mild und die Fernsicht ist, wie in dieser Aufnahme vom Grenchenberg, sehr gut.

Umwandlung der Schadstoffe

Einige Luftschadstoffe sind sehr reaktionsfreudig und wandeln sich durch chemische Reaktionen innerhalb von Minuten um. Andere sind chemisch träger und bleiben über Tage oder sogar Jahre bestehen. Zu jeder chemischen Reaktion gibt es in der Regel auch eine Umkehrreaktion, so dass sich zwischen Ausgangsstoffen und umgewandelten Stoffen Gleichgewichte ausbilden. Weitere wichtige Umwandlungsprozesse sind die Spaltung von Molekülen durch die energiereiche Ultraviolettstrahlung der Sonne (zum Beispiel Stickstoffdioxid (NO_2) in Stickstoffmonoxid (NO) und Sauerstoff (O)), die Aufnahme von gasförmigen Schadstoffen in Wassertröpfchen und die direkte Anlage an Partikeln.

Beseitigung aus der Luft

Die Schadstoffe werden laufend wieder aus der Luft entfernt. Ohne diese Prozesse, allgemein Deposition genannt, würden langlebige Schadstoffe im Laufe der Zeit immer höhere Konzentrationen erreichen. Der wichtigste Depositionsprozess ist der Transport mit dem Niederschlag. Der «saure Regen» ist das wohl bekannteste Beispiel dieser Vorgänge. Die in Wassertröpfchen gelösten Schadstoffe verschwinden so aus der Luft und gelangen in den Boden oder ein Gewässer. Gase können aber am Erdboden, an Wasseroberflächen oder von der Vegetation und Lebewesen auch direkt aufgenommen werden. Grössere Staubkörner sinken durch ihr Gewicht auf den Boden ab. Feinstaub hingegen schwebt in der Luft und verhält sich fast wie

ein Gas. Er wird ebenfalls mit dem Niederschlag aus der Luft entfernt.

Lebensdauer von Luftverunreinigungen

Die Lebensdauer aller Luftschadstoffe ist durch Umwandlungs- und Entfernungsprozesse begrenzt. Je schneller diese Prozesse ablaufen, umso kurzlebiger ist ein bestimmter Schadstoff. Die Lebensdauer bestimmt, wie weit ein Schadstoff in der Luft transportiert werden kann. Sehr kurzlebige Schadstoffe können nur in der Nähe der Quelle auftreten, ihre Konzentrationen zeigen daher grosse örtliche Unterschiede. Langlebige Schadstoffe dagegen werden über grosse Distanzen transportiert. Dabei überlagern sich die Beiträge vieler Einzelquellen, so dass diese Schadstoffe räumlich gleichmässiger verteilt sind.

Die Leitschadstoffe NO_2 , Ozon, Feinstaub (PM_{10}) und Ammoniak weisen sehr unterschiedliche Lebensdauern und damit Verteilungen auf. NO_2 ist chemisch eher träge, aber einer der Primärschadstoffe für die Bildung von Partikeln. Seine Lebensdauer reicht aus, dass es sich über grössere Gebiete, zum Beispiel das ganze schweizerische Mittelland, verteilen kann. Ozon wird hauptsächlich aus Vorläuferschadstoffen gebildet und nimmt an vielfältigen chemischen Reaktionen teil. Es kann trotzdem lange in der Luft erhalten bleiben oder sich immer wieder neu bilden und sich so über sehr grosse Räume ausbreiten. Auch die Partikel des Feinstaubes sind meist langlebig. Ihre Lebensdauer ist vor allem durch die Auswaschung mit dem Niederschlag bestimmt. Ammoniak dagegen ist ausgesprochen kurzlebiger. Es wird rasch von Wassertröpfchen aufgenommen oder lagert sich am Boden oder auf Partikeln ab. Mit einer Verweilzeit von einigen Minuten bis Stunden kann es sich nur in der näheren Umgebung der Quelle verbreiten. Die Ammoniakkonzentrationen hängen daher zum allergrössten Teil von den regionalen Quellen im Umkreis von einigen zehn Kilometern ab.

6.2 Zwei typische Quellsituationen

Von grosser Bedeutung für die Ausbreitung der Luftschadstoffe ist die Art und Weise der Freisetzung. Eine typische Situation ist die Emission über einen Kamin, wo die Schadstoffe senkrecht ausgestossen werden. Der Wind lenkt die Achse der Abgasfahne von der Senkrechten weg, bis sie schliesslich horizontal in Windrichtung liegt. Wie weit die Abgase aufsteigen, hängt von der Windgeschwindigkeit, dem mechanischen und thermischen Auftrieb des Abgases und der Luftschichtung ab. Auf dem Ausbreitungsweg verbreitert sich die Abgasfahne durch die Turbulenz, wodurch die Schadstoffkonzentrationen abnehmen. Am grössten ist die Verbreiterung der Fahne bei labiler Luftschichtung. Erst nach einer gewissen Strecke kommen die ersten Schadstoffe in den bodennahen Luftschicht-

ten an. Noch etwas weiter von der Quelle entfernt erreichen die Immissionen ein Maximum und nehmen danach langsam wieder ab.

Ganz anders sieht die Schadstoffausbreitung bei den Strassen, der zweiten bedeutenden Kategorie von Quellen, aus. Die Abgase werden nahe beim Boden emittiert und durch die Bewegung der Fahrzeuge verwirbelt. Im Strassenbereich bildet sich so eine Abgaswolke, die vom Wind weggetragen und durch Turbulenz verdünnt wird. In der Nähe der Strasse sind die Konzentrationen daher am grössten.

6.3 Das Resultat der Ausbreitung

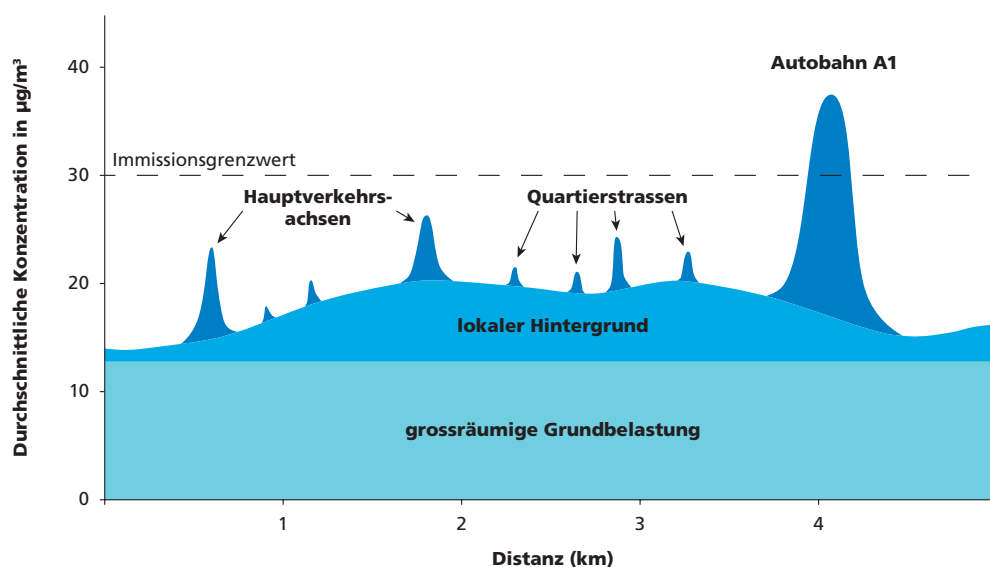
NO₂, Feinstaub und Ozon können sich durch Winde über mehr oder weniger grosse Gebiete verteilen. Die Immissionen an einem bestimmten Ort setzen sich daher aus den Beiträgen von Quellen in verschiedener Entfernung zusammen. Für die Immissionen der einzelnen Schadstoffe ergeben sich so charakteristische lokale Variationen.

Den Sockelbeitrag zu den durchschnittlichen NO₂-Immissionen liefert die so genannte Grundbelastung von den überregionalen Quellen. Im Raum Solothurn enthält sie Schadstoffe aus dem ganzen schweizerischen Mittelland und auch aus dem nahen Ausland. Zur Grundbelastung addieren sich die Hintergrundimmissionen von den lokalen Quellen. Dieser Beitrag ist natürlich im Siedlungsgebiet etwas grösser als im ländlichen Raum. Im lokalen Hintergrund sind keine Beiträge von einzelnen Quellen wie Kaminen erkennbar, dafür sind diese zu gering. Im Nahbereich von Strassen kommen schliesslich noch die eng begrenzten Immissionsspitzen des Verkehrs hinzu.

Die durchschnittlichen Immissionen von Feinstaub zeigen deutlich homogenere Verteilungen als jene von NO₂. Städtischer und ländlicher Hintergrund unterscheiden sich nicht gross, da auch die ländlichen Quellen bedeutsam sind. Die Spitzen von den Strassen sind, entsprechend der Emissionen, wesentlich kleiner als beim NO₂.

Ganz andere Verteilungen zeigt dagegen das Ozon, welches ja, ausser dem kleinen natürlich vorkommenden Anteil, erst aus den Vorläuferschadstoffen ge-

Herkunft der NO₂-Immissionen



Die durchschnittlichen NO₂-Immissionen an einem bestimmten Ort setzen sich zusammen aus der Grundbelastung von weit entfernten Quellen, dem lokalen Hintergrund und den Beiträgen der einzelnen Strassen. In den Gesamtimmissionen sind nur die Strassen als Einzelquellen erkennbar. Das Bild zeigt einen schematischen Querschnitt durch die NO₂-Immissionen eines städtischen Gebietes. Die Immissionswerte sind für den Raum Solothurn und den heutigen Zustand repräsentativ.

bildet wird. Da die Umwandlung Zeit benötigt, gibt es keine räumlich konzentrierten Immissionsbeiträge von lokalen Quellen. Dafür spielt der Ferntransport eine umso grössere Rolle. Die Hintergrundbelastung des Ozons, die seit Jahren zunimmt, ist auf der ganzen Nordhalbkugel überall ungefähr gleich gross. Bei Spitzenbelastungen stammt nur etwa ein Fünftel des Ozons aus einem regionalen Umkreis von 50 Kilometern, bis zu einem Drittel aber aus dem Hintergrund bis rund 500 Kilometer Entfernung und damit auch aus dem Ausland. Durch lokal oder regional wirkende Massnahmen können daher die Ozonbelastungen in solchen Situationen nur wenig beeinflusst werden.

6.4 Besonders hohe Immissionen bei Smog

Wintersmog

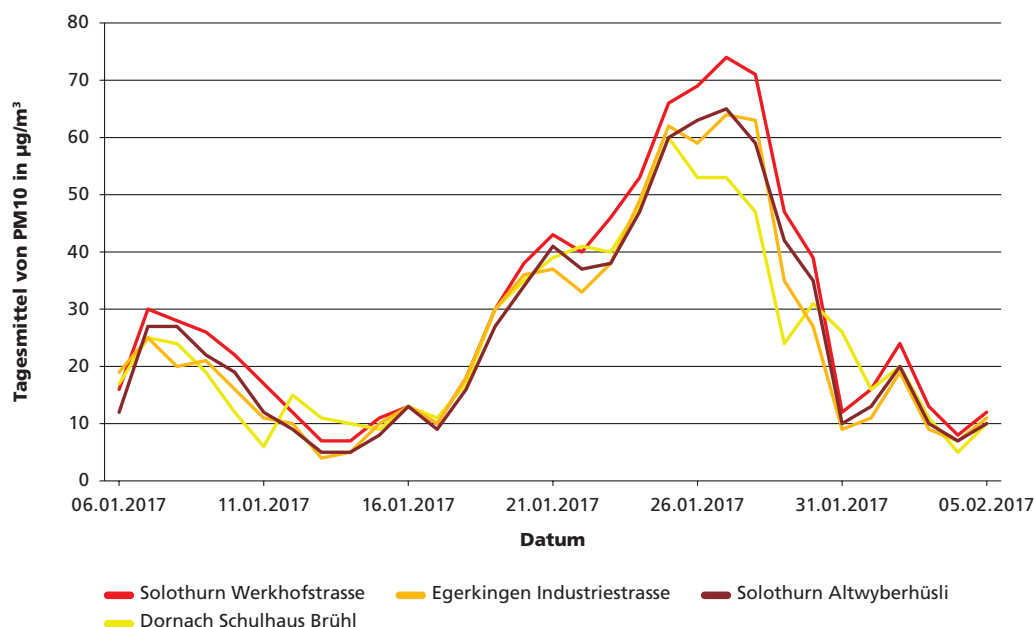
Im Herbst und Winter kann es bei windschwachen Hochdrucklagen vorkommen, dass sich die Bodeninversion für längere Zeit, manchmal über Wochen, nicht mehr auflöst. In dieser Zeit bleiben die emittierten Schadstoffe in der Inversionsschicht gefangen. Da sie auch nicht durch Wind wegtransportiert oder

durch Regen ausgewaschen werden, reichern sie sich von Tag zu Tag immer mehr an. Besonders problematisch sind bei diesem Wintersmog genannten Phänomen die Feinstaubkonzentrationen. Verstärkt wird der Wintersmog noch durch die in dieser Zeit höheren Emissionen der Feuerungen, nicht zuletzt der Holzfeuerungen.

Ab 17. Januar 2017 registrierten die Messstationen in Solothurn, Egerkingen und Dornach fast täglich steigende Feinstaubkonzentrationen. In Dornach beendete der Wind am 25. Januar, während er in Solothurn und Egerkingen noch drei Tage länger andauerte. Mit dem Aufkommen von Westwind und einem Frontdurchgang sanken die Immissionen anschliessend innerhalb von drei Tagen wieder auf die Ausgangswerte ab.

Mit einem täglichen Anstieg der PM₁₀-Tagesmittelwerte um etwa 6 µg/m³ und einem maximalen Wert von 74 µg/m³ an der Werkhofstrasse in Solothurn fiel die Wintersmog-Episode vom Januar 2017 im Vergleich zu früheren relativ moderat aus. In der letzten stärkeren Episode vom Februar 2012 stiegen die PM₁₀-Tagesmittelwerte täglich um etwa 10 µg/m³ bis über

Ablauf eines Wintersmog-Ereignisses



In der Wintersmog-Episode in der zweiten Januarhälfte 2017 wurde der Immissionsgrenzwert für das Tagesmittel von Feinstaub (50 µg/m³) während mehrerer Tage überschritten. Nach einem Wetterumschwung am 29. Januar bauten sich die hohen Belastungen rasch wieder ab.

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Dass die Episode von 2017 wesentlich schwächer ausfiel als jene von 2012, dürfte, ausser an meteorologischen Unterschieden, auch an der generellen Abnahme der Feinstaubemissionen in den letzten Jahren gelegen haben.

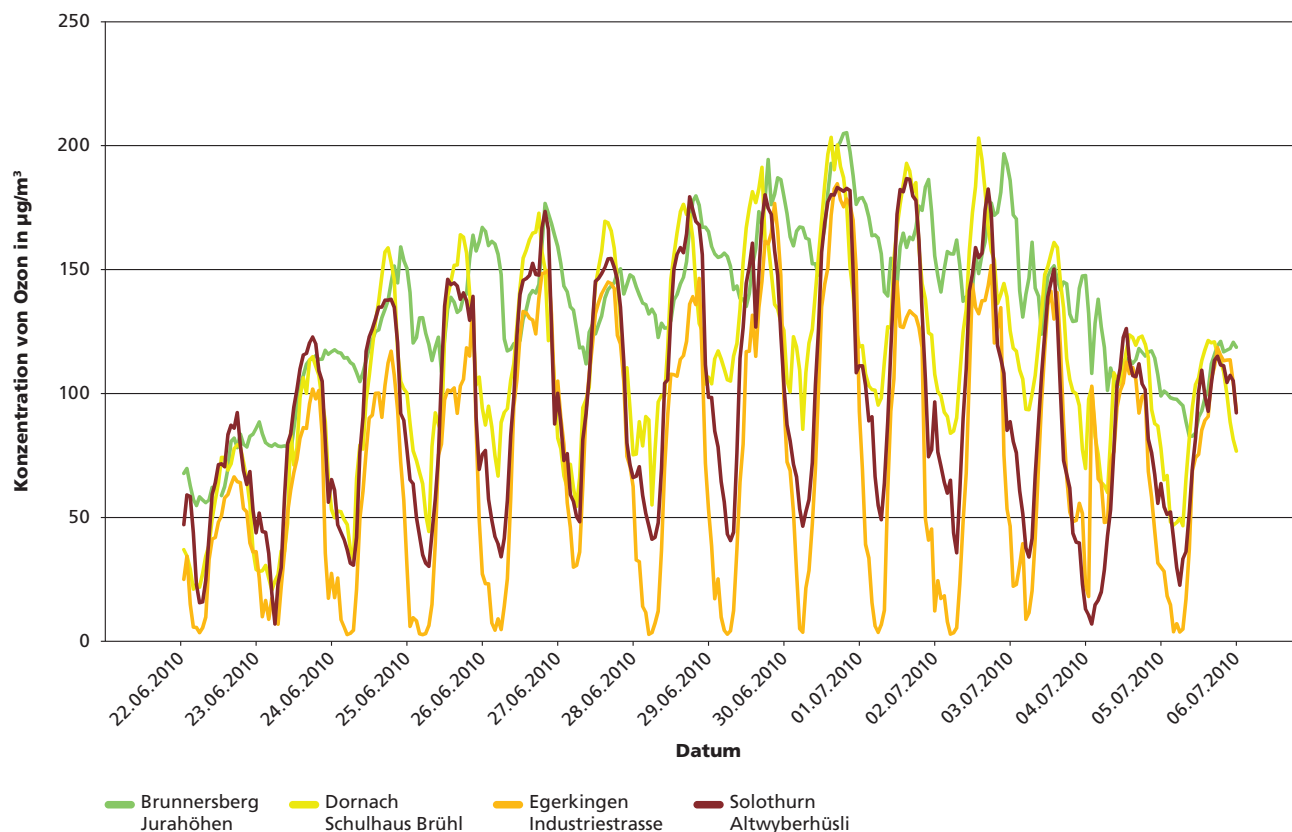
Sommersmog

Bildung und Abbau von Ozon in den unteren Luftschichten hängen stark von den Konzentrationen von NO und NO₂ ab. NO₂ wird bei Sonneneinstrahlung unter Bildung von Ozon zerlegt, dieses wird wieder zerstört, wenn es mit NO reagiert. Auch andere Primärschadstoffe, hauptsächlich flüchtige organische Verbindungen, führen unter Sonneneinstrahlung zur Bildung von Ozon. Bei schönem, warmem Wetter bilden sich so tagsüber hohe Konzentrationen von Ozon und anderen sekundären Schadstoffen, die sich über riesige Gebiete verteilen können. Das Phänomen wird zwar Sommersmog genannt, kann aber auch im Frühling oder im Frühherbst auftreten.

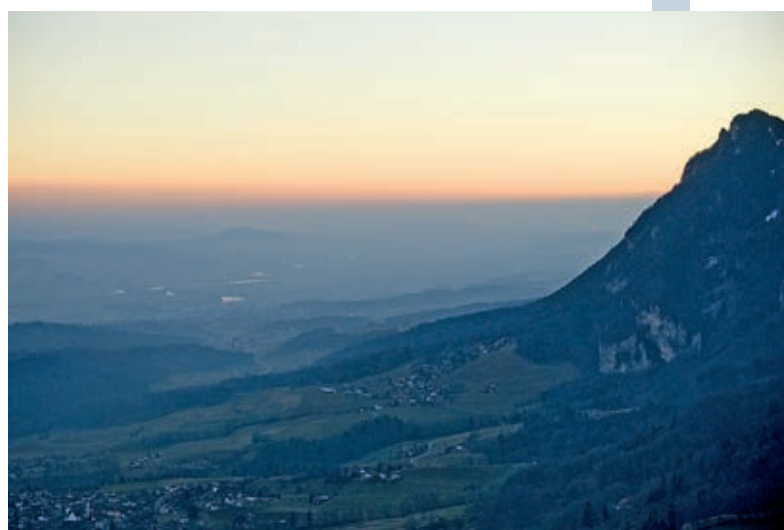
In städtischen Gebieten und an den grossen Verkehrsachsen wird der Aufbau der Konzentrationen von Ozon durch seine Reaktion mit dem NO der Fahrzeugabgase gebremst. So kommt es, dass hier die Spitzenbelastungen in der Regel tiefer sind als im abgelegenen ländlichen Gebiet.

Eine typische Sommersmogepisode fand im Juni 2010 statt. Über Tage hinweg hatte sich die Ozonbelastung aufgebaut, bis sie schliesslich maximale Stundenmittelwerte über 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichte. Erwartungsgemäss lagen die Spitzenwerte in Solothurn sowie am Standort Egerkingen mit starker Verkehrsbelastung allgemein etwas tiefer als beim Brunnersberg auf der Jura Höhe. Da auf dem Brunnersberg, weitab von grossen Verkehrsachsen, die Konzentration von NO gering ist, sanken an diesem Standort die Belastungen nachts nur wenig ab. Im Gegensatz dazu wurde in Egerkingen mit den hohen nächtlichen NO-Emissionen der Autobahn das Ozon in der Nacht fast vollständig abgebaut.

Ablauf eines Sommersmog-Ereignisses



Das Bild zeigt den Verlauf der Ozonkonzentrationen während der Sommersmog-Episode vom Juni 2010. Schön zu erkennen ist der Tagesgang jeweils mit einem Maximum etwa um drei Uhr nachmittags und einem Minimum um sechs Uhr morgens. Das Maximum trat in Dornach immer einige Stunden früher auf als auf dem Brunnersberg, was auf den Ozontransport von den städtischen in die ländlichen Gebiete zurückzuführen ist.





Das Ziel «unbedenkliche Luftqualität» ist in der Bundesverfassung verankert. Zahlreiche Gesetze, allen voran das Umweltschutzgesetz und die Luftreinhalte-Verordnung, regeln das Vorgehen zum Erreichen des Immissionszieles. Das wichtigste Element ist dabei die Vorsorge, die eine Begrenzung der Emissionen nach bestem Stand der Technik verlangt. Der technische Fortschritt führt daher immer wieder zu Anpassungen der Emissionsvorschriften. Anlagen, welche die Vorschriften nicht erfüllen, müssen innerhalb einer angemessenen Frist saniert werden.

7. Die Luftreinhaltung ist gesetzlich geregelt

7.1 Vom Grundsatz zur Detailvorschrift

Das Thema Umweltschutz fand 1971 Eingang in die Bundesverfassung. Damit wurde der Bund beauftragt, Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt vor schädlichen und lästigen Einwirkungen zu erlassen. Es dauerte danach noch über ein Jahrzehnt, bis die Umsetzung des Verfassungsauftrages durch das Umweltschutzgesetz (USG) am 1. Januar 1985 in Kraft trat.

Das USG schreibt zur Erreichung des verfassungsmässigen Zieles bei der Luft ein zweistufiges Vorgehen vor. In der ersten Stufe müssen die Emissionen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung durch Vorsorge so weit begrenzt werden, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Falls dennoch eine einzelne Anlage schädliche oder lästige Immissionen verursacht oder solche zu erwarten sind, dann werden die Emissionsbegrenzungen in der zweiten Stufe verschärft.

Die Emissionen müssen also in jedem Fall, auch ohne dass eine konkrete Gefährdung vorliegt, so weit wie möglich vorsorglich begrenzt werden. Die Formulierung «technisch und betrieblich möglich» heisst, dass der beste verfügbare Stand der Technik anzuwenden ist. Die Emissionsbegrenzungen müssen deshalb laufend an die technische Entwicklung angepasst werden. Die Begrenzungen müssen aber auch wirtschaftlich tragbar, oder, anders gesagt, verhältnismässig sein. Als Massstab dafür ist auf einen gut geführten Standardbetrieb abzustützen. In der zweiten Stufe des Immissi-

onsschutzes werden die ökonomischen Überlegungen weniger stark gewichtet. Die verschärften Begrenzungen können daher auch mit grösseren Kosten verbunden sein.

Um entscheiden zu können, ob Immissionen schädlich oder lästig sind, braucht es einen einheitlichen Massstab. Das USG verlangt daher vom Bundesrat die Festlegung von Immissionsgrenzwerten. Diese sind so zu bestimmen, dass Immissionen unterhalb dieser Werte Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden, die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören, Bauwerke nicht beschädigen sowie die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen. Beim Menschen müssen auch die Wirkungen auf besonders empfindliche Personengruppen berücksichtigt werden.

Um den technischen Fortschritt in der Praxis möglichst rasch zur Wirkung zu bringen, legt das USG weiter fest, dass für die bestehenden Anlagen die gleichen Vorschriften gelten wie für die neuen. Bei Anpassungen der Emissionsbegrenzungen an den Stand der Technik kann dadurch für vormals gesetzeskonforme Anlagen eine Sanierungspflicht entstehen. Für die Sanierung wird jedoch eine angemessene Frist, meist fünf Jahre, gewährt. Eine gewichtige Ausnahme von der Sanierungspflicht gilt für Motorfahrzeuge, da deren Lebensdauer relativ kurz ist und eine laufende Anpassung an den Stand der Technik unverhältnismässig wäre.

Die Ausführungsbestimmungen zur Luftreinhaltung finden sich hauptsächlich in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Diese regelt die vorsorgliche Emissionsbegrenzung, die höchstzulässige Belastung der Luft und das Vorgehen, falls die Immissionen diese höchstzulässigen Belastungen überschreiten, d.h. übermässig sind. Allerdings enthält die LRV nur für ein Dutzend Schadstoffe Immissionsgrenzwerte (→ Kap. 3). Bei allen übrigen muss im Einzelfall nach den allgemeinen Kriterien des Gesetzes entschieden werden, wo die Grenze für die Schädlichkeit oder Lästigkeit zu setzen ist. Ausser der LRV gibt es zahlreiche andere Erlasse zur Umsetzung des USG.

Die Schweiz hat sich der europäischen Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) angeschlossen. In den Zusatzprotokollen zur Konvention sind verbindliche wirkungsorientierte Belastungsgrenzen für verschiedene Schadstoffe festgelegt. Es gibt zwei Arten derartiger Belastungsgrenzen: die Critical Loads für die Schadstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme, wie beispielsweise Moore, artenreiche Wiesen oder Wälder, und die Critical Levels für Immissionskonzentrationen bezüglich deren Wirkung auf empfindliche Pflanzen. So enthält das «Göteborg-Protokoll» von 1999 unter anderem einen Critical Level für Ammoniak sowie Critical Loads für die Deposition von stickstoffhaltigen Luftverunreinigungen. Alle diese Begrenzungen sind, obwohl kaum bekannt, im Prinzip ebenso verbindlich wie die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung. Anders als die Immissionsgrenzwerte, die überall gelten, sind die Critical Levels und Critical Loads aber nur an den Orten mit empfindlichen Pflanzen anwendbar.

7.2 Vorsorge: die erste Stufe auf dem Weg zu sauberer Luft

Vorschriften der Luftreinhalte-Verordnung

Die Luftreinhalte-Verordnung regelt die vorsorgliche Emissionsbegrenzung bei Anlagen. Unter Anlagen versteht die LRV ausser den industriellen und gewerblichen Betrieben, wie beispielsweise eine Kehrlichtverbrennungsanlage oder eine Tankstelle, auch alle übrigen ortsfesten Bauten und Einrichtungen, welche die Luft verunreinigen, so auch Verkehrswege, Geräte und Maschinen sowie «Terrainveränderungen» (womit zum Beispiel Kiesgruben gemeint sind). Die vorsorgliche Emissionsbegrenzung bei Motorfahrzeugen, Flugzeugen, Schiffen und Eisenbahnen weist die LRV den Gesetzgebungen zu diesen Fahrzeugen zu (z.B. die Strassenverkehrsgesetzgebung mit ihren Abgasvorschriften). Weiter regelt die LRV die Abfallverbrennung im Freien (→ Box) und legt die Anforderungen an Brenn- und Treibstoffe fest. Auch diese Bestimmungen haben eine emissionsbegrenzende Wirkung.

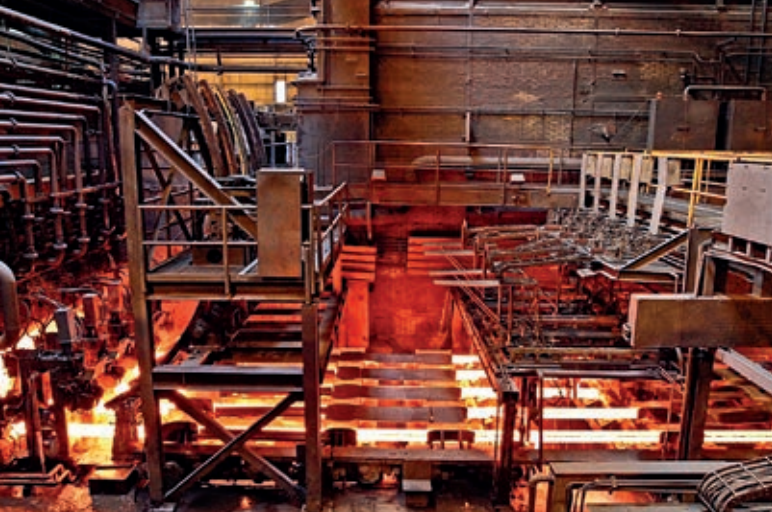
Abfallverbrennung im Freien

Abfälle dürfen generell nur in dafür vorgesehenen, speziellen Anlagen verbrannt werden. Als einzige Ausnahme erlaubt das Umweltschutzgesetz das Verbrennen von natürlichen Wald-, Feld- und Gartenabfällen, allerdings nur, wenn dadurch keine übermässigen Immissionen entstehen.

So einfach diese Vorschrift tönt, so schwierig ist sie durchzusetzen. Alle kennen die unangenehmen Gerüche von der unsachgemässen Verbrennung von Grünmaterial. Werden grüne oder nasse Äste und Stauden verbrannt, so entstehen unverhältnismässig grosse Schadstoffmengen und störender Rauch und Gestank. Das Amt für Umwelt hat daher im Merkblatt «Feuern im Freien» zusammengestellt, was erlaubt ist und was nicht. Im Freien verbrannt werden dürfen nur trockene, natürliche Feld- und Gartenabfälle, sofern nur wenig Rauch entsteht und die Nachbarschaft nicht belästigt wird. Erlaubt sind zudem 1.-August- und Grillfeuer, falls dafür nur trockenes und unbehandeltes Holz verwendet wird. Alle übrigen Grünabfälle sind entweder mit dem Kompost, der Grünabfuhr oder dem Häckseldienst zu entsorgen. Das Mitverbrennen anderer Abfälle – Kehrlicht, Papier, Altholz und anderes – ist selbstverständlich verboten. Das Verbrennen von Waldrestholz braucht eine Bewilligung des Kreisforstamtes.

Für die meisten Schadstoffe legt die LRV durch Grenzwerte konkret fest, was unter der vorsorglichen Begrenzung – so weit technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar – zu verstehen ist. Besonders strenge Vorschriften gelten für die krebserzeugenden Stoffe. Deren Emissionen müssen soweit möglich und verhältnismässig begrenzt werden, mindestens aber so weit, dass bestimmte Mindestanforderungen nicht überschritten werden. Dies wird als Minimierungsgebot bezeichnet. Mit welchen Mitteln die Emissionsvorschriften eingehalten werden sollen, durch Wahl eines geeigneten Verfahrens oder der verwendeten Stoffe, Abluftfilter oder weiterer Methoden, überlässt die LRV den Anlagebetreibern.

Weiter enthält die LRV für eine ganze Reihe von besonderen Anlagentypen spezielle Emissionsbegrenzungen. Mit diesen Vorschriften werden die allgemeinen schadstoffspezifischen Begrenzungen zum Teil ergänzt und zum Teil ersetzt.



Quelle: Stahl Gerlafingen

▲ Für Elektrostahlwerke gelten besondere Grenzwerte für die staubförmigen Emissionen sowie die Emissionen der in den Elektrolichtbogenöfen entstehenden Dioxine und Furane. Der Grenzwert für Staub ist viermal tiefer als jener für die allgemeinen Anlagen.



▲ Abfälle dürfen, mit wenigen Ausnahmen, nur in speziellen Anlagen verbrannt werden. Am bekanntesten sind die Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA). Diese verfügen über aufwendige Einrichtungen zur Rauchgasreinigung. Die Emissionen werden durch kontinuierliche Messungen überwacht.

▼ In Anlagen zum Beschichten oder Bedrucken mit organischen Farben, Lacken oder Kunststoffen – zum Beispiel Druck- oder Imprägniermaschinen, Spritzkabinen, Malereien, Trocknungs- und Einbrennöfen – können grosse Mengen von Lösemitteldämpfen entstehen. Sie werden deshalb oft in geschlossenen Räumen betrieben, und ihre Abluft wird gefasst und gereinigt.



Quelle: Amcor, Rickenbach

▼ Bei der Errichtung von Anlagen der bäuerlichen Tierhaltung und der Intensivtierhaltung müssen Mindestabstände zu bewohnten Zonen eingehalten werden. Diese Abstände sind, je nach Art und Anzahl der Tiere und Art der Anlagen, nach einer Richtlinie des Bundes zu berechnen. Die Lüftungsanlagen müssen den Empfehlungen der Stallklimanorm entsprechen.



Von grosser Bedeutung ist die Kategorie der Feuerungsanlagen, die der Raumheizung sowie der Erzeugung von Warmwasser und Prozesswärme dienen. Diese Anlagen sind im Siedlungsgebiet in grosser Zahl vorhanden und tragen wesentlich zu den heutigen Immissionen bei. Je nach Art der Feuerung, ihrer Leistung und Brennstoff gelten unterschiedliche Grenzwerte. Für alle Feuerungen sind mindestens die Emissionen von Stickoxiden und Kohlenmonoxid reglementiert. Besonders wichtig sind die Staubgrenzwerte für Holzfeuerungen.

Die Qualität der Brenn- und Treibstoffe ist entscheidend für eine saubere Verbrennung. Die LRV legt daher ganz genau fest, welche Stoffe überhaupt verwendet werden dürfen und welche Qualitätsanforderungen sie erfüllen müssen. Keine Brennstoffe sind beispielsweise Altholz aus Gebäudeabbrüchen oder Eisenbahnschwellen. Solche Materialien müssen zwingend in den speziellen Abfallverbrennungsanlagen entsorgt werden.

Anlagen, die Luftverunreinigungen emittieren, sind oftmals technisch anspruchsvoll und im Betrieb kompliziert – man denke etwa an eine Kehrrichtverbrennungsanlage oder einen Benzinmotor mit Katalysator. Werden sie nicht sorgfältig betrieben und regelmässig gewartet, so können ihre Emissionen unter Umständen wesentlich über den Grenzwerten liegen. Um die Emissionsbegrenzung auf Dauer sicherzustellen, müssen die Anlagen periodisch überprüft werden. Die LRV schreibt daher vor, dass alle Anlagen mit Schadstoffemissionen der Behörde gemeldet werden und diese die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen zu überwachen hat. Nach Inbetriebnahme der Anlage muss eine Abnahmemessung erfolgen. Danach ist die Messung alle zwei oder drei Jahre zu wiederholen. Bei Anlagen mit grossen Emissionen, wie zum Beispiel einer Kehrrichtverbrennungsanlage, müssen die wichtigsten Schadstoffe sogar kontinuierlich gemessen werden.

Viele weitere Gesetze

Mit Lenkungsabgaben wird direkt auf die Emissionen eingewirkt. Mehrheitlich indirekte emissionsbegrenzende Wirkungen entfalten die Vorschriften über Stoffe und über Abfälle. Von gewisser Wirkung sind die planerischen Instrumente (Richtpläne und Sachpläne), mit welchen langfristig die Siedlungsentwicklung, die Verkehrsinfrastruktur und die Mobilität, die Standorte bestimmter Anlagen und andere emissionsrelevante Grundlagen gesteuert werden. Folgende Beispiele von Gesetzen und Verordnungen illustrieren, wie weitläufig die rechtlichen Grundlagen zur Emissionsbegrenzung sind:

- Verkehr: Abgasvorschriften mit Emissionsgrenzwerten für Motorfahrzeuge (heute Euro 6); Luftfahrtgesetz (nach Schadstoffemissionen abgestufte Landegebühren); Bundesgesetz betreffend das Konzept «Bahn 2000».

- Energie: Energiegesetz (sparsame und rationelle Energienutzung, Förderung erneuerbarer Energien); Verordnung über die Absenkung des Treibstoffverbrauchs; Mineralölsteuergesetz; Massnahmenpaket Energie 2050.
- Klima: CO₂-Gesetz (Abgabe auf Brennstoffen); CO₂-Verordnung (CO₂-Begrenzung für Fahrzeugflotte eines Importeurs, Zielvereinbarungen für grosse Firmen).
- Finanzen: Lenkungsabgaben auf VOC, Heizöl Extraleicht und Schwefel in Benzin und Diesel; Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA).

Was hat am meisten gebracht?

Seit Mitte der 80er-Jahre sind zahllose Vorschriften zur Emissionsminderung auf den Stufen Bund und Kantone erlassen worden. Zu den wirkungsvollsten zählen insbesondere:

- 1986: Verschärfung der Abgasvorschriften für Benzinmotoren. Neue Personenwagen konnten danach nur noch mit geregeltem Dreiweg-Katalysator in Verkehr gesetzt werden.
- 1990: Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Feuerungen, die zur Einführung der LowNO_x-Technologie führten.
- 1998: Einführung der Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen wie Lösungsmitteln.
- 1999: Begrenzung des Schwefelgehalts von Heizölen (später verschärft) und Treibstoffen und Begrenzung des Bleigehaltes von Benzin.
- 2000: Einführung der Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA).
- 2006: Aktionsplan Feinstaub: Führte unter anderem zur Einführung der Konformitätserklärung für kleinere Holzfeuerungen, zur Senkung des Staubgrenzwertes für Holzfeuerungen über 70 kW um einen Faktor 5 und zur Reduktion des allgemeinen Emissionsgrenzwertes für Gesamtstaub um einen Faktor 2,5.
- 2008: Einführung der Partikelfilterpflicht für Baumaschinen auf Baustellen.

7.3 Verschärfung: die zweite Stufe

Erst wenn entweder ein Immissionsgrenzwert, eine Critical Load oder ein Critical Level überschritten wird, oder aber wenn die Übermässigkeit der Immissionen im Einzelfall festgestellt wird (wie zum Beispiel bei Geruchsmissionen), kommt die zweite Stufe des Immissionsschutzes zum Tragen. Diese hat zum Ziel, die übermässigen Immissionen durch eine Verschärfung der Emissionsbegrenzungen zu beseitigen.

Handelt es sich beim Verursacher der übermässigen Immissionen um eine einzelne bestehende oder erst geplante stationäre Anlage, so verfügt die Behörde entweder tiefere Emissionsgrenzwerte oder zusätzliche Emissionsvorschriften, als Massnahmen bezeichnet.

Bei einer bestehenden Anlage spricht man dabei von Sanierung. Der Kanton Solothurn verschärft die Emissionsbegrenzungen für neue Anlagen, sofern diese mehr als zehn Tonnen Stickoxide oder eine Tonne Staub pro Jahr emittieren. Die Emissionsbegrenzungen werden mit der Baubewilligung verfügt oder in der Betriebsbewilligung festgelegt. Verschärft wurden so beispielsweise die Grenzwerte für grosse Altholzfeuerungen.

Werden dagegen die übermässigen Immissionen von einer Verkehrsanlage oder von mehreren stationären Anlagen zusammen verursacht, so muss die Behörde einen Massnahmenplan erstellen. In diesem werden die Massnahmen festgelegt, mit denen die übermässigen Immissionen vermindert oder beseitigt werden

sollen, und die Wirkung der einzelnen Massnahmen wird beschrieben. Die möglichen Massnahmen sind bei stationären Anlagen entweder verkürzte Sanierungsfristen oder ergänzende oder verschärfte Emissionsbegrenzungen. Bei Verkehrsanlagen kommen bauliche, betriebliche, verkehrslenkende oder verkehrsbeschränkende Massnahmen in Frage.

Bei Verursachern, die in der gesamten Schweiz zu übermässigen Immissionen beitragen, ist es zur Vermeidung unterschiedlicher Regelungen meist sinnvoll, wenn der Bund an Stelle der Kantone die Anordnungen trifft. In der Regel geschieht dies durch Anpassung oder Ergänzung der betreffenden Verordnungen. Die Kantone können dem Bund dazu Anträge unterbreiten.



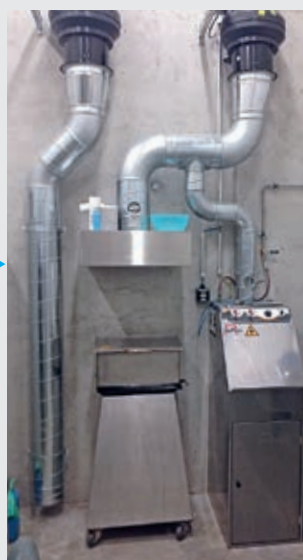
Quelle: Hans Ramseyer

▲ Auch die Emissionen von Baustellen müssen vorsorglich begrenzt werden. Ausser Massnahmen an Maschinen und Geräten spielen geeignete Betriebsabläufe eine wichtige Rolle. Der Bund hat dazu eine verbindliche Richtlinie erlassen.

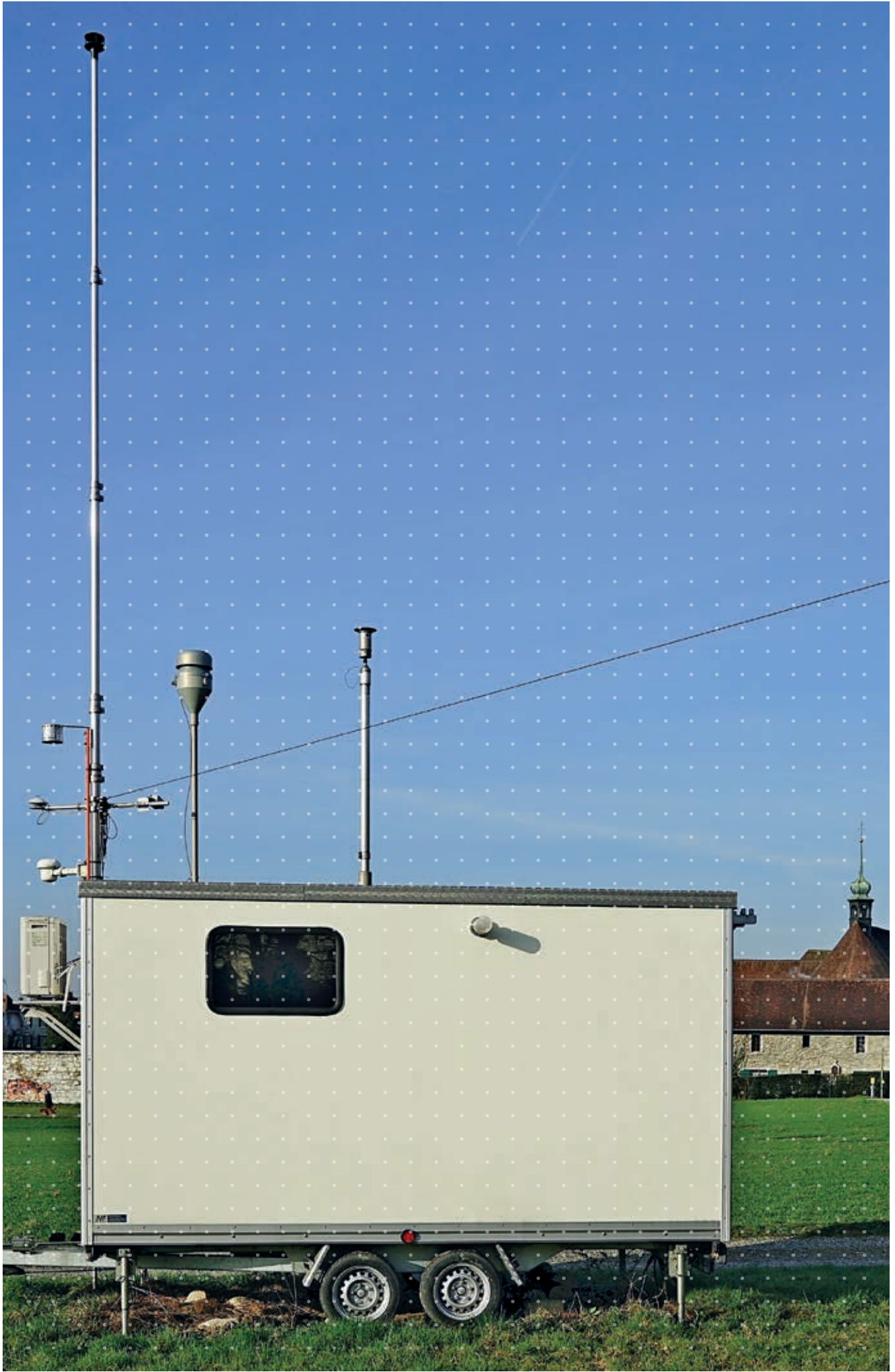


▲ Blockheizkraftwerke bestehen aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator und erzeugen sowohl Wärme für Heizzwecke als auch Strom. Sie kommen beispielsweise zur Verwertung von Biogas aus der Klärschlammbehandlung oder von Vergärungsanlagen zum Einsatz. Die LRV stellt Anforderungen an die Qualität des Treibstoffs und legt spezielle Emissionsgrenzwerte für den Motor fest.

► Emissionen, wie sie bei der Reinigung von Metallteilen mit leichtflüchtigen Substanzen entstehen, sind nahe am Ort ihrer Entstehung möglichst vollständig zu erfassen und abzuleiten. In der Regel werden sie durch Kamine oder Abluftkanäle über Dach ausgestossen.



Quelle: Gabriel Caduff, Tensor Consulting AG



Die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften zur Luftreinhaltung ist dem Kanton übertragen. Die regelmässige Kontrolle der Zehntausenden von Anlagen verursacht einen gewaltigen Aufwand. Zu den bekanntesten Überwachungsaufgaben des Kantons zählt sicher die Feuerungskontrolle. Grosse industrielle Anlagen erfordern eine enge Zusammenarbeit des Kantons mit den Betreibern. Spezielle Organisationen sind mit der Kontrolle von Tankstellen, chemischen Reinigungen und Baustellen betraut. Bei seiner Arbeit setzt der Kanton stark auf Information und Beratung, bevor er Verfügungen erlässt.

8. Die Aufgaben des Kantons

8.1 Kontrolle der vorsorglichen Begrenzung

Die Um- und Durchsetzung der Emissionsvorschriften der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), als Vollzug bezeichnet, ist fast ausschliesslich Sache der Kantone. Nur ganz wenige, nicht anlagenbezogene Aufgaben sind zweckmässigerweise dem Bund überlassen. Der Kanton muss dafür sorgen, dass die Anlagen über die gesamte Dauer ihres Betriebes die Emissionsvorschriften einhalten. Eine Vorstellung über das Ausmass dieser Aufgabe gibt die Anzahl der LRV-Anlagen im Kanton Solothurn: Rund 40 000 kleine Öl- oder Gasfeuerungen, 30 000 kleine Holzfeuerungen und 330 grosse Feuerungen sowie etwa 400 industrielle und gewerbliche Betriebe, zu einem grossen Teil mit mehreren Anlagen, sind zu erfassen und zu überwachen. Wer wofür zuständig ist, legt die kantonale Luftreinhalte-Verordnung (LRV-SO) fest. Mit den Vollzugsarbeiten ist das Amt für Umwelt (AfU), Abteilung Luft/Lärm des Bau- und Justizdepartementes, beauftragt, Verfügungen erlässt das Departement.

Die industriellen und gewerblichen Anlagen, die der Kontrolle des Kantons unterstehen, sind sehr vielfältig. Dazu gehören beispielsweise die Kehrlichtverbrennungsanlage, Abfallbehandlungsanlagen, Asphaltmischanlagen, Malereien, Druckereien, Lebensmittelbetriebe, Giessereien, Galvanikbetriebe, Garagen und Carrosserien, Textilreinigungen und Krematorien. Der Kanton kontrolliert diese Anlagen in der Regel alle drei Jahre. Die Emissionsmessungen führen meist anerkannte Messfirmen im Auftrag der Anlagenbe-

treiber durch. Messungen von halogenierten Kohlenwasserstoffen oder von Staub kann das AfU auch selber vornehmen. Falls notwendig, werden Einregulierungen oder Sanierungsmassnahmen angeordnet. Zusätzlich zu den Emissionskontrollen führt das AfU auch Betriebskontrollen durch, zum Beispiel bei grösseren Veränderungen oder Sanierungen.

Gewisse Vollzugsaufgaben delegiert der Kanton an private Organisationen. So werden die Tankstellen und Autowerkstätten im Rahmen von Branchenvereinbarungen regelmässig durch das Tankstelleninspektorat bzw. das Umweltinspektorat des Auto Gewerbe Verband der Schweiz (AGVS) überprüft. Mit dem Verein Kontrollstelle Textilreinigung Schweiz (VKTS) hat der Kanton eine Vereinbarung für die Überprüfung aller Textilreinigungen abgeschlossen. Erfüllt ein derartiger Betrieb die Anforderungen, so wird er mit einem zwei Jahre gültigen Umweltschutz-Zertifikat ausgezeichnet. Ein weiterer Vertrag besteht mit dem Baumeisterverband Solothurn, dessen Umwelt-Baustellen-Inspektorat im Auftrag des AfU Baumaschinen auf Baustellen kontrolliert.

8.2 Beispiele aus der Kontrollpraxis

Feuerungskontrolle

Für die Kontrolle und Messung der kleinen Feuerungsanlagen sind, mit Ausnahme der messpflichtigen Feuerungen mit Restholz, derzeit noch die Gemeinden zuständig. Holzfeuerungen gelten als klein, wenn sie weniger als 70 kW Feuerungswärmeleistung aufweisen. Bei allen übrigen Einzelfeuerungsanlagen liegt die Grenze bei 1 MW. Die Gemeinden setzen einen Feuerungskontrolleur mit eidgenössischem Fachausweis ein und legen die Organisation der Feuerungskontrolle in einem Reglement fest. Dafür stehen zwei Vollzugsmodelle zur Auswahl. Im Modell «liberalisiert» kann die Feuerungskontrolle auch von einem Servicetechniker einer privaten Firma durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Feuerungskontrollen werden in eine kantonale Datenbank übertragen.

Bei einem Kontrollintervall von zwei Jahren müssen jährlich rund 20000 kleine Öl- oder Gasfeuerungen gemessen werden. Deren Emissionsgrenzwerte wurden bereits mehrmals dem Stand der Technik angepasst, letztmals geschah dies 2007. Die Öl- und Gasfeuerungen wurden daher im Laufe der Zeit immer sauberer und energetisch effizienter. Die Beanstandungsquote nimmt seit Jahren kontinuierlich ab. In der Heizperiode 2015/16 erfüllten 90 Prozent der kontrollierten Anlagen die Anforderungen. Neuere Feuerungsanlagen müssen dank des robusten und guten Standes der Technik kaum noch beanstandet werden, die Quoten liegen hier noch im Bereich von einigen Prozenten. Wegen des guten Verlaufs führte der Kanton in der Periode 2015/16 ein Bonussystem ein. Liegen die Messwerte in zwei aufeinanderfolgenden Kontrollen unterhalb von bestimmten Schwellen («Bonuskriterien»), so wird das Kontrollintervall auf vier Jahre verlängert.

Die kleinen Holzfeuerungen sind, sofern sie nicht mit Restholz betrieben werden, vorderhand von der Messpflicht noch ausgenommen. Ausschliesslich naturbelassenes Holz aus dem Wald oder aus Sägereien sowie unbehandelte Gegenstände aus Garten und Landwirtschaft dürfen in allen Arten von Holzfeuerungen verbrannt werden. Bis vor einigen Jahren wurden die Holzfeuerungen, wenn überhaupt, nur stichprobenartig kontrolliert. Da diese Anlagen oftmals nicht richtig betrieben werden (→ Box), führte der Kanton mit dem Massnahmenplan 2008 die obligatorische Kontrolle der rund 30000 kleinen Holzfeuerungen ein. Zuständig dafür sind ebenfalls die Gemeinden. Die Kontrolle besteht aus einer visuellen Überprüfung der Asche (unverbrannte Holzteile, Rückstände von Abfällen), des Feuerraums (Ablagerungen, Verklebungen, technische Defekte, Rückstände von Abfällen) sowie des Brennstofflagers (nur erlaubte und richtig gelagerte Holzbrennstoffe). Die periodische Kontrolle erfolgt, falls keine Mängel festgestellt werden, alle

Die Problematik der Holzfeuerungen

Holz ist als nachwachsender Brennstoff energiepolitisch erwünscht. Die zahlreichen kleinen Holzfeuerungen verursachen aber deutlich höhere Schadstoffemissionen als Öl- und Gasfeuerungen der gleichen Leistung. Vor allem die Emissionen von Partikeln – Russ, Teer und Salze – sind problematisch. Holzfeuerungen tragen daher besonders in ländlichen Gegenden erheblich zu den winterlichen Feinstaubbelastungen bei. Mit der Revision der LRV von 2007 wurden deshalb die Staubgrenzwerte für Holzfeuerungen wesentlich gesenkt.

Viele kleine Holzfeuerungen sind handbeschickt. Bei unsachgemäsem Betrieb solcher Anlagen, beispielsweise falschem Anfeuern, Überfüllen des Feuerraums, Verwendung von nassem Holz oder zu starker Drosselung der Luftzufuhr, entstehen Schwelgase oder grosse Rauchentwicklungen. Werden gar Abfälle wie Verpackungsmaterial, Altholz oder andere Holzabfälle mitverbrannt, so enthalten die Abgase giftige Stoffe, unter anderem Schwermetalle und Dioxine. Bei der Feuerungskontrolle werden deshalb die Betreiberinnen und Betreiber über diese Zusammenhänge informiert und zum richtigen Betrieb angeleitet. Das AfU hat dafür Merkblätter erarbeitet, die zusammen mit einer geeigneten Anfeuerungshilfe abgegeben werden.

sechs Jahre. Während bei Einführung der Kontrolle 2008/09 noch rund 30 Prozent der Anlagen beanstandet werden mussten, ist diese Quote mittlerweile auf einige wenige Prozent zurückgegangen.

Heute werden die kleinen Feuerungsanlagen in einem Jahr teilweise von drei verschiedenen Stellen – dem Kaminfeger für die sicherheitstechnische Wartung, dem Feuerungskontrolleur und einem Servicetechniker – aufgesucht. Der Kanton plant nun zusammen mit der Solothurnischen Gebäudeversicherung, dieses aufwendige System zu vereinfachen. Bei der vorgeschlagenen Neuorganisation könnte künftig der Anlagebetreiber entscheiden, von welcher Firma er die sicherheitstechnische Wartung und die Feuerungskontrolle durchführen lassen will. Die Gemeinden würden bei dieser Lösung von der Feuerungskontrolle entlastet. Die neue Regelung wird voraussichtlich Mitte 2018 in Kraft treten.



◀ **Amtliche Feuerungskontrolleure, in einigen Gemeinden auch Servicetechniker, messen bei einer Kontrolle einer Öl- oder Gasfeuerung die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Stickoxiden im Abgas und den Energieverlust durch den Kamin. Moderne Abgasmessgeräte können die Messergebnisse elektronisch in die Datenbank des Kantons übertragen.**

▶ **Zu den 30 000 kleinen Holzfeuerungen im Kanton Solothurn gehören so unterschiedliche Objekte wie Kochherde, Zimmeröfen, Cheminées oder Heizkessel für Stückholz, Holzpellets oder Holzschnitzel. Viele davon werden noch von Hand beschickt.**



◀ **In Feuerungen, deren Abgase nach oben in den Kamin abgeführt werden, muss der Holzstoss oben angezündet werden. Zum Anzünden eignet sich beispielsweise diese Anzündhilfe des AfU. Mit Stoffen behandelte Anzündhilfen sollten nicht verwendet werden. Durch das richtige Anfeuern können die Schadstoffemissionen wesentlich reduziert werden.**

Tankstellen

Über Benzin bilden sich Dämpfe von leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen, die die Gesundheit gefährden und zur Bildung von Ozon führen. Besonders problematisch ist das im Motorenbenzin enthaltene krebserzeugende Benzol. Damit die bei der Betankung verdrängten Dämpfe nicht ins Freie gelangen, müssen sie aufgefangen werden. Die LRV schreibt vor, dass bei der Belieferung der Tankstelle die verdrängten Dämpfe in den Transportbehälter zurückgeführt werden müssen. Beim Betanken von Fahrzeugen dürfen höchstens zehn Prozent der in der Verdrängungsluft enthaltenen organischen Stoffe freigesetzt werden. Der Vorgang zum Auffangen der verdrängten Dämpfe wird Gaspendelung genannt.

Die Gaspendelung bei der Belieferung der Tankstelle ist technisch einfach zu bewerkstelligen. Die Dämpfe aus dem Tank werden durch einen separaten Schlauch in die Zisterne des Fahrzeuges zurückgeführt, und das ganze System ist dicht. Schwieriger ist es bei der Fahrzeugbetankung, da beim Zapfhahn keine dichte Verbindung besteht. Bei den allermeisten Gasrückführungssystemen werden die Dämpfe mit einer Pumpe abgesaugt. Systeme nach Stand der Technik verfügen über eine Funktionssicherung mit automatischer Messung der Rückführrate. Wird ein Defekt nicht innerhalb von 72 Stunden behoben, so wird die Benzinförderung automatisch verunmöglicht. Noch sind aber nicht alle Tankstellen mit automatischen Funktionssicherungen ausgerüstet.

Der Vollzug der LRV bei den Tankstellen obliegt im Kanton Solothurn dem Tankstelleninspektorat (TSI) des Auto Gewerbe Verband Schweiz. Dieses fordert die Tankstellenbetreiber auf, die periodische Kontrolle durch eine anerkannte Messfirma durchführen zu lassen. Die Anlagen müssen in der Regel jährlich kontrolliert werden. Bei alten Anlagen ohne Funktionssicherung wird der Kontrollturnus auf ein halbes Jahr verkürzt, bei neuen Anlagen, je nach Ausrüstung und Messergebnis, auf zwei oder drei Jahre verlängert.

Das AfU liess 2010 zur Qualitätssicherung eine Stichprobenkontrolle bei 15 Prozent der Tankstellen durchführen. Die Überprüfung deckte unbefriedigende Zustände auf. Nur ein Drittel der kontrollierten Tankstellen erfüllten die Anforderungen. Bei jedem dritten Zapfhahn funktionierte die Gasrückführung schlecht oder gar nicht. Viele Tankstellen mussten in der Folge saniert werden.

Oberflächenreinigung

Am Jurasüdfuss sind Betriebe zur Herstellung von Metallteilen durch Drehen (Decolletage-Betriebe) stark vertreten. Die Oberflächen dieser Präzisionsteile müssen vielfach absolut öl- und spänefrei sein. Dazu wurden ab etwa 1930 wegen ihrer guten Reinigungswirkung immer mehr chlorierte Kohlenwasserstoffe



Die schädlichen Benzindämpfe werden beim Betanken aus dem Tank des Autos verdrängt. Damit sie nicht ins Freie entweichen, werden sie mit einer Pumpe durch einen separaten Schlauch abgesaugt. Bei der Belieferung der Tankstelle werden die Dämpfe im Tank durch Gaspendelung in die Zisterne des Fahrzeuges zurückgeführt.

(CKW) eingesetzt. Nach dem Verbot von Trichlorethan Mitte der 90er-Jahre und Trichlorethylen (Tri) 2016 ist in der Praxis als einziger Vertreter der CKW das Perchlorethylen (Per) übriggeblieben. Dieses darf nur in geschlossenen Anlagen verwendet werden. Deren Dichtigkeit und Funktionstüchtigkeit werden durch das AfU mindestens alle drei Jahre mit einer Messung überprüft. Eine Beanstandungsquote von über 50 Prozent belegt die Anfälligkeit solcher Reinigungssysteme. Neuanlagen werden daher in der Regel nicht mehr mit Per betrieben, sondern meist mit einem modifizierten Alkohol, seltener auch mit Kohlenwasserstoffen oder Wasser.

Die CKW-Emissionen im Kanton Solothurn konnten seit 1992 um 98 Prozent reduziert werden. 70 CKW-Anlagen wurden seit 2000 stillgelegt, heute existieren noch 16 Anlagen zur Metallreinigung. Ein Grossteil davon wird in den nächsten Jahren ersetzt werden. Per wird ausserdem noch in der Textilreinigung («chemische Reinigung») eingesetzt. Aber auch in diesem Bereich verschwindet das Per immer mehr.

Das Bearbeiten von Metallteilen, etwa durch Drehen, Bohren oder Fräsen, erfolgt unter Anwendung von Schneidölen als Kühlschmiermittel. Sollen die Teile anschliessend beschichtet werden, so muss man die öligen Oberflächen zuerst reinigen. Dies geschieht in der Industrie, zum Beispiel in Decolletage-Betrieben, in Teilereinigern oder Entfettungsanlagen.



Wird für die Reinigung oder die Entfettung von Oberflächen Perchlorethylen – ein chlorierter Kohlenwasserstoff – verwendet, so gelten besondere, strenge Emissionsvorschriften. Das AfU kontrolliert diese Anlagen alle drei Jahre und nimmt dabei Messungen mit einem speziellen Messgerät vor.



Heute gibt es nur noch wenige chemische Reinigungen, in denen Textilien und Leder mit Perchlorethylen gereinigt werden. Mehrheitlich werden weniger problematische Stoffe wie Kohlenwasserstoffe oder Siloxan eingesetzt. Zunehmend werden Kleider in Grossanlagen auch gewaschen.

Baumaschinen

Dieselmotoren haben den Nachteil, dass bei der Verbrennung des Treibstoffs deutlich mehr feine Russpartikel entstehen als in vergleichbaren Benzinmotoren. Lange Zeit galt aber für Baumaschinen wie Bagger, Ladeschaufeln oder Dozer – anders als für Dieselmotoren in Strassenfahrzeugen – kein Grenzwert für die Partikelemissionen. Erst mit der Revision der LRV 2008 wurde für Baumaschinen mit einer Leistung über 18 kW, die auf Baustellen eingesetzt werden, ein Grenzwert für die Partikelanzahl und damit eine eigentliche Partikelfilterpflicht eingeführt. Der Partikelfilter muss mindestens 97 Prozent der Feststoffpartikel abscheiden. Alle zwei Jahre muss eine Abgaswartung durchgeführt werden.

Im Auftrag des AfU werden Baumaschinen ab 18 kW Leistung auf Baustellen durch das Umwelt-Baustelleninspektorat stichprobenartig kontrolliert. Dabei wird unter anderem überprüft, ob die Baumaschinen tatsächlich einen Filter haben, ein vorhandener Filter funktionstüchtig ist und für die Maschine gültige Wartungsdokumente vorhanden sind. Vorderhand wird die Funktionsfähigkeit der Filter optisch beurteilt; künftig wird dafür ein Messgerät zum Einsatz kommen.

2016 wurden insgesamt 242 Baumaschinen auf 86 Baustellen kontrolliert. 78 Prozent der kontrollierten Maschinen erfüllten die Anforderungen der LRV. Maschinen ohne Partikelfiltersystem (13 Prozent) oder mit einem nicht korrekt funktionierenden System (9 Prozent) wurden von den Baustellen weggewiesen.

Partikelfiltersysteme



Bereits in den 90er-Jahren gab es Bestrebungen, Dieselmotoren mit Partikelfiltern auszurüsten. Wegen anfänglicher technischer Probleme und der relativ hohen Kosten konnten sich die Filter aber vorerst nicht durchsetzen. Mittlerweile sind die Filtersysteme jedoch technisch zuverlässig, robust und einfach im Unterhalt.

Partikelfilter bestehen aus einem wabenförmigen Filterkörper aus einem meist keramischen Material. Das Abgas wird gezwungen, die porösen Wände der Kanäle zu durchströmen, wobei sich die Partikel an den Wänden ablagern. Damit der Filter im Laufe der Zeit nicht verstopft, müssen die Russablagerungen verbrannt werden (Regeneration). Bei hohen Temperaturen geschieht dies von selbst. Bei den meisten Maschineneinsätzen werden aber diese Temperaturen nicht erreicht, so dass der Filter entweder durch ein

passives (z.B. Beimischung eines Additivs zum Treibstoff) oder ein aktives System (Ausheizung) regeneriert werden muss. Um einem Motorschaden durch Verstopfung des Filters zuvorzukommen, muss der Motor permanent überwacht werden.

Fast jeder Dieselmotor kann mit einem passenden Filtersystem nachgerüstet werden. Baumaschinen dürfen nur mit Partikelfiltersystemen betrieben werden, deren Konformität mit der LRV nachgewiesen ist. Der Bund führt eine Liste der Systeme mit Konformitätsnachweis. Da heute zunehmend Dieselmotoren mit fest verbauten Partikelfiltern hergestellt werden, gibt es auch eine Liste der konformen Motoren.

Im Kanton Solothurn müssen auch Baumaschinen auf baustellenähnlichen Anlagen, zum Beispiel Kiesgruben und Deponien, mit Partikelfiltern ausgerüstet werden. Dies ist schweizweit noch nicht einheitlich geregelt.



Ein erheblicher Teil der beanstandeten Maschinen war im Ausland gemietet worden. Die Behebung der Mängel muss nachgewiesen sein, bevor die Maschinen wieder eingesetzt werden dürfen.

8.3 Information und Beratung

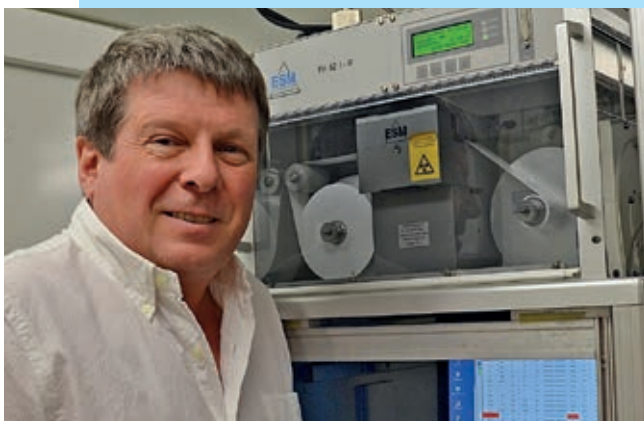
Die Fülle von Anweisungen zum richtigen Verhalten sind für Bürgerinnen und Bürger kaum noch überblickbar. Oft wissen sie gar nicht, was von ihm verlangt oder erwartet wird. Laufend werden Bestimmungen geändert und neue kommen dazu. Um diese Lücken zu schliessen, fällt dem Kanton die Öffentlichkeitsarbeit als Daueraufgabe zu. Über die verschiedensten Kanäle – Presse, Merkblätter, Veranstaltungen, Vorträge und vieles mehr – werden die Allgemeinheit oder spezifische Gruppen über Neuerungen unterrichtet oder, wenn nötig, auf noch nicht befriedigende Umsetzungen aufmerksam gemacht. Oftmals dauert es Jahre, bis sich neue Verhaltensweisen durchsetzen und die alten, nicht mehr angebrachten Gewohnheiten verschwinden. Wiederholte Aufrufe oder grössere Kampagnen führen aber auch in solchen Fällen letztlich zum Ziel. Ein gutes Beispiel dafür ist das Verbot des Verbrennens von Grünmaterial und des Abbrennens von bewachsenen Flächen. Nach der Einführung

in den 90er-Jahren wurde das Verbot zuerst schlecht beachtet, mittlerweile sind solche Feuer nur noch ganz selten anzutreffen.

Beim direkten Kontakt der Bürgerinnen und Bürger mit den Fachleuten des Kantons wird die Information ergänzt durch Beratung. Beraten werden hauptsächlich Baugesuchsteller, Industrie- und Gewerbebetriebe und Betreiber von Feuerungsanlagen. Gerade bei Bauprojekten und bei der langfristigen Zusammenarbeit mit Industriebetrieben können dadurch zweckmässige Lösungen gefunden, unnötige Kosten und Fehlplanungen vermieden und potentielle Konflikte entschärft werden. Der Erfolg der Beratung zeigt sich beispielsweise bei den kleinen Holzfeuerungen. Als vor einigen Jahren die Kontrolle dieser Anlagen eingeführt wurde, musste ein grosser Teil beanstandet werden. Durch die geduldige Arbeit der Kontrolleure ist diese Quote in der Zwischenzeit stark zurückgegangen.

Der Information und der Beratung misst der Kanton beim Vollzug der LRV-Vorschriften eine grosse Bedeutung zu. Je besser informiert die Betroffenen sind, umso weniger Verfügungen sind notwendig zur Durchsetzung des Rechts.

Pionier der Luftreinhaltung im Kanton Solothurn



Rolf Stampfli überwacht im Auftrag des Kantons seit 28 Jahren die Entwicklung der Luftqualität. Wie hat er die Entwicklungen in der Luftreinhaltung erlebt? Welche künftigen Probleme zeichnen sich ab? In einem Gespräch mit der Redaktion erzählt er von seinen Erinnerungen und Erfahrungen.

Rolf Stampfli, Sie begleiten die Anstrengungen zur Luftreinhaltung seit Jahrzehnten, mit Erfolg.

Das stimmt. Die Anstrengungen der letz-

ten Jahrzehnte haben viel bewirkt. Es gibt Schadstoffe, die heute keine Rolle mehr spielen, wie Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO). Andere Stoffe haben wir erst im Laufe der Zeit als Schadstoffe erkannt, wie Feinstaub (PM₁₀). Dank technischer Entwicklungen hält sich die Belastungssituation aber heute auch bei diesen Schadstoffen in Grenzen. Auch wenn wir nie ähnlich dramatische Zustände hatten wie beispielsweise heute in China, so war die Luftbelastung bei uns vor 25 Jahren doch so bedenklich, dass konsequentes Handeln angezeigt war.

Warum ist die Luftreinhaltung trotzdem ein aktuelles Thema?

Zwar bestehen heute nicht mehr flächendeckend grosse Belastungssituationen. Doch es gibt immer noch Grenzwertüberschreitungen, die wir unbedingt beachten müssen. Dazu zählen Dauerbelastungen entlang von Autobahnen oder Strassenschluchten in Städten, aber auch zeitliche Problemsituationen wie Sommersmog und Wintersmog. Zudem gibt es Stoffe, die empfindliche Ökosysteme gefährden.

Wie ist das Bewusstsein entstanden, dass man etwas für bessere Luft tun muss?

Das Thema Waldsterben schärfte in den 80er-Jahren das Bewusstsein für die Luftreinhaltung. Das Waldsterben löste in den Medien zahlreiche Artikel aus. Der Handlungsdruck auf Politik und Gesellschaft stieg. Die grosse Frage war: Welche Schadstoffe haben diese schädigende Auswirkung auf den Wald? Im Fokus stand das Schwefeldioxid.

Wusste man denn, wo ansetzen?

Ja. Der Zusammenhang zwischen Feuerungen und dem schädlichen Schwefeldioxid wurde rasch erkannt. Kontrollen bei Feuerungen in Industrie und in Haushaltungen wurden eingeführt, Grenzwerte festgelegt. Zunehmend rückte der Verkehr als Schadstoffquelle ins Bewusstsein. Daraus folgte zum Beispiel die Einführung des Katalysators. Solche technischen Entwicklungen unterstützten die Anstrengungen für die Luftreinhaltung. Sie ermöglichten neue Standards, die gefordert werden konnten.

Wie reagierten die Betroffenen, zum Beispiel Private oder die Verantwortlichen in der Wirtschaft und der Industrie?

Es war immer wieder ein Seilziehen unter Politik, Wirtschaft und Umweltschutz. Verhandlungsgeschick war mehr als einmal nötig. Doch im Allgemeinen begünstigten viele Umstände die Anstrengungen: Der wirtschaftliche Aufschwung generierte Geld für Investitionen. Diese dienten meist sowohl der Wirtschaftlichkeit wie auch der Umwelt. Zudem stiessen Investitionen zu Gunsten der Umwelt weithin auf Akzeptanz. Trotzdem gab es einige wenige Querulanten, bei denen man nur mit Unterstützung der Polizei Messungen machen oder eine Besichtigung durchführen konnte.

Wie entwickelte sich die Überwachung der Luftqualität im Kanton Solothurn?

Am Anfang verunsicherten sinnliche Wahrnehmungen von Phänomenen wie Rauchfahnen, schwarze Wäsche, Gestank und Atemnot die Bevölkerung. Sie lösten erste einfache Messungen aus. Nach und nach folgten Stichprobenmessungen und schliesslich der Aufbau des Messnetzes. Dieses wird

bei Bedarf mit zusätzlichen Messungen ergänzt. Parallel dazu entstanden die Ausführungsvorschriften zur Luftreinhaltung. Sie werden fortlaufend ergänzt und fortgeschrieben. Seit einigen Jahren pflegt der Kanton Solothurn eine enge Zusammenarbeit mit den Kantonen der Nordwestschweiz. Auf einer gemeinsamen Internetplattform werden die aktuellen Messwerte, stündlich aktualisiert, veröffentlicht.

Bereits Anfang der 90er-Jahre zeigten die Messkurven mehr oder weniger steil nach unten. Eine erfolgreiche Zeit für die Luftreinhaltung?

Die Erfolge waren sensationell und machten Mut. Aber auch heute verbessern sich die Werte stetig, jedoch weniger rasch und weniger deutlich. Wir brauchen heute mehr Aufwand für weniger Erfolg.

Wie haben sich die Herausforderungen in den letzten Jahren verändert?

Viele Probleme der Lufthygiene konnten in der Vergangenheit lokal und mit technischen Entwicklungen gelöst werden. Aber das Ozon, das weiterhin Probleme macht, muss europaweit angegangen werden.

In der Lufthygiene sind die Zusammenhänge komplex. Wie können Sie diese der Politik und der Öffentlichkeit einfach erklären?

Wir Lufthygieniker verlieren uns gerne in komplizierten Erläuterungen über die verschiedenen Schadstoffe, über Immissionen und Emissionen und überfordern damit die Bevölkerung. Mit Aktionen wie einst dem Smog-Blick, der Aktion «Pfui Tüfu» oder der Ausstellung «richtig feuern» haben wir in den letzten Jahrzehnten immer wieder aktuelle Fragestellungen aufgegriffen und erklärt. Aber auch die jährlichen Kurzberichte zur Luftsituation, die Erläuterungen auf der Website und der nun vorliegende Bericht sorgen für eine gute Information.

Welche Themen werden künftig die Luftreinhaltung prägen?

Wichtige Themen bleiben Ozon, Ammoniak und Feinstaub. Beim Feinstaub stehen künftig vor allem die Partikel PM_{2.5} – also die noch kleineren Partikel – im Fokus.

8.4 Der kantonale Massnahmenplan

Notwendigkeit

Die im Kanton Solothurn in früheren Jahren verbreitet aufgetretenen Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte haben im Laufe der Zeit stark abgenommen (→ Kap. 3). Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid und Feinstaub werden heute nur noch entlang der Autobahn und eng begrenzt in Siedlungszentren bei starker Verkehrsbelastung überschritten. Die Ozonimmissionen liegen im ganzen Kanton häufig weit über den Grenzwerten. Beim Ammoniak ist von übermässigen Immissionen in vielen Ökosystemen im ganzen Kantonsgebiet auszugehen.

Die Überschreitungen der Grenzwerte werden durch eine grosse Zahl von stationären Anlagen sowie von Verkehrsanlagen verursacht. Der Kanton ist in diesem Fall durch die LRV verpflichtet, einen Massnahmenplan zu erstellen. Erlassen wird er vom Regierungsrat.

Massnahmenplanung im Laufe der Zeit

1990 erliess der Kanton Solothurn einen ersten Massnahmenplan für die Gemeinden Olten und Trimbach, zwei Jahre später einen zweiten für die Region Solothurn/Grenchen. Diese Pläne erwiesen sich als unausgereift und schwierig in der Umsetzung. Ein verbindliches Vorgehen fehlte. Gewisse Reduktionen von NO_x - und VOC-Emissionen bei Feuerungen und industriellen Anlagen konnten dennoch erzielt werden.

2001 wurde ein neuer Massnahmenplan, nun für das ganze Kantonsgebiet, in Kraft gesetzt. Die beiden früheren Pläne wurden aufgehoben. Der «Luftmassnahmenplan 2000» (LMP2000) enthielt wesentlich weniger Massnahmen, wies aber die Verantwortlichkeiten für die Umsetzung klar zu. Die Massnahmen waren zudem besser auf die Raumplanung und die Verkehrsplanung abgestimmt. Innerhalb von sieben Jahren wurden Massnahmen in allen fünf Handlungsfeldern (Fahrzeuge und Mobilität, Land- und Forstwirtschaft, Industrie- und Gewerbe, Haushalte sowie öffentliche Hand) umgesetzt. Drei Rechenschaftsberichte zeigten 2003, 2005 und 2008 den Stand der Umsetzung auf. 2006 beschloss der Regierungsrat, dass der Massnahmenplan LMP2000 einer Totalrevision zu unterziehen sei.

Ein «Ozon-Massnahmenplan»

In den Jahren 1991 bis 1993 wurde versucht, mit speziellen Programmen die hohen Ozonkonzentrationen während des Sommersmogs zu beeinflussen. Als wirksamste Massnahme galt eine generelle Geschwindigkeitsbegrenzung, zu deren Anordnung aber dem Kanton die Kompetenzen fehlten. Auch der Versuch, zumindest die Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzungen durchzusetzen, schlug fehl. So blieben schliesslich als Massnahmen Information und Öffentlichkeitsarbeit, Appelle an die Industrie zur Reduktion des VOC-Verbrauchs und die Durchsetzung des damals neuen Verbotes des Abbrennens von Abfällen im Freien, namentlich auch das Abbrennen von Stoppelfeldern und Böschungen. Zudem wurde 1993 der Zusammenhang zwischen der Ozonkonzentration und der Schädigung von zwei auf Ozon verschiedenen stark anfällige Kleesorten experimentell untersucht. Zur Sensibilisierung der Bevölkerung wurden die Experimente zum Teil im Aarebad Solothurn und auf dem Weissenstein durchgeführt und mit Plakaten erklärt. Es wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem maximalen Tagesmittelwert der Ozonkonzentration und der Blattschädigung festgestellt. Da der Sommer 1993 ausserordentlich kühl und nass war, stellten sich allerdings auch keine höheren Ozonimmissionen ein.

Der geltende Massnahmenplan

Der heute gültige Massnahmenplan LMP2008 wurde im Dezember 2008 beschlossen. Er enthält insgesamt 17 Massnahmen. Einige davon sind auf der nächsten Seite beschrieben.

Nach drei Jahren Anwendung wurde der Stand der Umsetzung im «Rechenschaftsbericht 2008-11» zuhanden des Regierungsrates zusammengestellt. Einige Massnahmen konnten als erledigt betrachtet werden, andere wurden sistiert. Fünf Massnahmen verblieben im LMP2008. Die emissionsmindernden Wirkungen der Massnahmen fielen sehr unterschiedlich aus. Nur wenige Massnahmen führten zu bedeutenden Emissionsminderungen.

Für die emissionsarme Ausbringung von Gülle wie hier mit einem Schleppschlauch werden Flächenbeiträge ausgerichtet. Die Anzahl der Betriebe, die diese Technik anwenden, und die auf diese Weise gegüllte Fläche haben stark zugenommen. Da die Geräte teuer sind, werden sie meist überbetrieblich eingesetzt.



Quelle: Stahl Gerlafingen

Die Verschärfung von Emissionsbegrenzungen bei bestehenden Anlagen mit Jahresemissionen von mehr als 10 t Stickoxiden oder 1 t Staub hat zu beträchtlichen Emissionsminderungen geführt. So wurde beispielsweise das Ofenhaus des Stahlwerks Gerlafingen umgebaut, was eine Reduktion der Staubemissionen um 40% bzw. 7 t pro Jahr bewirkte.

Von den fünf grossen CO-Quellen des Kantons, die früher zusammen rund 90% der industriellen CO-Emissionen verursachten, wurden vier aufgrund der verschärften Emissionsbegrenzungen des LMP saniert. Eine wurde aus ökonomischen Gründen stillgelegt (Borregaard). Die CO-Emissionen nahmen damit um über 1000 t pro Jahr ab.



Quelle: Rotoflex, Grenchen



Der Kanton stellte dem Bundesrat den Antrag, Anreize zum beschleunigten Ausrüsten von Traktoren mit Partikelfiltern zu schaffen. Der Bundesrat hat darauf keine konkreten Aktionen ausgelöst. Das Problem wird sich in Kürze lösen, da ab 2019 europaweit nur noch Dieselmotoren mit Partikelfilter neu in Verkehr gesetzt werden dürfen.



Mit der Einführung der Feuerungskontrolle für Holzfeuerungen wurde eine wichtige Lücke geschlossen. Die damit erzielte Reduktion der Feinstaubemissionen lässt sich nur schwer beziffern, dürfte aber bedeutend sein.

8.5 Kurzfristige Interventionsmassnahmen

Die zweite Stufe des Immissionsschutzes ist darauf ausgerichtet, die übermässigen Immissionen dauerhaft zu vermindern und letztlich zum Verschwinden zu bringen. Bei grossen kurzfristigen Überschreitungen während Winter- oder Sommersmogepisoden greifen diese Massnahmen jedoch kaum. Die Kantone haben aber die Möglichkeit, in solchen Fällen kurzfristige Interventionsmassnahmen anzuordnen. Die Schweizerische Bau-, Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz (BPUK) hat dafür ein «Interkantonales Interventionskonzept PM10: Temporäre Massnahmen bei ausserordentlich hoher Luftbelastung durch zuviel Feinstaub (Wintersmog – PM10)» ausgearbeitet (→ Box). Diese temporären Massnahmen können das Problem nicht dauerhaft lösen, vermögen aber im Sinne einer Schadensbegrenzung die Belastungsspitzen zu brechen.

Auch der Kanton Solothurn hat sich dem BPUK-Konzept von 2006 angeschlossen. Dazu hat er dem Regierungsrat die Kompetenz übertragen, kurzfristige Massnahmen aufgrund interkantonaler Notfallkonzepte zu erlassen. Ausser den vom Konzept empfohlenen gesamtschweizerischen Basismassnahmen hat Solothurn keine Massnahmen vorgesehen. Bis zum Winter 2016/17 hat der Kanton Solothurn die Informationsstufe oder gar die Interventionsstufen nicht aktivieren müssen.

Temporäre Massnahmen gegen hohe Sommersmogimmissionen sind wenig erfolgversprechend, da die hohen Ozonkonzentrationen ein überregionales und teilweise länderübergreifendes Problem sind und durch lokale Massnahmen nicht wesentlich beeinflusst werden können.

Das Interventionskonzept für Wintersmog

Das Konzept der BPUK sieht drei Stufen der Intervention vor. Ausgelöst werden diese, wenn der Tagesmittelwert für PM10 das Ein- einhalb-, Zwei- oder Dreifache des Immissionsgrenzwertes überschreitet (75, 100 oder 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und die ursächliche Inversion nach Prognose noch länger als drei Tage andauern wird.

- Informationsstufe: Medienmitteilungen zur Belastungssituation, zu ihrer Entwicklung und zu den Auswirkungen mit Empfehlungen für persönliche Beiträge.
- Interventionsstufe 1: Medienmitteilungen und Anordnung von Massnahmen. Tempo 80 auf Autobahnen und -strassen, kombiniert mit Überholverbot für Lastwagen, Verbot des Betriebes von mit Feststoffen befeuerten Zweitheizungen (Cheminées, Cheminéeöfen etc.), Verbot von Feuern im Freien.
- Interventionsstufe 2: Medienmitteilungen und Anordnung zusätzlicher Massnahmen: Verbot des Einsatzes dieselbetriebener Maschinen, Geräte und Fahrzeuge ohne Partikelfilter in der Land- und Forstwirtschaft, Verbot des Einsatzes von Baumaschinen ohne Partikelfilter.

Die Anordnung von Tempo 80 auf Autobahnen und -strassen gilt für maximal acht Tage. Die temporären Massnahmen werden koordiniert aufgehoben, wenn die PM10-Belastung wieder unter den Immissionsgrenzwert (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) abgesunken ist.



Nach dem politischen Entscheid in den 70er-Jahren, den zu hohen Immissionen ernsthaft den Kampf anzusagen, wurden die Emissionen mit grossem technischem und finanziellem Aufwand massiv reduziert. Um das verfassungsmässige Ziel des Immissionsschutzes vollständig zu erreichen, sind für alle Luftschadstoffe aber noch weitere und teilweise erhebliche Emissionsreduktionen notwendig. Zusätzliche und strengere Emissionsvorschriften und weitere Immissionsgrenzwerte sind bereits in Vorbereitung. Neben den technischen Massnahmen werden sich auch gesellschaftliche Veränderungen stark auf die Immissionen auswirken.

9. Was erwartet uns in den nächsten Jahren?

9.1 Weiterhin Handlungsbedarf

Mit der anlagebezogenen vorsorglichen Emissionsbegrenzung sind bis heute zweifellos sehr grosse Erfolge erzielt worden. Damit konnten die gesamtschweizerischen Emissionen seit Mitte der 80er-Jahre massiv vermindert werden. Bei den meisten Schadstoffen wird die Abnahme auch noch weiter andauern. Dies ist zum einen eine Folge davon, dass es jeweils Jahre dauert, bis sich neue Emissionsvorschriften in der Praxis auswirken und allenfalls nötige Sanierungen vollzogen sind. Zum andern ermöglicht der Prozess der dynamischen Anpassung der Emissionsbegrenzungen an den Stand der Technik immer wieder neue, zusätzliche Reduktionen.

Die grossen Erfolge bei der Verminderung der Emissionen führten zu einer allgemeinen und teilweise markanten Abnahme der Immissionen. So sind die Immissionsgrenzwerte für einige der wichtigen Schadstoffe schon seit einiger Zeit überall eingehalten. Übermässige Immissionen von NO_2 treten heute nur noch in eng begrenzten Bereichen auf und die Überschreitungen sind wesentlich geringer als früher. Besonders erfreulich ist der Rückgang der Feinstaubimmissionen in den letzten Jahren, der in diesem Ausmass nicht erwartet worden war. Die viel zu hohen Ozonimmissionen wurden dagegen bisher erst wenig vermindert. Noch kaum abgenommen haben die Ammoniakimmissionen. Um die Immissionsziele erreichen zu können, müssen die Emissionen von Stickoxiden, VOC und Ammoniak noch wesentlich stärker reduziert werden. Trotz aller Verbesserungen besteht also offensichtlich weiterhin ein grosser Handlungsbedarf.

Die Bedeutung einzelner Hauptaspekte der Luftreinhaltung hat sich im Laufe der Zeit stark gewandelt. So ist beispielsweise die in den 80er-Jahren im Zentrum stehende Problematik der Schwefeldioxidimmissionen völlig verschwunden. Jene des Feinstaubes wurde erst in den 90er-Jahren erkannt, ist aber mittlerweile, zumindest was die Massenkonzentration betrifft, auf gutem Weg zur Lösung. Die Situation der zu hohen Ammoniakimmissionen dringt erst langsam ins Bewusstsein der Öffentlichkeit. Mit der Veränderung der technischen Möglichkeiten und dem wachsenden Wissen um die Folgen von Luftschadstoffen werden künftig vermutlich neue Problemfelder in den Vordergrund rücken. Bereits absehbar ist, dass sich die Luftreinhaltung in den kommenden Jahren vermehrt der ultrafeinen Partikel, die hauptsächlich aus Verbrennungsprozessen stammen, annähern wird. Diese tragen zur Feinstaubmasse fast nichts bei, machen aber den weitaus grössten Anteil der Partikelanzahl aus. Sie sind so klein, dass sie in Zellen oder das Blut des Menschen eintreten können. Die gesundheitlichen Folgen davon sind erst in Ansätzen bekannt und werden zurzeit intensiv erforscht. Ein weiteres künftiges Thema sind die technisch erzeugten Nanopartikel, die zunehmend in Produkten verarbeitet werden und ihren Weg über die Luft auch in Organismen finden. Darüber ist heute erst wenig bekannt.

9.2 Absehbare Veränderungen und mögliche Entwicklungen

Verbesserung der Vorsorge

Technische Fortschritte werden in den kommenden Jahren weitere Emissionsminderungen ermöglichen. Die dynamische Anpassung der Emissionsvorschriften wird dafür sorgen, dass die Verbesserungen jeweils innerhalb kurzer Zeit in der Praxis Eingang finden. Allerdings wird das Reduktionspotential immer geringer, da die meisten Emissionen heute schon verhältnismässig tief sind und es technisch immer schwieriger wird, noch weitere wirksame Massnahmen zu realisieren. Dieser Vorgang lässt sich gut am Beispiel des Abgasgrenzwertes für Stickoxide der Personenwagen mit Benzinmotor illustrieren: Zwischen Ende der 70er-Jahre und 2009 wurde dieser Grenzwert in sieben Stufen um total 98,5 Prozent gesenkt. Die drei Stufen von Euro 3 bis Euro 5 trugen nur noch zu 13 Prozent zur gesamten Reduktion bei. Von der Stufe Euro 5 zur heute geltenden Stufe Euro 6 blieb der NO_x -Grenzwert sogar unverändert. Zurzeit sind keine weiteren Euro-Abgasstufen mehr vorgesehen. Geplant sind aber neue Prüfverfahren, welche die tatsächlichen Emissionen besser erfassen und auch besondere Fahrbedingungen berücksichtigen, was einer Verschärfung der Grenzwerte gleichkommt. Dieselfahrzeuge werden diese Anforderungen voraussichtlich nur mit einer zusätzlichen Abgasnachbehandlung erfüllen können. Die gegenwärtige Diskussion über Abgasmanipulationen bei den Dieselfahrzeugen lässt erwarten, dass künftig auch eine strengere Durchsetzung der geltenden Grenzwerte zu erheblichen Emissionsreduktionen führen wird.

Die Emissionsvorschriften wurden in den letzten Jahren unter anderem für Biogasanlagen, stationäre Verbrennungsmotoren und Holzfeuerungen dem Stand der Technik angepasst. Weitere Änderungen sind in Vorbereitung. Bei der Vorsorge gibt es auch über 30 Jahre nach Inkrafttreten der LRV noch Lücken und ungenügend geregelte Bereiche. Zusätzliche Vorschriften sind bei den VOC-Emissionen erforderlich, nicht zuletzt zur Begrenzung der Lösemittelgehalte in Haushalts- und Hobbyprodukten. Ausserordentliche Betriebszustände bei Grossanlagen, beispielsweise beim Ausfall von Abluftreinigungsanlagen, führen oft zu sehr hohen Emissionen, die heute noch toleriert werden. Obwohl heute sämtliche Dieselmotoren technisch ohne Weiteres mit Partikelfilter ausgerüstet werden können, gibt es immer noch Maschinen und Geräte, die von der Partikelfilterpflicht ausgenommen sind. Einen Sonderfall stellen schliesslich die Ammoniakemissionen der Landwirtschaft dar. Ohne zusätzliche Bau-, Ausrüstungs- und Betriebsvorschriften werden sie nicht im nötigen Ausmass vermindert werden können.

Um die verfassungsmässigen Immissionsziele für alle Schadstoffe zu erreichen, sind weitere erhebliche Emissionsreduktionen notwendig. Es ist jedoch abseh-

bar, dass allein mit der anlagebezogenen Vorsorge diese Ziele, trotz aller Weiterentwicklungen, nicht erreicht werden. Dafür wären auch Veränderungen ausserhalb des Regelungsbereiches des Umweltschutzgesetzes erforderlich.

Neue Immissionsgrenzwerte

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse können dazu führen, dass zusätzliche Immissionsgrenzwerte festgelegt oder die bestehenden Grenzwerte angepasst werden. Bei der bisher einzigen derartigen Änderung wurden 1998 die Grenzwerte für «Schwebestaub insgesamt» durch jene für Feinstaub (PM_{10}) ersetzt. In den letzten Jahren mehrten sich die Kenntnisse über die besondere Schädlichkeit der Feinstaubfraktion $\text{PM}_{2.5}$ (Partikel mit weniger als 2,5 Mikrometer Durchmesser) und bestimmter Inhaltsstoffe der Feinstaubpartikel. Die PM_{10} -Grenzwerte schützen offenbar nicht ausreichend vor gesundheitlichen Schädigungen. Vorgesehen ist daher ein zusätzlicher Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel von $\text{PM}_{2.5}$.

Weiter steht zurzeit auch die Frage eines Immissionsgrenzwertes für Ammoniak im Raum. Für diesen Schadstoff gilt zwar der Critical Level des «Göteborg-Protokolls», dieser entfaltet in der Praxis aber nicht die Wirkung eines Immissionsgrenzwertes der LRV.

Gesellschaftliche Entwicklungen

Die Luftreinhaltung kann nicht allein von einem technischen Standpunkt aus und losgelöst von anderen Bereichen der Politik und gesellschaftlichen Veränderungen betrachtet werden. Es bestehen vielfältige und enge Zusammenhänge mit anderen Gebieten unseres zunehmend anspruchsvollen Lebens. Die wirtschaftliche Entwicklung ist dabei ebenso wichtig wie grundlegende Änderungen von Arbeits- und Freizeitaktivitäten als Folge neuer Technologien. Wichtige Bereiche mit grossem Einfluss auf die Luftqualität sind die Energieproduktion, die Mobilität und die Landwirtschaft (→ Box). Die sich darin abzeichnenden oder möglichen Veränderungen dürften gesamthaft in den nächsten Jahrzehnten von mindestens so grosser Bedeutung für die Luftreinhaltung sein wie die Weiterentwicklung der vorsorglichen Emissionsbegrenzung.

9.3 Was tut sich beim Bund?

Weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit werden auf Bundesebene laufend neue Bestimmungen zur Luftreinhaltung evaluiert und je nach Ergebnis ins geltende Recht aufgenommen. Im Dezember 2016 genehmigte der Bundesrat eine Änderung des internationalen Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen. Die Schweiz verpflichtet sich damit, ihre Schwermetallemissionen weiter zu verringern. Mit der jüngsten Änderung der LRV vom 3. März 2017 wurde erlaubt, dass auch un-

Bereiche mit wesentlichem Einfluss auf die Luftqualität

Energieproduktion: Ungefähr 65 Prozent der in der Schweiz benötigten Energie stammt heute aus der Verbrennung von Erdölprodukten und Gas, was eine der Hauptquellen der gesamten Schadstoffemissionen darstellt. Die angestrebte Energiewende und das nun angenommene neue Energiegesetz haben unter anderem zum Ziel, die fossile Energie zu einem grossen Teil durch erneuerbare Energie zu ersetzen und den Gesamtenergieverbrauch durch Effizienzsteigerungen massiv zu senken. Die potentiell erzielbaren Emissionsreduktionen sind, auch bei nur teilweiser Umsetzung, gross. Der positive Effekt der Energiewende auf die Emissionen könnte geschmälert werden, falls für den Ersatz der atomaren Energie neue Gaskraftwerke gebaut würden.

Mobilität: Alle Veränderungen der Mobilität wirken sich stark auf den motorisierten Verkehr und damit auf die gesamten Emissionen aus. Dem wachsenden Mobilitätsbedürfnis der Bevölkerung wird vor allem mit der Raumplanung (z.B. Eindämmung der Zersiedelung) und der Infrastrukturpolitik begegnet. Die lufthygienische Wirkung dieser Instrumente ist vermutlich nicht allzu gross. Von wachsender Bedeutung sind die Fahrzeuge mit alternativen, emissionsarmen Antrieben wie Elektro- oder Wasserstoffmotor oder Brennstoffzellen. Die grössten Zuwachsraten verzeichnen momentan die Elektroautos. Die damit resultierende Emissionsreduktion ist stark abhängig davon, wie der dafür benötigte Strom produziert wird.

Landwirtschaft: Die Landwirtschaft ist seit Jahren unter wirtschaftlichem Druck, und ihre langfristige Entwicklung ist ungewiss. Grössere Veränderungen in der Intensiv-Tierhaltung mit direkter Auswirkung auf die Ammoniakemissionen sind nicht ausgeschlossen. Im Dezember 2016 kündigte der Bundesrat an, die Erreichung der Umweltziele der Landwirtschaft zu verbessern. Die festgelegten Stossrichtungen werden bei der Weiterentwicklung der Agrar- und der Umweltpolitik berücksichtigt werden.

behandeltes Altholz aus Garten und Landwirtschaft in privaten Feuerungen verbrannt werden darf. Eine nächste, ausserordentlich umfangreiche Revision der LRV befindet sich zurzeit in Vernehmlassung und

soll 2018 in Kraft treten. Viele der vorgesehenen Änderungen betreffen Feuerungsanlagen; vor allem die kleineren Holzfeuerungen sollen strenger reglementiert werden. In Ölfeuerungen bis 5 MW Leistung darf nur noch das schadstoffarme Ökoheizöl verbrannt werden. Die Partikelfilterpflicht wird nun endlich für alle Maschinen und Geräte, mit und ohne Strassenzulassung, gelten (Abgasnorm Stufe V, gilt europaweit). Für Asphaltmischanlagen werden spezielle Emissionsgrenzwerte vorgeschrieben. Schliesslich ist vorgesehen, den von der WHO empfohlenen Richtwert für PM_{2.5} als Immissionsgrenzwert einzuführen. Die geplanten Änderungen haben wesentliche Auswirkungen auf die Emissionen und Immissionen. Es wird erwartet, dass allein durch die Reduktion der Feinstaubimmissionen Gesundheitskosten von mehreren Hundert Millionen Franken vermieden werden können.

9.4 Der Einfluss des Kantons

Den grössten Einfluss kann der Kanton beim Vollzug der eidgenössischen Vorschriften ausüben. Mit der Durchsetzung der geltenden Gesetze konnten grosse Erfolge erzielt werden. Diese Arbeit gilt es konsequent weiterzuführen.

Der mögliche direkte Einfluss des Kantons auf die Luftqualität ist abhängig von der Lebensdauer der Luftschadstoffe und ihrer räumlichen Verbreitung. Für die Immissionen von NO₂ und Feinstaub sind die nationalen und internationalen Emissionen bestimmend, so dass der Kanton hier mit eigenen Massnahmen nur wenig ausrichten kann. Noch viel beschränkter ist der Handlungsspielraum beim Ozon, für welches die gesamteuropäischen Verhältnisse ausschlaggebend sind. Bei diesen Schadstoffen ist vor allem der Bund gefordert, wobei auch internationale Vereinbarungen eine wichtige Rolle spielen. Ein grosses Potential auf Stufe Kanton besteht dagegen beim Ammoniak, dessen Immissionen durch die lokalen und regionalen Emissionen bestimmt sind.

Das mit dem Umweltschutzgesetz eingeführte Instrument der Massnahmenplanung hat schweizweit die Erwartungen nicht erfüllen können. Vor allem die von Verkehrsanlagen verursachten übermässigen Immissionen hätten damit schon längst beseitigt werden sollen. Den Kantonen fehlen jedoch die weitreichenden Kompetenzen, die dafür nötig wären, und auch am politischen Willen dürfte es mangeln. Es scheint auch wenig sinnvoll, wenn die Kantone dieses allgemeine Problem allein lösen müssen. Die Wirkung, die der Massnahmenplan des Kantons Solothurn heute noch entfaltet, dürfte gering sein. Ein nächster Massnahmenplan wird sich voraussichtlich vor allem der Ammoniakemissionen annehmen, bei welchen das grösste Potential zur Emissionsreduktion durch kantonale Massnahmen besteht.



Weiterführende Informationen

Kanton Solothurn

- www.luftqualitaet.ch
Aktueller Zustand der Luftqualität (Messwerte der automatischen Stationen und berechnete Karten) in den Kantonen Aargau, Basel-Stadt, Basel-Landschaft, Solothurn, Bern und Jura, Archiv der Messdaten.
- www.afu.so.ch/daten-und-karten/luft
Daten, Karten und Berichte zum Zustand der Luft im Kanton Solothurn.

Bund

- www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--aktuelle-daten.html
Aktuelle Messdaten des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL).
- www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/luft.html
Jahresberichte des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL).
- Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, Ed.), Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Bern, 168 S.
- Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2007: Feinstaub in der Schweiz. Statusbericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern, 141 S.
- Bundesrat 2009: Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes, Bericht vom 11. September 2009 zur Motion 00.3184 der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie, BBl 2009 6586.
- Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2010: 25 Jahre Luftreinhaltung auf der Basis des Umweltschutzgesetzes. Thesen und Empfehlungen, Bern, 122 S.
- Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2014: Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge, Bern, 62 S.
- Felber Dietrich D. 2014: Luftverschmutzung und Gesundheit. Übersicht zu den Auswirkungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1425: 15 S.

Europäische Union

- European Environment Agency (EEA): Air quality in Europe – 2014 report. EEA Report No 5/2014 (eea.europa.eu). ISBN 978-92-9213-489-1, ISSN 1977-8449, doi.10.2800/22775.



Glossar

Ammoniak

Chemische Verbindung aus einem Stickstoff- und drei Wasserstoffatomen (chemisches Symbol NH_3).

Ammoniak ist ein stechend riechendes, farbloses Gas. Sein Geruch ist unter anderem von Tierexkrementen wohl bekannt. Das meiste Ammoniak in der Luft entsteht in der Landwirtschaft. In den bei uns auftretenden Konzentrationen ist das Ammoniak für den Menschen nicht schädlich, es führt aber zu teilweise hohen Stickstoffeinträgen und damit zu Überdüngung. Dadurch können Ökosysteme geschädigt werden.

Critical Level

In der internationalen Konvention über grenzüberschreitende Luftverunreinigungen festgelegte Immissionsbegrenzung.

Es gibt zahlreiche Critical Levels für verschiedenste Schadstoffe, unter anderem die beiden Werte für Ammoniak zum Schutz von Flechten und Moosen einerseits und höheren Pflanzen andererseits. Diese Begrenzungen gelten in empfindlichen Ökosystemen, aber nicht in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten oder Siedlungen. Critical Levels werden als Massenkonzentrationen angegeben (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Critical Load

In der internationalen Konvention über grenzüberschreitende Luftverunreinigungen festgelegte Begrenzung für den Schadstoffeintrag über die Luft.

Von Bedeutung ist vor allem die Begrenzung für die stickstoffhaltigen Verbindungen. Diese Schadstoffe führen zu Überdüngung und können dadurch Ökosysteme schädigen. Schadstoffeinträge werden als

eingetragene Masse pro Fläche und Zeiteinheit angegeben (in $\text{kg}/\text{ha}/\text{Jahr}$).

Deposition

Vorgang, bei dem Schadstoffe aus der Luft entfernt und in Materie an der Erdoberfläche (Gewässer, Boden, Vegetation, Lebewesen) gebunden werden (kann als Gegenteil der Emission betrachtet werden). Schwerere Staubpartikel sinken wegen ihres Gewichts ab und lagern sich auf Oberflächen ab. Gasförmige Schadstoffe und ganz feine Partikel werden entweder mit dem Regen oder dem Schnee aus der Luft ausgewaschen, oder sie werden von Lebewesen aufgenommen, oder sie reagieren mit Oberflächen. Depositionen werden als abgelagerte oder gebundene Masse pro Zeiteinheit und Flächeneinheit angegeben (in $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ oder $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$).

Emission

Vorgang, bei dem Schadstoffe von einer Quelle in die Luft austreten.

Je nachdem, wie ausgedehnt die Austrittsfläche ist, spricht man von gefassten (z.B. Kamin oder Auspuff) oder diffusen (z.B. frisch gestrichene Wand oder Wald) Emissionen. Emissionen werden als freigesetzte Masse pro Zeiteinheit angegeben (z.B. in kg/h oder t/Jahr).

Emissionskataster

Verzeichnis von Emissionen, in welchem die Quellen und ihre Emissionen nach ihrem Ort erfasst sind.

Der Kanton Solothurn führt einen Emissionskataster, der die Emissionen der relevanten Schadstoffe jedes Quellentyps pro Hektar (Fläche von $100 \times 100 \text{ m}$) aus-

weist. Die Emissionen werden nach gleichartigen Quellentypen (Industrie/Gewerbe, Haushalte, Verkehr, Land-/Forstwirtschaft, biogene Quellen) gruppiert. Der Kataster wird alle fünf Jahre aktualisiert.

Feinstaub

Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern. Feinstaub wird deshalb auch als PM10 bezeichnet.

Feinstaubpartikel können fest oder flüssig oder auch beides gleichzeitig sein. Sie sind so klein, dass sie in der Luft schweben. Beim Einatmen können sie bis in die Lunge vordringen, weshalb sie für den Menschen besonders problematisch sind.

Flüchtige organische Verbindungen

Gruppe von chemischen Verbindungen (abgekürzt VOC, von englisch volatile organic compound), die leicht verdampfen und daher schon bei atmosphärischen Bedingungen als Gas vorliegen.

VOC bestehen vor allem aus Kohlenstoff und Wasserstoff, können aber auch Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Fluor, Brom oder Schwefel enthalten. Zu den VOC gehören beispielsweise Methan, Alkohol, Benzol und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Fast alle Lösungsmittel sind VOC. VOC stellen Vorläuferschadstoffe für die Ozonbildung dar. Viele sind giftig. FCKW sind verantwortlich für die Zerstörung des stratosphärischen Ozons (Ozonloch).

Immission

Schadstoff am Ort seines Einwirkens auf Mensch oder Umwelt.

Immissionen gasförmiger Schadstoffe und ganz feiner, schwebender Partikel (Feinstaub) werden meist als Massenkonzentration (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) angegeben, Immissionen schwererer, absinkender Partikel und ihrer Inhaltsstoffe als Deposition. Die Immissionen an einem bestimmten Ort setzen sich in der Regel aus den Beiträgen von sehr vielen Quellen zusammen.

Immissionsgrenzwert

Grenzwert der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) zur Beurteilung von schädlichen oder lästigen Einwirkungen.

Immissionsgrenzwerte müssen so festgelegt werden, dass nach Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden, die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören, Bauwerke nicht beschädigen und die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen. Die Luftreinhalte-Verordnung legt Immissionsgrenzwerte für zehn Schadstoffe fest. Immissionsgrenzwerte werden entweder als Massenkonzentrationen oder als Depositionen angegeben.

Inversion

Zustand der Atmosphäre, in dem die Lufttemperatur in einer bestimmten Schicht mit der Höhe zunimmt. Im Normalfall nimmt die Lufttemperatur mit der Höhe wegen des sinkenden Luftdrucks ab. Inversionen treten deshalb nur bei besonderen meteorologischen Bedingungen auf. In einer Inversion ist die Luft stabil geschichtet. Eine vertikale Durchmischung durch Turbulenz findet kaum statt. Schadstoffe können daher Inversionsschichten nicht mehr verlassen. Länger dauernde Inversionen treten fast nur im Winter auf.

Leitschadstoffe

Die Schadstoffe, auf die sich die Anstrengungen der Luftreinhalte konzentrieren.

In der Schweiz werden zurzeit die Stickoxide (NO_x), Ozon (O_3), Feinstaub (PM10) und Ammoniak (NH_3) als Leitschadstoffe betrachtet. Der Kanton Solothurn überwacht deren Immissionen durch Messungen. Weitere Schadstoffe werden vom Bund und von Forschungsinstitutionen untersucht.

Luftverunreinigungen

Nach Definition des Umweltschutzgesetzes «Veränderungen des natürlichen Zustandes der Luft, namentlich durch Rauch, Russ, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe, Geruch oder Abwärme».

Luftverunreinigungen sind also immer vom Menschen verursacht. Bestandteile der Luft natürlicher Herkunft werden dagegen nicht zu den Luftverunreinigungen gezählt.

Luftqualität

Eigenschaft der Luft in Bezug auf Schädlichkeit und Lästigkeit ihrer Schadstoffkonzentrationen.

Die Luftqualität nimmt mit zunehmenden Immissionen kontinuierlich ab. Verfassungsmässiges Ziel ist eine unbedenkliche Luftqualität, d.h. ein Mass an Immissionen, das weder schädlich noch lästig ist.

Luftreinhalte

Die Gesamtheit der Bestrebungen für die von der Verfassung verlangte ausreichend gute Luftqualität.

Luftreinhalte ist ein Teilgebiet des Umweltschutzes. Dazu gehören die Gesetzgebung genauso wie die Kontroll- und Überwachungstätigkeit der Behörden und die Entwicklung und der Betrieb technischer Einrichtungen zur Emissionsbegrenzung.

Massnahmenplan

Behördlicher Plan mit den Massnahmen, die geeignet sind, um übermässige Immissionen von mehreren Anlagen oder einer Strasse zu reduzieren oder zu beseitigen.

Der Kanton Solothurn hat (wie fast alle anderen Kantone) einen Massnahmenplan erarbeitet und aktualisiert ihn von Zeit zu Zeit. Der aktuelle «Luftmassnahmenplan» stammt aus dem Jahr 2008.

Ozon

Chemische Verbindung aus drei Sauerstoffatomen (chemisches Symbol O_3).

Ozon kommt natürlicherweise in der Atmosphäre vor, hauptsächlich in der stratosphärischen Ozonschicht in grosser Höhe. Schadstoffe in der Luft wie Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen führen zur verstärkten Bildung von Ozon. Ozon ist ein Reizgas und greift in höherer Konzentration den Atemtrakt an.

Quellen

Objekte, welche Schadstoffe in die Atmosphäre abgeben.

Dazu gehören technische Einrichtungen, wie Motoren, Feuerungen, industrielle und gewerbliche Anlagen, aber auch Tätigkeiten, wie z.B. der Gebrauch von Farben und Chemikalien, das Asphaltieren von Strassen oder das Güllen von Wiesen, sowie natürliche Objekte, wie z.B. Tiere, Pflanzen, Ökosysteme, Blitze oder Vulkane.

Schadstoff

Chemischer Stoff (Element, Verbindung oder Gemisch) in der Atmosphäre, der in höherer Konzentration eine schädliche oder lästige Wirkung auf Mensch oder Umwelt haben kann.

Schadstoffe sind entweder gasförmig oder bestehen aus festen, flüssigen oder gemischt festflüssigen Partikeln. Es gibt Tausende von verschiedenen Schadstoffen. In der Praxis konzentriert man sich auf ein gutes Dutzend.

Sekundärer Schadstoff

Ein sekundärer Schadstoff entsteht erst in der Luft durch chemische oder physikalische Umwandlungen von primären Schadstoffen.

Primäre Schadstoffe werden jene genannt, die von einer Quelle an die Atmosphäre abgegeben werden. Der wichtigste sekundäre Schadstoff ist Ozon. Auch rund die Hälfte der Feinstaubpartikel werden erst in der Atmosphäre gebildet.

Sommersmog

Spezielle Immissionssituation mit hohen Ozonkonzentrationen bei starker Sonneneinstrahlung.

Unter Sonneneinstrahlung bilden sich aus Vorläuferschadstoffen, vor allem Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen, durch photochemische Reaktionen Ozon und andere Photooxidantien. Bei länger dauernden Schönwetterperioden können die täglichen Spitzenwerte dieser Schadstoffe immer weiter ansteigen, bis ein Wetterumschwung wieder Abhilfe schafft. Sommersmog kann vom Frühling bis zum Herbst auftreten.

Stickoxide

Gasförmige Verbindungen von Stickstoff (N) und Sauerstoff (O).

In der Luftreinhaltung interessieren vor allem Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2). Diese stammen fast ausschliesslich von der Verbrennung von fossilen Brenn- und Treibstoffen. NO wandelt sich in der Luft in NO_2 um. Bei den Immissionen wird meist nur das für den Menschen schädlichere NO_2 betrachtet.

Transmission

Übergang von der Emission zur Immission durch Ausbreitung der Schadstoffe.

Nach der Freisetzung wird die mit Schadstoffen belastete Luft vom gerade herrschenden Wind erfasst und weggeweht. Die Turbulenz der Luft bewirkt eine Durchmischung und damit eine Verdünnung der Schadstoffe senkrecht zur Windrichtung (horizontal und vertikal). So verteilen sich die Schadstoffe auf ein mehr oder weniger grosses Gebiet, wo sie in Bodennähe als Immissionen in Erscheinung treten. Während der Ausbreitung werden die Schadstoffe umgewandelt. Je länger ihre Lebensdauer, umso grösser ist das Gebiet, über welches sich die Schadstoffe verteilen können.

Turbulenz

Verwirbelung der Luft von unregelmässiger Natur durch Strömungshindernisse an der Erdoberfläche oder durch Temperaturunterschiede.

Je turbulenter die Luft, umso besser können die Schadstoffe mit der Luft durchmischt und dadurch verdünnt werden. Bei geringer Turbulenz ist die Luft stabil geschichtet und die Schadstoffe bleiben in der Schicht, in der sie freigesetzt werden, gefangen. Bei grosser Turbulenz verteilen sich die Schadstoffe gut und es resultieren verhältnismässig geringe Immissionen.

Übermässige Immission

Immissionskonzentration, die einen der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung oder einen Critical Level übersteigt.

Bei Schadstoffen, für die keine Grenzwerte existieren, muss die Übermässigkeit aufgrund allgemeiner Kriterien im Einzelfall beurteilt werden. Gerüche gelten als übermässig, wenn aufgrund einer Erhebung feststeht, dass sie einen wesentlichen Teil der Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich stören.

Vorläuferschadstoff

Schadstoff, der zur Bildung eines sekundären Schadstoffs führt.

Die wichtigsten Vorläuferschadstoffe sind Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen. Durch komplizierte chemische Reaktionen führen sie zur Bildung von Ozon und anderen Photooxidantien.

Vorsorge

Emissionsbegrenzung durch Massnahmen bei der Quelle, soweit technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar.

Die vom Umweltschutzgesetz verlangte vorsorgliche Emissionsbegrenzung nach bestem Stand der Technik gilt, unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung, für alle Anlagen gleichermassen und auch ohne konkrete Gefährdung.

Wintersmog

Spezielle Immissionssituation im Winter, bei welcher die Schadstoffkonzentrationen über Tage hinweg immer stärker ansteigen.

Problematisch beim Wintersmog sind hauptsächlich die Immissionen von Feinstaub, da dieser im Winter von den Heizungen in grösseren Mengen emittiert wird. Voraussetzung für Wintersmog sind besondere meteorologische Bedingungen, allen voran eine starke, lang andauernde Inversion.

Impressum

Herausgeber, Bezugsquelle

Amt für Umwelt des Kantons Solothurn

Werkhofstrasse 5
4509 Solothurn
Telefon +41 32 627 24 47
afu@bd.so.ch
www.afu.so.ch

Projektleitung

Markus Chastonay, Amt für Umwelt

Projektbegleitung

Rolf Stampfli, Amt für Umwelt
Rosmarie Zimmermann, Amt für Umwelt

Text und Konzept

Dr. Hans Ramseyer, Tensor Consulting AG, Bern

© by

Amt für Umwelt 2017

