

Datenermittlung / Emissionsanteile

Methodik / Quellengruppen

Die Erstellung eines Emissionskataster (EKat) setzt eine räumliche und zeitliche Gliederung des darzustellenden Gebietes sowie eine Festlegung der betrachteten Schadstoffe voraus. Zusätzlich müssen die verschiedenen Emittenten den einzelnen Quellengruppen zugeteilt werden. Danach werden die Emissionen aufgrund verschiedenster Grundlagendaten in einem eigens dazu erstellten EDV-Programm berechnet.

In der Datenbank 'EKat' werden die Angaben aus verschiedenen Grundlagen verwendet (vgl. Kasten). Die Eingabedaten (Input) für den Ekat liegen als Punkt-, Linien- oder Flächendaten vor und werden in der Datenbank als Emissionen pro Gemeinde und Hektaren (100m x 100m-Raster) berechnet.

Grundlagendaten

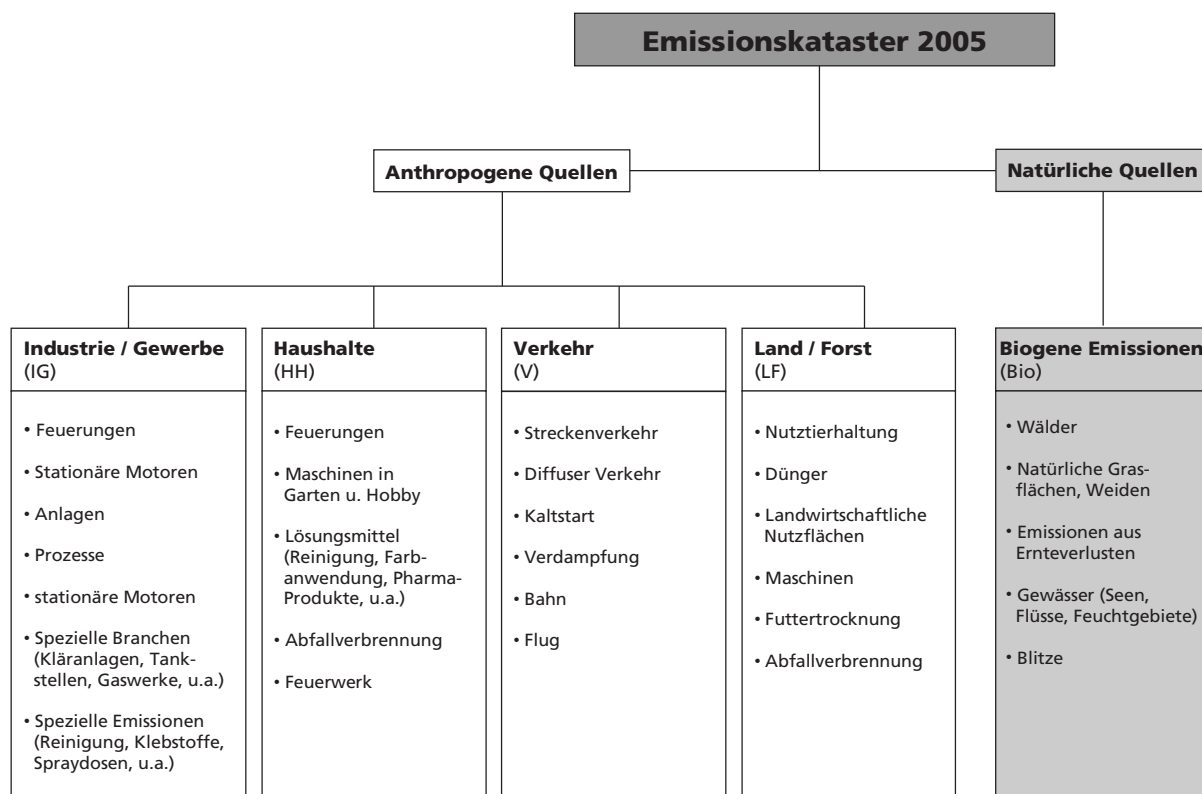
- Bundesamt für Statistik BFS
- Bundesamt für Umwelt BAFU
- diverse Amtsstellen Kt. Solothurn (u.a. Raumplanung, Verkehr, Landwirtschaft, Umwelt, Energie, Forst, Statistik, Geoinformation)
- Kant. Motorfahrzeugkontrolle
- Oberzolldirektion, Bern
- Industrie- und Gewerbebetriebe
- diverse weitere

Die Emissionsberechnungen werden entweder mittels top-down-Ansatz oder bottom-up-Ansatz ermittelt. Der top-down-Ansatz verwendet gesamtschweizerische Zahlen, welche mit geeigneten Definitionen auf das Kantonsgebiet und auf ädäquate Flächen wie Hektaren oder Polygone umgerechnet werden. Der bottom-up-Ansatz benützt Emissionsfaktoren und wendet diese auf bestimmte Parameter pro Flächeneinheit an. Die berechneten Emissionen werden als Tabellen pro Gemeinde, Schadstoff und Quellengruppe dargestellt. Die räumliche Verteilung der Emissionen pro Hektare ist ein zweites Resultat, das für die Visualisierung und weitere Anwendungen benutzt wird.

Emissionsermittlung und Darstellung

Die Emittenten lassen sich in vier anthropogene (= durch den Menschen verursachte) und eine biogene (= durch natürliche Prozesse bewirkte) Quellengruppen einteilen. Diese werden weiter in Untergruppen aufgeteilt (Abb. 1).

Abb. 1:
Übersicht der Quellengruppen sowie deren Unterteilung in Untergruppen.



Industrie und Gewerbe (IG)

Umfrage bei Betrieben

Eine auf die wesentlichen Firmen gestützte Umfrage mit allgemeinen und branchenspezifischen Fragebogen lieferte für den Emissionskataster 2005 wichtige Angaben über den Schadstoffausstoss aus Industrie und Gewerbe. Von den ca. 600 angeschriebenen Solothurner Betriebe antworteten rund 80% auf die Umfrage. Aus diesen Antworten wurden – unter Berücksichtigung betriebsspezifischer Gegebenheiten – die Emissionen in der Datenbank „Uplus“ (Vollzugstool Industrie und Gewerbe) berechnet. Alle Betriebe erhielten einen allgemeinen Fragebogen zu Art und Verbrauch von Brennstoffen sowie zum Feuerungssystem.

Ortsbezug der Emissionen

Die ortsgebundenen Emissionen (stationäre Anlagen nach Art. 2 LRV) wurden als Punktquelle im entsprechenden Hektar-Rasterfeld und der Standortgemeinde angerechnet. Bei Stoffen, welche nicht standortgebunden emittiert werden, wurden die Emissionen gleichmässig auf diejenigen Hektaren verteilt, in denen mindestens eine der beitragenden Branchen gemäss Betriebszählung (BFS) vertreten ist.

Spezielle Grossbetriebe: Messen und Vergleichen

Für grosse, lufthygienisch relevante Betriebe wurden die Emissionen einzeln ermittelt. Teilweise erfolgte dies durch Messungen oder Vergleichswerte, da nicht für alle die Emissionen direkt aus Art und Menge der verwendeten Stoffe abgeleitet werden können. Hier bildeten Messungen und Vergleiche mit anderen schweizerischen Firmen gleicher Art die Berechnungsgrundlagen.

Quellenuntergruppen

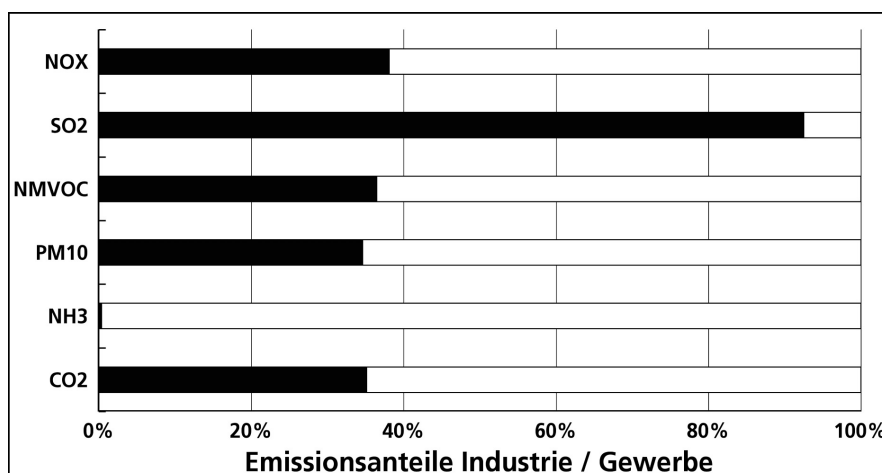
Die diversen Emissionsquellen werden folgenden 4 Untergruppen zugeordnet:

- Anlagen und Prozesse: Emissionen können nicht eindeutig einer oder weniger Branchen zugeordnet werden (u.a. Industrie-Feuerungen, stationäre Motoren, Metallreinigung).
- Branchen: Emissionen aus Branchen bzw. aus wenigen Branchen oder aus branchentypischen Anlagen wie bspw. Kehrrichtverbrennungsanlagen, Verzinkereien, Farbanwendung Bau, Coiffeursalons.
- Spezielle Branchen: Emissionen aus Branchen, welche grösstenteils nicht in der Datenbank „Uplus“ erfasst sind und/oder keine Mess- bzw. Kontrollpflicht gemäss LRV besteht wie bspw. Kläranlagen, Deponien, Gaswerke, medizinische Praxen.
- Spezielle Emissionen: Emissionen über alle Branchen, welche grösstenteils nicht in „Uplus“ erfasst sind (u.a. Gebäudereinigung, Spraydosen in Industrie/Gewerbe, Klebstoff-Anwendung).

Weitere wichtige Emissionsquellen der Quellengruppe Industrie und Gewerbe stellen stationäre Motoren, Tankstellen und Baumaschinen dar. Letztere sind eine wichtige Emissionsquelle für Stickoxide NO_x und Feinstaub PM_{10} . Angaben über Art, Einsatzort und -dauer sowie deren Verbrauch an fossilen Energieträgern wurden ebenfalls mittels Fragebogen erhoben.

Abb. 2:
Anteile an den Gesamtemissionen 2005
von Industrie und Gewerbe (IG) pro
relevantem Luftschadstoff [%].

Die Abbildung zeigt deutlich, dass die Quellengruppe Industrie und Gewerbe bezüglich der Anteile an den Gesamtemissionen bei fast allen relevanten Schadstoffen wesentlich ist.



Haushalte (HH)

Die Quellengruppe Haushalte wird in folgende 4 Untergruppen eingeteilt:

- Hausfeuerungen
- Maschinen in Garten und Hobby
- Lösungsmittel
- Abfallverbrennung (illegal)

Als Grundlage zur Berechnung des Schadstoffausstosses der Hausfeuerungen diene die interne Datenbank „OLKO“ (Rapportierung Feuerungskontrolle der Gemeinden). Mit Hilfe dieser Daten, weiteren Charakteristiken zu den Gemeinden (Höhe über Meer, Zugehörigkeit zu Klimaregion, Heizgradtage), Emissionsfaktoren der Feuerungen sowie mittels diversen Energiestatistiken des Bundes (Gesamtenergiestatistik, Holzenergiestatistik) lassen sich durch Aufsummierung über die verschiedenen Energieträger die Emissionen der Hausfeuerungen pro Gemeinde berechnen. Diese Emissionen pro Gemeinde werden auf die Hektaren pro Gemeinde gemäss der Gebäudezählung des Bundes (BFS) verteilt.

Innerhalb der Quellengruppe Haushalte werden sowohl die Schwefeldioxid (SO₂)- als auch die Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen fast ausschliesslich durch die Feuerungen verursacht. Schwefeldioxid SO₂ stammt hauptsächlich aus den Oelfeuerungen, das klimarelevante Kohlendioxid aus den Oel- und den Gasfeuerungen, das biogene Kohlendioxid aus den Holzfeuerungen (Abb. 3).

In dieser Untergruppe werden die Emissionen der 2- und 4-Takt-Maschinen sowie der diesel- und gasbetriebenen Motoren berechnet. Im Vergleich zu den Feuerungen spielen die Maschinen in Garten und Hobby eine untergeordnete Rolle. Ausnahmen bilden die Schadstoffe Kohlenmonoxid CO mit 40% und die nicht-methanischen Kohlenwasserstoffe NMVOC mit rund 25% Anteil an der Gesamtemission der Quellengruppe Haushalte.

Die Emissionen der Untergruppe Lösungsmittel entstehen durch tägliche Verhaltensweisen des Menschen wie Verbrauch von Körperpflege- und Reinigungsmitteln. Auch im Do-it-yourself-Bereich werden mit Farben, Lacken, Leim und so weiter Luftschadstoffe, insbesondere Kohlenwasserstoffe, freigesetzt.

Für die Berechnung werden die gesamtschweizerischen Emissionen aus der Verbrennung von Abfall in Haus und Garten (illegal) und Feuerwerk anhand entsprechender Emissionsfaktoren verwendet. Mit Hilfe der Einwohnerzahl pro Hektare aus der Volkszählung und der Arealstatistik lassen sich die Emissionen auf das Raster und auf die Gemeinden verteilen.

Verursachergruppen

Hausfeuerungen

Maschinen in Garten und Hobby

Lösungsmittel

Abfallverbrennung

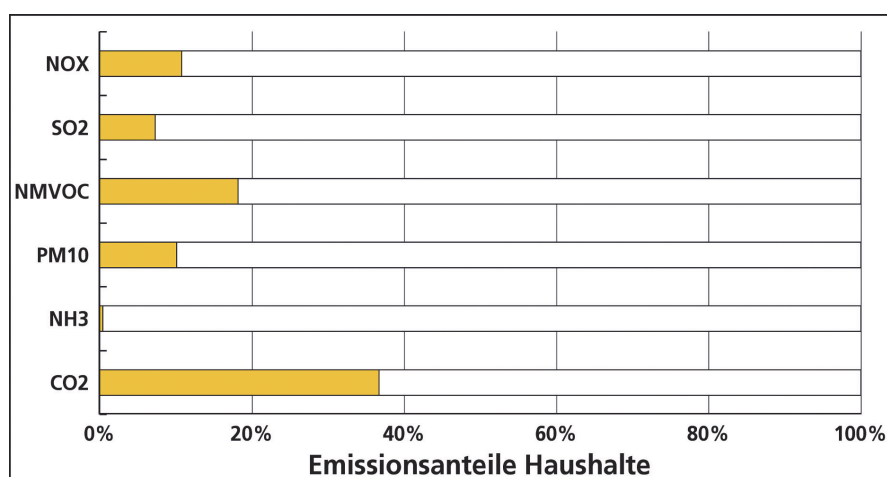


Abb. 3:
Anteile an den Gesamtemissionen 2005 der Haushalte (HH) pro relevantem Luftschadstoff [%].

Bei der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser entstehen in den Hausfeuerungen durch den Verbrennungsprozess verschiedene Schadstoffe und auch das Treibhausgas Kohlendioxid CO₂.

Während für die halogenierten Kohlenwasserstoffe NMVOC vor allem die Lösungsmittel und die Maschinen verantwortlich sind.

Verkehr (V)

Eckzahlen zum Strassenverkehr

143'250 Personenwagen bis 3'500 kg waren für das Jahr 2005 im Kt. Solothurn registriert. Dazu kommen 2'532 schwere Motorwagen und 17'288 Motorräder. Zwischen 2000 und 2005 hat im Kanton Solothurn der Personenwagenbestand um jährlich durchschnittlich 2'390 Fahrzeuge zugenommen, das bedeutet pro Tag 6 bis 7 zusätzliche Autos. 1995 besaßen 1'000 Solothurner Einwohner 492 Personenwagen, im Jahr 2000 waren es bereits 534 PW. 2005 waren es 580 PW, was einer jährlichen Zunahme ab 2000 von 1.7 % entspricht.

Quellenuntergruppen

Die diversen Emissionsquellen werden folgenden Untergruppen zugeordnet:

- Strassenverkehr, welcher sich aus Streckenverkehr, Diffuser Verkehr, Kaltstarts und Verdampfungsverluste zusammensetzt.
- Bahnverkehr
- Flugverkehr

Strassenverkehr

Die Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs wurden mittels Emissionsfaktoren (BAFU 2004, Version 2.1) berechnet. Diese Faktoren basieren auf streckenbezogenen Verkehrssituationen. Die Situationen wiederum wurden mit typischen Fahrmustern und die dazugehörigen Emissionsverhalten der Fahrzeuge zugeordnet. So erhält man schliesslich Emissionsfaktoren pro Fahrzeugklasse (PW, LKW, usw.) und Schadstoff in Abhängigkeit der Verkehrssituation. Es wurden drei Hauptgruppen unterschieden: Autobahnen, Ausserorts- und Innerortsituationen. Man unterscheidet weiter u.a. in Tempo, Steigung, Stop-and-go-Verkehr.

Als weitere Grundlage wurde das Inventar des übergeordneten kantonalen Strassennetzes verwendet. Dieses basiert auf drei bestehenden Verkehrsmodellen. Das Strassennetz besteht aus rund 2'700 Strecken. Den einzelnen Strecken sind die Verkehrsfrequenzen aus der kantonalen Zählung 2005 sowie der entsprechenden Verkehrssituation zugeordnet.

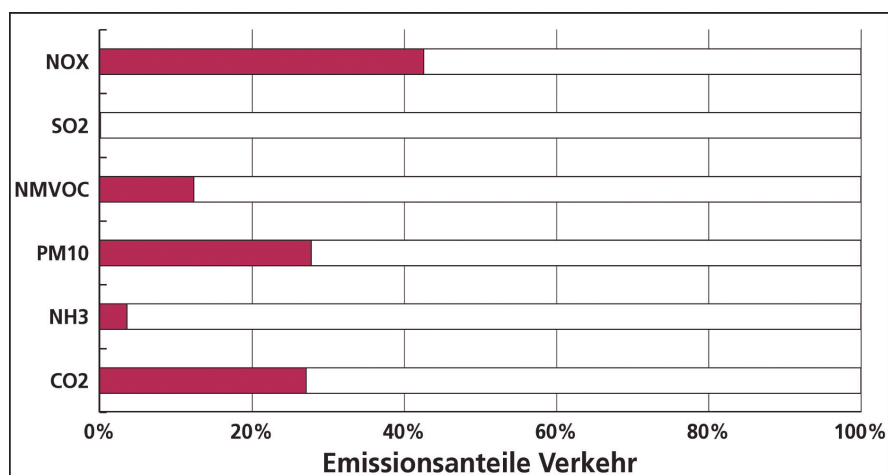
Der diffuse Verkehr umfasst Fahrten auf dem Strassennetz der Gemeinden. Die Berechnung basiert auf der Zoneneinteilung aus den Verkehrsmodellen, der Wohnbevölkerungsanteil dieser Zonen und der daraus resultierenden Fahrtenzahl, der durchschnittlichen Distanz zum übergeordneten Verkehrsträger sowie den entsprechenden Emissionsfaktoren für Innerortsstrassen. Beim Starten eines kalten Motors entstehen bei Benzinfahrzeugen zusätzliche Schadstoffe (Kaltstart). Personenwagen verursachen zudem auch dann Kohlenwasserstoff-Emissionen, wenn sie gar nicht in Betrieb sind (Verdampfungsverluste).

Bahn- und Flugverkehr

Aus dem Projekt zum Feinstaub (BUWAL 2002) sind die PM10-Emissionen des Schienenverkehrs verfügbar. Diese wurden auf das Schienennetz im Kanton Solothurn top-down gerechnet. Vom Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL stehen jährlich berechnete Emissionen aus dem Flugverkehr des Regionalflugplatzes Grenchen zur Verfügung.

Abb. 4:
Anteile an den Gesamtemissionen 2005
des Verkehrs (V) pro relevantem
Luftschadstoff [%].

Von Bedeutung in der Quellengruppe
Verkehr sind die Stoffe Stickoxide NO_x,
Feinstaub PM10 und Kohlendioxid
CO₂ mit einem Emissionsanteil von
über 20% an der Gesamtemission.



Land- und Forstwirtschaft (LF)

Die Quellengruppe Land- und Forstwirtschaft wird in die folgenden 4 Untergruppen eingeteilt:

- Nutztierhaltung
- Landwirtschaftliche Nutzflächen, Dünger
- Maschinen
- Abfallverbrennung

Für die Berechnung der Emissionen aus der Nutztierhaltung wurden Angaben aus der Agrardatenerhebung wie Betriebsstandorte und zugehörige Anzahl Tiere, das Modell „Dynamo“, Emissionsfaktoren zu den einzelnen Tiergruppen sowie weitere gesamtschweizerische Statistiken verwendet. Die Emissionen wurden einerseits als Punktquelle am Betriebsstandort (Stall) und andererseits als Flächenquelle auf dem Landwirtschaftsgebiet verteilt.

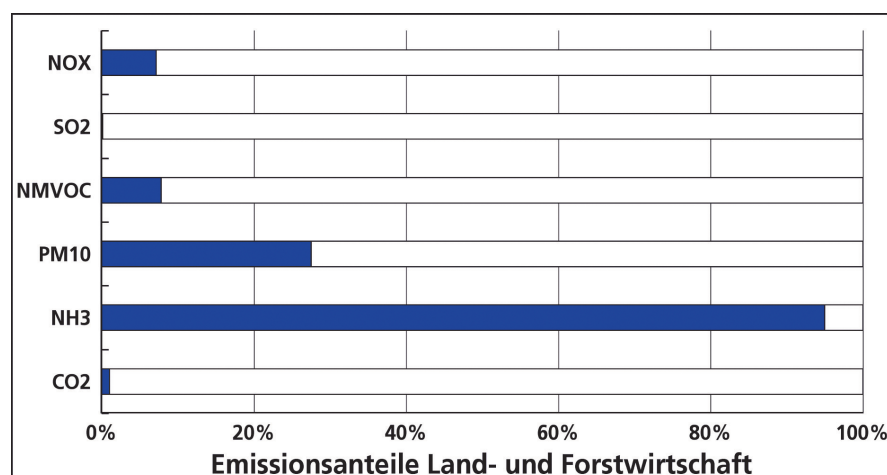
Bestimmend für die Art, Menge und Verteilung der Emissionen ist die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen: Bei Weiden sind es hauptsächlich die Exkremente und Verdauungsgase aus der Nutztierhaltung, während es bei Reb-, Obst- und Ackerbau die Düngung, der Insektizideinsatz sowie die Art der Bepflanzung als solches sind. Die Umsetzung auf das Raster erfolgte mit Hilfe der Landnutzungsklassen gemäss der Arealstatistik des Bundes.

Emissionen aus dem Einsatz von 2-Takt-, 4-Takt- und Dieselmotoren wurden ausgehend von den schweizerischen Emissionen und der Fläche in den entsprechenden Landnutzungskategorien gemäss Arealstatistik berechnet. Die Verteilung der Emissionen erfolgt über die beitragenden Hektaren und einer Gewichtung der Landnutzungsklassen.

Die Berechnung der Abfallverbrennung erfolgte über die gesamtschweizerischen Emissionen. Mit Hilfe der Arealstatistik wurden die Werte auf die Flächen der entsprechenden Landnutzungsklassen heruntergerechnet und auf die beitragenden Hektaren homogen verteilt.

Die Emissionen wurden so weit als möglich getrennt für die Land- bzw. Forstwirtschaft berechnet. Dies ermöglicht eine exaktere Umlegung der Emissionen auf das Hektarraster mit entsprechender Klassierung als Landwirtschafts- bzw. Waldfläche.

Die Landwirtschaft ist insbesondere für den Schadstoff Ammoniak NH_3 wichtigste Quellengruppe und ist zudem ein grosser Emittent von Feinstaub PM_{10} . Weiter ist sie Hauptverursacher der klimarelevanten Schadstoffe Methan CH_4 und Lachgas N_2O . Die Emissionen an Ammoniak und Methan stammen grösstenteils aus der Nutztierhaltung. Für die Freisetzung von Lachgas N_2O ist der Einsatz von Stickstoffdünger auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen verantwortlich. Das Kohlenmonoxid CO und die Stickoxide NO_x stammen hauptsächlich vom Einsatz land- und forstwirtschaftlicher Maschinen.



Verursachergruppen

Nutztierhaltung

Nutzflächen, Dünger

Maschinen

Abfallverbrennung

Verteilung der Emissionen

Relevante Schadstoffe aus Land- und Forstwirtschaft

Abb. 5:
Anteile an den Gesamtemissionen 2005 der Land- und Forstwirtschaft pro relevantem Schadstoff [%].

Die Anteile an den Gesamtemissionen liegen im Bereich unter 10%. Ausnahmen sind Ammoniak NH_3 und Feinstaub PM_{10} mit einem Anteil an der Gesamtemission von 95% bzw. ca. 28% sowie die Klimagase Methan CH_4 (70%) und Lachgas N_2O (83%).

Biogene Emissionen (Bio)

Was sind biogene Emissionen?

Vorgänge wie mikrobielle und chemische Prozesse in Böden und Gewässern, Ausscheidungen von Pflanzen und Tieren, Erosion, Waldbrände und Blitze führen zu Emissionen. Eine eindeutige Trennung von natürlichen und vom Menschen verursachte Emissionen ist nicht möglich. Vom Menschen gänzlich unbeeinflusste Vorgänge sind etwa vulkanische Eruptionen oder Blitze.

Zuordnung der Emissionen

Emissionen von Pflanzen und Tieren lassen sich bereits nicht mehr eindeutig zuordnen. Ohne menschliches Zutun würde sowohl die Vegetation als auch der Tierbestand anders aussehen. In Übereinstimmung mit schweizerischen und europäischen Katastern wurden die Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen und Böden sowie Nutztieren der Quellengruppe Land- und Forstwirtschaft zugeordnet.

Quellenuntergruppen

Die diversen Emissionsquellen werden folgenden Untergruppen zugeordnet:

- Wälder
- Natürliche Grasflächen und Weiden, natürliche Emissionen aus Ernteverlusten
- Gewässer (Seen, Flüsse, Feuchtgebiete)
- Blitze

Wälder

Pflanzen, insbesondere Nadelbäume, scheiden verschiedene Kohlenwasserstoffe NMVOC aus, die an der Blatt- und Nadeloberfläche verdunsten. Die Emissionsmenge ist von der Temperatur und Sonneneinstrahlung abhängig. Bei den NMVOC handelt es sich zur Hauptsache um Isopren und verschiedene Terpene. Aus Sicht der Umweltschädlichkeit weisen natürliche VOC gegenüber anthropogenen VOC-Emissionen ein geringeres Schadenpotential auf. Beispielsweise besitzen VOC in Abgasen von Motorfahrzeugen ein wesentlich höheres Ozonbildungspotential als VOC-Emissionen aus biogenen Quellen.

Mikroorganismen

Mikroorganismen in Boden und Gewässern bilden als Stoffwechsel- und Abbauprodukte 'Luftfremdstoffe'. So setzen die Bodenbakterien beim Abbau von Stickstoff-Verbindungen als Nebenprodukte Stickoxide NO_x frei. Ausserdem entsteht bei der Zersetzung von abgestorbenen Pflanzenteilen unter Luftabschluss Methan CH_4 .

Blitze

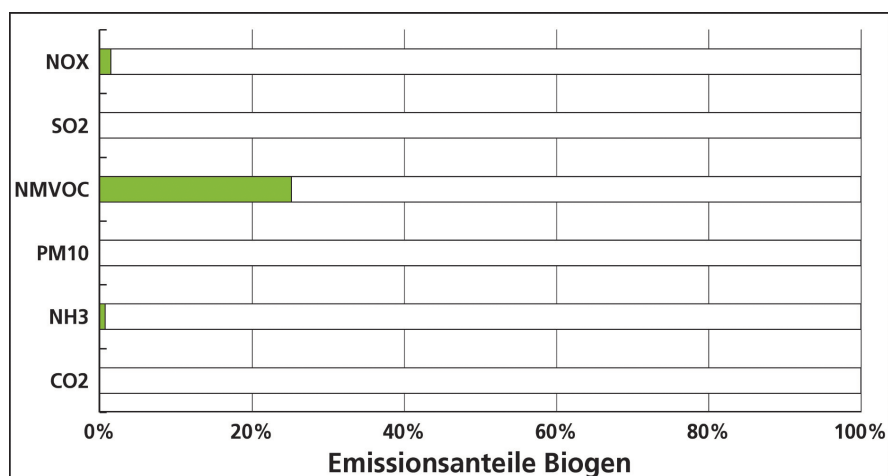
Die durch Blitzaktivität verursachten Stickoxid(NO_x)-Emissionen wurden unter Anwendung des Emissionsfaktors (BUWAL 1996) einheitlich über das ganze Kantonsgebiet ermittelt.

Relevanz der biogenen Emissionen

Die Emissionen aus den natürlichen Quellen sind wesentlich geringer als die anthropogenen Emissionen. Eine Ausnahme bilden die Kohlenwasserstoffe NMVOC, beträgt ihr Anteil an der Gesamtemission immerhin 25%. Allerdings lassen sich die biogenen Emissionen in der Regel nicht beeinflussen. Sie tragen aber trotzdem nicht unwesentlich zur Emissionsbilanz bei und werden deshalb ausgewiesen.

Abb. 6:
Anteile an den Gesamtemissionen 2005
der natürlichen Emissionen (Bio) pro
relevantem Luftschadstoff [%].

Mengenmässig von Bedeutung ist in dieser Quellengruppe der Anteil von rund 25% aller NMVOC-Emissionen. Weiter relevant sind Methan CH_4 mit 15% Anteil an der Gesamtemission und Lachgas N_2O mit 9%.



Qualitätssicherung / Plausibilitätsprüfung

Im Rahmen der Erstellung des Emissionskatasters für das Jahr 2005 (EKat SO 2005) hat METEOTEST im Jahr 2007 Konzept und Pflichtenheft für die Programmierung des Katasters erarbeitet. Die Programmierungen wurden 2008 durch das Amt für Geoinformation (SO!GIS-Koordination) vorgenommen und entsprechende Berechnungen durchgeführt. Die so erhaltenen Emissionssummen wurden durch METEOTEST auf ihre Plausibilität geprüft. Resultate und deren Prüfung wurden in einem Bericht dargestellt (METEOTEST 2008).

Die Schadstoffemissionen der verschiedenen Quellengruppen wurden hierfür mit verfügbaren Ekat-Zahlen anderer Kantone (u.a. BS/BL, ZH) sowie mit den Bundeszahlen validiert. Dabei war zu prüfen, ob die Emissionen beispielsweise pro Einwohner oder Arbeitsplatz in einem plausiblen Bereich liegen.

Beim Versuch die Emissionssummen des EKat SO 2005 mit den Zahlen aus den anderen Kantonen zu vergleichen, hat sich gezeigt, dass dies nicht sinnvoll durchgeführt werden kann. Die Einteilung der berechneten Emissionen der anderen Kantone in die Untergruppen gemäss EKat SO 2005 konnte nicht in der Form vorgenommen werden, dass vergleichbare Einteilungen vorlagen. So wurde auf einen Vergleich mit Zahlen aus anderen Kantonen verzichtet.

Die Schadstoffemissionen wurden für das Jahr 1980 erstmals berechnet und publiziert. Danach erfolgte die Aktualisierung in einem 5-jährigen Rhythmus. Seit dem Kataster Stand 2000 haben sich viele Datengrundlagen wesentlich geändert. So zeigte sich – analog zu den Zahlen anderer Kantone – dass ein Vergleich der Zahlen 2005 mit den Daten aus früheren Katastern nicht durchgeführt werden kann. Von der Darstellung zu Emissionsentwicklungen wurde deshalb in diesem Bericht abgesehen.

Auf die Darstellung der aus den Vergleichen mit den Bundeszahlen gewonnenen Erkenntnisse wird an dieser Stelle verzichtet. Vielmehr werden diese Ergebnisse im Kapitel „Resultate und Vergleiche“ als Teil der Diskussion aufgeführt.

Ausgangslage

Vorgehen

Vergleich mit anderen Kantonen

Vergleich mit früheren Katastern

Erkenntnisse aus Vergleiche mit Bundeszahlen

Georeferenzierung / Besonderheiten

Für die Plausibilisierung und Visualisierung der Emissionssummen wurden für die verschiedenen Schadstoffe die einzelnen Untergruppen aufaddiert. Es wurden mit den Summen der einzelnen Quellengruppen als auch mit den gesamtkantonalen Emissionssummen über alle Quellengruppen gerechnet.

Bei der Visualisierung sind alle Emissionen als Oberflächenemissionen dargestellt. Das bedeutet, dass beispielsweise Tunnelstrecken nicht zu erkennen sind, da die Verkehrsemissionen, welche im Tunnel ausgestossen werden, über die gesamte Länge der Tunnelstrecke verteilt wurden.

Weiter wurde im Bericht auf einige spezielle Gegebenheiten der Verteilung bzw. Zuweisung der Emissionen auf das Hektarraster hingewiesen. Insbesondere resultieren aus der Georeferenzierung mit Hilfe der Arealstatistik des Bundes gewisse „Abnormitäten“ beispielsweise beim Flugplatz Grenchen (vgl. Anhang Karte A-2 Stickoxid NO_x, Karte A-5 Feinstaub PM10) oder auch östlich von Solothurn (vgl. Anhang Karte A-3 Schwefeldioxid SO₂). Im Rahmen der Weiterentwicklung der Datenbank EKat ist geplant, die Arealstatistik durch die Daten der amtlichen Vermessung (AV) abzulösen.

Bei der Betrachtung der Methanemissionen (Karte A-9 Methan CH₄) fällt auf, dass vor allem im Raum Biberist die Emissionen pro Hektare grossflächig über 100 kg/ha liegen. Es hat sich gezeigt, dass diese sehr hohen Werte aus der Untergruppe der speziellen Branchen stammen und sie auf Grund des hohen Umsatzes von Erdgas in diesem Raum verursacht sind.

Prüfung der Georeferenzierung

Visualisierung der Emissionen

Arealstatistik

Methanemissionen