

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL)

# Emissionen 2020/2030

## Sensitivitätsanalysen

Technischer Bericht  
Zürich, 8. Oktober 2015

Jürg Heldstab  
Cuno Bieler

# **Impressum**

## **Emissionen 2020/2030**

Sensitivitätsanalysen

Technischer Bericht

Zürich, 8. Oktober 2015

B-2832a-AWEL-Sensitivitätsanalysen.docx

## **Auftraggeber**

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL)

Abteilung Lufthygiene

## **Projektleitung**

Gian-Marco Alt

## **Autorinnen und Autoren**

Jürg Heldstab

Cuno Bieler

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1. Ausgangslage</b>	<b>6</b>
<b>2. Methodisches</b>	<b>7</b>
2.1. Emissionsdatenbanken für Luftschadstoffe und Treibhausgase	7
2.1.1. AWEL-Emissionskataster	7
2.1.2. Emissionsinformationssystem Schweiz (EMIS)	8
2.1.3. Energieperspektiven und Klimaszenarien Schweiz	8
2.2. Szenarien für die Sensitivitätsanalysen	9
2.3. Erweiterte PolluMap-Kategorien	11
<b>3. Vorgehen</b>	<b>13</b>
3.1. Inputdaten BAFU	13
3.2. Datenaufbereitung	14
3.3. Operationalisierung der Szenarien	14
3.4. Spezialfälle	16
<b>4. Resultate</b>	<b>18</b>
4.1. Übersicht	18
4.2. Resultate für alle Luftschadstoffen und Treibhausgase	19
<b>5. Schlussbemerkungen</b>	<b>30</b>
5.1. Kommentare zu den Resultaten	30
5.2. Vergleich mit den früheren Sensitivitätsanalysen	31
5.3. Hinweise für PolluMap-Applikationen auf Basis der Szenarien TIEF und HOCH	32
5.3.1. Aggregierung auf PolluMap-Kategorien	32
5.3.2. Importierte Immissionen, sekundäres PM10	32
5.3.3. Sensitivitäten aus Unsicherheitsüberlegungen	33
<b>Literatur</b>	<b>34</b>

## Zusammenfassung

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich unterhält einen Emissionskataster für Luftschadstoffe und Treibhausgase für die Mitgliederkantone von OSTLUFT und modelliert die NO<sub>2</sub>- und Feinstaub-Immissionen für dieses Gebiet. Der Emissionskataster enthält neben dem Ist-Zustand auch Prognosen, auf deren Basis die zukünftigen Immissionen modelliert werden können. Für die künftigen Jahre werden teils bedeutende Emissionsreduktionen vorausgesagt mit entsprechenden Auswirkungen auf die Immissionen. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt jedoch, dass die prognostizierten Emissionsentwicklungen oft von den realen Entwicklungen in nicht unerheblichem Masse abgewichen sind. Deshalb wird mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen untersucht, in welchem Bereich die Emissionen 2020 und 2030 unter verschiedenen Szenarien variieren können.

Die gesuchte Spannweite orientiert sich an drei Szenarien des Bundes, die er für seine Energieperspektiven (Bundesamt für Energie BFE) und Klimaszenarien (Energieperspektiven plus Ergänzungen für nicht-energetische Emissionen des Bundesamts für Umwelt BAFU) entworfen hat. Die optimistische Version (Szenario TIEF) mit geringeren Emissionen als im Referenzszenario basiert auf dem Szenario „neue Energiepolitik“, die pessimistische Variante (Szenario HOCH) auf dem Szenario „weiter wie bisher“. Für das Szenario HOCH wird zudem noch angenommen, dass sich die Emissionsfaktoren langsamer verbessern als es in den Bundesszenarien angenommen wird.

Der Emissionskataster des AWEL benutzt sehr fein aufgelöste Quellkategorien. Die Sensitivitätsanalysen werden nicht auf dieser Stufe durchgeführt, sondern auf aggregierten Kategorien, die sich an die Stufe anlehnen, wie sie in der Immissionsmodellierung benutzt werden. Die Emissionsdaten der Szenarien wurden vom BAFU zur Verfügung gestellt und wurden auf die gewünschte Stufe aggregiert. Tabelle 1 fasst die Resultate zusammen.

**Tabelle 1: Prozentuale Abweichungen der Szenarien TIEF und HOCH vom Referenzszenario für 2020 und 2030. Ein Lesebeispiel folgt im Text.**

Luftschadstoffe / Treibhausgase	2020				2030			
	TIEF		HOCH		TIEF		HOCH	
	<i>Minimum</i>	<i>Mittel</i>	<i>Mittel</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Mittel</i>	<i>Mittel</i>	<i>Maximum</i>
	REF 2020 = 100%							
NO <sub>x</sub>	90%	93%	129%	187%	76%	85%	159%	255%
NMVOG	86%	97%	116%	164%	77%	94%	119%	182%
PM10 exhaust	90%	95%	129%	250%	70%	85%	169%	397%
PM non-exhaust	86%	95%	106%	110%	55%	84%	110%	118%
BC	90%	93%	172%	280%	72%	81%	244%	537%
NH <sub>3</sub>	88%	98%	108%	125%	74%	86%	111%	141%
CO <sub>2</sub> fossil	83%	90%	106%	111%	65%	78%	115%	124%
CO <sub>2</sub> biogen	95%	107%	90%	101%	79%	105%	92%	103%
CH <sub>4</sub>	90%	100%	100%	153%	76%	91%	89%	168%
N <sub>2</sub> O	75%	98%	100%	115%	71%	93%	89%	119%

Die Tabelle zeigt die über sämtliche Emissionsquellen aggregierte Resultate für alle untersuchten Luftschadstoffe und Treibhausgase und bedeuten im Fall der Stickoxidemissionen ( $\text{NO}_x$ ):

- Szenario TIEF
  - Das Total der  $\text{NO}_x$ -Emissionen 2020 beträgt 93% des Werts im Referenzszenario, ist also 7% tiefer. Im Jahr 2030 ist das Total noch auf 85% des Referenzwerts respektive 15% tiefer.
  - Werden nicht die gesamten Emissionen betrachtet, sondern die einzelnen Kategorien (z.B. Strassenverkehr oder Ölfeuerungen in Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungen), so kommt im Szenario TIEF im Jahr 2020 der Minimalwert 90% vor (Mittel 93%) respektive 76% (Mittel 85%) im Jahr 2030. Das heisst, die Kategorie mit der grössten Abweichung liegt 10% (2020) respektive 24% (2030) unter dem Referenzwert.
- Szenario HOCH
  - Das Total der  $\text{NO}_x$ -Emissionen 2020 beträgt 129% des Werts im Referenzszenario, ist also 29% höher. Im Jahr 2030 ist das Total auf 159% des Referenzwerts respektive 59% höher als im Referenzszenario.
  - Werden wiederum nicht die gesamten Emissionen betrachtet, sondern die einzelnen Kategorien, so kommt im Szenario HOCH im Jahr 2020 der Maximalwert 187% vor (Mittel 129%) respektive 255% (Mittel 159%) im Jahr 2030. Das heisst, die Kategorie mit der grössten Abweichung liegt 87% (2020) respektive 155% (2030) über dem Referenzwert.

In derselben Art sind auch die übrigen Stoffe zu interpretieren. Eine Besonderheit stellen die Klimagase dar. Während sich die Luftschadstoffe in typischer und plausibler Weise verhalten (Wert HOCH ist grösser als Wert TIEF), kommt bei  $\text{CO}_2$  biogen,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  auch das umgekehrte vor, dass nämlich der Wert HOCH tiefer ist als der Wert TIEF. Dieses Phänomen tritt auf, wenn nicht-erneuerbare Energieträger in den Szenarien Referenz und TIEF durch Biogas (aus Kompostier- und Vergärungsanlagen) und Holz ersetzt werden und in diesen Szenarien zu erhöhten Emissionen von  $\text{CO}_2$  biogen und  $\text{CH}_4$  führen, während im Szenario HOCH dieser Ersatz nicht im selben Mass stattfindet, solche Emissionen nur in deutlich geringerem Masse auftreten und damit unter den Werten im Szenario TIEF zu liegen kommen.

Im Kapitel 4. sind die detaillierten Resultate der Sensitivitätsanalyse für alle Substanzen und alle Kategorien dargestellt und im 5. Kapitel kommentiert. Dort sind auch noch Vergleiche mit der früheren Sensitivitätsanalyse und Hinweise zur Umsetzung der Ergebnisse im Immissionsmodell ( $\text{NO}_2/\text{PM}_{10}$ ) angegeben.

## 1. Ausgangslage

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich unterhält einen Emissionskataster für Luftschadstoffe und Treibhausgase für die Mitgliederkantone von OSTLUFT und modelliert die NO<sub>2</sub>- und Feinstaub-Immissionen für dieses Gebiet. Der Emissionskataster enthält neben dem Ist-Zustand auch Prognosen, auf deren Basis die zukünftigen Immissionen modelliert werden können.

Sowohl beim NO<sub>x</sub> als auch beim Feinstaub erwartet man aufgrund der beschlossenen Massnahmen deutliche Rückgänge in den kommenden Jahren, sodass in der Folge auch die Immissionen sinken und sich damit die Luftqualität bei diesen Schadstoffen verbessern wird. Wie stark diese Verbesserungen ausfallen werden, hängt zu einem wesentlichen Teil von den energiepolitischen Entscheidungen des Bundesparlaments ab. Der Bundesrat hat nach der Katastrophe von Fukushima seine Energieperspektiven erneuert und mehrere Szenarien aufgezeigt:

- „Weiter wie bisher“ (WWB): Alle bis 2010 beschlossenen Massnahmen werden zwar noch berücksichtigt (reduziertes Gebäudeprogramm, geringere CO<sub>2</sub> Abgabe 76 CHF/t Grenzwert Personenwagen 95 g/km erst bis 2030), aber keine weiteren mehr.
- „Politische Massnahmen“ (POM): Kernenergie weiterhin nutzen und die Massnahmen des Bundesgesetz über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Weiterführung des Gebäudeprogramms, CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe 2018: 96 CHF/t, CO<sub>2</sub> Grenzwert Personenwagen 95 g/km bis 2020) umsetzen.
- „Neue Energiepolitik“ (NEP): Ausstieg aus der Kernenergie, Steigerung der Energieeffizienz in allen Sektoren, Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien, vermehrte E-Mobilität.

In allen Szenarien sinkt die Energienachfrage bis 2030 zwar ab, aber natürlich in unterschiedlichem Masse (13% im WWB, 20% im POM und 28% im NEP ggü. dem Verbrauch 2010). Bundesrat und Parlament haben 2011 den Grundsatzentscheid für einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie gefällt. Zurzeit wird das erste Massnahmenpaket im Parlament behandelt<sup>1</sup>, ein zweites wird folgen<sup>2</sup>. Mindestens einmal wird es dazu auch eine Volksabstimmung geben. Bis dahin ist noch weitgehend offen, was für ein Szenario realisiert werden wird. Die zu beschliessenden Massnahmen beeinflussen nicht nur den künftigen Energieverbrauch, sondern auch die Luftschadstoffemissionen und damit auch die Luftqualität.

<sup>1</sup> Siehe Botschaft zum 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050, (Revision des Energierechts) vom 4.9.2013

<sup>2</sup> Für die 2. Etappe der Energiestrategie 2050 mit Umsetzung ab 2021 hat der Bundesrat beschlossen, das bisherige Fördersystem schrittweise durch ein Lenkungssystem abzulösen (Verfassungsbestimmung für ein Klima- und Energielenkungssystem)

Das AWEL hat NO<sub>2</sub>- und Feinstaub-Immissionsprognosen 2020 auf der OSTLUFT-Website publiziert<sup>3</sup>. Sie stammen aus dem Jahr 2013 und entsprechen dem Szenario POM. Wie würden sich die Immissionen entwickeln, wenn die Politik und Volk anders entscheiden und WWB oder NEP realisiert werden? Das AWEL hat 2012 mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen die Spannweite möglicher Emissionsentwicklungen für NO<sub>x</sub> und PM10 aufgezeigt und die Immissionsprognosen dazu erstellt (AWEL 2012). Diese Spannweite soll nun in einer weiteren Sensitivitätsanalyse aktualisiert werden und soll sich dabei an der Energieentwicklung der drei Szenarien orientieren.

Die Emissionen sind nicht nur vom Energieverbrauch und vom Energiemix abhängig, sondern auch von der technologischen Entwicklung von Motoren und Feuerungssystemen. Diese Entwicklung kann in Form von Emissionsfaktoren berücksichtigt werden. Die gesuchte Spannweite der künftigen Emissionen soll deshalb auch eine günstige und eine ungünstige Entwicklung in den Emissionsfaktoren enthalten.

Momentan laufen im AWEL Arbeiten zur Aktualisierung des Emissionskatasters. Um die Auswirkungen der oben genannten Szenarien zu kennen, berücksichtigt das AWEL nicht nur die Spannweiten für NO<sub>x</sub> und Feinstaub, sondern auch für die weiteren Schadstoffe NMVOC, NH<sub>3</sub>, Russ und für die Klimagase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Alle diese Substanzen werden in die Sensitivitätsanalysen einbezogen.

## 2. Methodisches

### 2.1. Emissionsdatenbanken für Luftschadstoffe und Treibhausgase

#### 2.1.1. AWEL-Emissionskataster

Wie oben erwähnt, führt das AWEL einen Emissionskataster. Er deckt das gesamte OSTLUFT-Gebiet ab<sup>4</sup>. Im Kataster sind Zeitreihen der Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen je Gemeinde, teilweise auch in Hektarauflösung verfügbar. Für die Sensitivitätsanalysen werden folgende Luftschadstoffe und Treibhausgase des Katasters betrachtet:

- NO<sub>x</sub> Stickoxide
- PM10 Feinstaub, unterschieden nach Herkunft exhaust und non-exhaust
- NMVOC flüchtige Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe
- NH<sub>3</sub> Ammoniak
- Russ als EC (elemental carbon) resp. BC (black carbon)

<sup>3</sup> [http://www.ostluft.ch/87.0.html?&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=81&cHash=9cf4abf8da80bf3754516e7aef32d6c9](http://www.ostluft.ch/87.0.html?&tx_ttnews%5Btt_news%5D=81&cHash=9cf4abf8da80bf3754516e7aef32d6c9)

<sup>4</sup> Zu OSTLUFT gehören die Kantone Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden, Glarus, Schaffhausen, St.Gallen, Thurgau und Zürich, das Fürstentum Liechtenstein sowie - in Teilbereichen - der Kanton Graubünden.

- CO<sub>2</sub> Kohlendioxid
- CH<sub>4</sub> Methan
- N<sub>2</sub>O Lachgas

### 2.1.2. Emissionsinformationssystem Schweiz (EMIS)

Die Sektion Industrie und Feuerung des Bundesamts für Umwelt BAFU betreibt das Emissionsinformationssystem Schweiz (EMIS), in dem die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen aus Aktivitätsdaten („Jahresleistungen“) und Emissionsfaktoren berechnet werden. Es enthält Zeitreihen für die Periode 1900 bis 2050.

Als Mitgliedland des UNECE-Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) und der UNO-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) ist die Schweiz verpflichtet, jährlich aktualisierte und nachgeführte Emissionsinventare der Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen bei der UNO einzureichen. Die Daten werden im EMIS bewirtschaftet und sind auch den Kantonen zugänglich. Der AWEL-Emissionskataster bezieht eine Reihe seiner Emissionsfaktoren aus dem EMIS.

### 2.1.3. Energieperspektiven und Klimaszenarien Schweiz

Wie oben erwähnt, sind im EMIS Projektionen enthalten, und zwar für mehrere Szenarien. Im Referenzszenario entsprechen sie dem Szenario POM soweit es den Energieverbrauch betrifft. Für die Prozesse, deren Jahresleistungen nicht Energieverbrauchszahlen sind (z.B. Produktionsmengen in Industrieprozessen, Tierzahlen und Flächen in der Landwirtschaft), hat das BAFU Daten aus Prognosen oder Strategien der jeweiligen Fachstellen oder Verbände hinterlegt.

Für den 6. Nationalen Klimabericht der Schweiz, der 2014 erschienen ist, hat das BAFU gemäss Guidelines drei Szenarien der Treibhausgase bis 2030 modelliert (FOEN 2014). Die Guidelines der UNFCCC schreiben vor, neben einem Referenzszenario („WM“, with measures; in der Schweiz als „WEM“ with energy measures bezeichnet) ein Szenario mit zusätzlichen Massnahmen („WAM“ with additional measures) und eines ohne Massnahmen („WOM“ without measures) anzugeben. Das BAFU hat die drei Szenarien der Energiestrategie in naheliegender Weise wie folgt zugeordnet:

<b>Tabelle 2: Szenarien</b>				
<b>Szenarien</b>	<b>Bezeichnung 6. Nat. Klimabericht</b>		<b>Bezeichnung Energiestrategie BFE</b>	
Referenzszenario	WEM	with energy measures	POM	politische Massnahmen
mit zus. Massnahmen	WAM	with additional measures	NEP	neue Energiepolitik
ohne Massnahmen	WOM	without measures	WWB	weiter wie bisher



Für die Berechnung der Emissionen in den drei Szenarien des 6. Nat. Klimabericht mussten die Projektionen der Energiestrategie nicht nur auf alle Sektoren, sondern auch auf jene Luftschadstoffe erweitert werden, die im Klima-Reporting als Vorläufer (NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO) oder indirekte Treibhausgase (SO<sub>2</sub>) gelten. Im gleichen Zug wurden auch für die übrigen Luftschadstoffe Projektionen definiert, sodass im EMIS nun für alle drei Szenarien die Emissionen für alle Treibhausgase und alle Luftschadstoffe vorhanden sind.

Das BAFU hat keine eigene Publikation zu den Szenarien verfasst, es gibt aber eine ausführliche Beschreibung zu den einzelnen Massnahmen und Annahmen der Szenarien im 5. Kapitel der 6. Nationalen Klimaberichts: WEM ab Seite 154, WAM ab Seite 160 und WOM ab Seite 164. (FOEN 2014).

## 2.2. Szenarien für die Sensitivitätsanalysen

Im Emissionskataster des AWEL entsprechen die Projekten bis 2030 dem Referenzszenario POM (WEM). In Absprache mit dem AWEL wurde vereinbart, für die Sensitivitätsanalysen nicht, wie dies bei der ersten Sensitivitätsanalyse der Fall war, plausible Annahmen zur Variation der Inputparameter zu machen, sondern als Basis für die zwei Szenarien Folgendes festzulegen:

- Szenario TIEF: Für die optimistische Variante (niedrige Emissionen) wird das Szenario NEP (WAM) benutzt.
- Szenario HOCH: Für die pessimistische Variante (hohe Emissionen) wird das Szenario WWB (WOM) benutzt.

Die Szenarien im EMIS sind durch drei spezifische Sets der Jahresleistungen charakterisiert; die Emissionsfaktoren sind aber in allen Szenarien dieselben. Wie die Erfahrung der letzten drei Jahrzehnte gezeigt hat, sind die in den Prognosen jeweils erwarteten Emissionsreduktionen in der Realität nicht vollständig respektive erst verzögert eingetroffen. Man darf daher davon ausgehen, dass die Referenzentwicklung zumindest in der Tendenz zu günstig ist und die zu realisierenden Emissionsreduktionen hinter den Erwartungen zurückbleiben werden. Ausgehend von dieser Überlegung sollen zwei Szenarien TIEF und HOCH mit Bezug zur Referenzentwicklung (REF) wie folgt definiert und untersucht werden:

### **Szenario TIEF**

Die Entwicklung der Aktivitätsdaten entspricht dem Szenario NEP. Für die Emissionsfaktoren werden dieselben Emissionsfaktoren verwendet wie im Szenario REF. Wie oben erwähnt, dürfen diese für das Szenario REF zwar zu günstig sein, aber gleichzeitig kann man davon ausgehen, dass selbst wenn das Parlament in der Energiestrategie das Szenario NEP beschliesst, die realisierten Energieeinsparungen bis 2020/2030 den Prognosewerten hinterherhin-

ken würden. Mit einer (unbekannten) Überschätzung der Emissionsfaktoren und einer (unbekannten) Unterschätzung der Aktivitätsdaten resultiert zumindest eine kompensatorische Wirkung, sodass sich die beiden (unbekannten) Entwicklungen nicht einseitig verstärken und das derart definierte Szenario plausibel ist.

### Szenario HOCH

Die Entwicklung der Aktivitätsdaten entspricht dem Szenario WWB. Die Emissionsfaktoren werden um einen Faktor erhöht. Der Faktor wird so eingestellt, dass die erwarteten Verbesserungen der Emissionsfaktoren zwischen 2010 und 2020, respektive zwischen 2010 und 2030 nur zur Hälfte realisiert werden. Das bringt zum Ausdruck, dass die Durchsetzung technologischer Fortschritte zwar in der günstigen Richtung verläuft, aber langsamer als in der Referenzentwicklung erfolgt. Zusätzlich gibt es aber auch noch die Fälle zu berücksichtigen, in denen die Emissionen nach 2010 steigen, weil die Aktivitätsdaten grösser werden. In diesen Fällen werden die Emissionsfaktoren nicht noch zusätzlich erhöht, sondern werden konstant belassen. In diesen Fällen entsprechen die Emissionen des HOCH Szenarios jenen des WOM.

### Szenario REF

Referenzentwicklung in Übereinstimmung mit dem EMIS-Szenario POM, sowohl für die Aktivitätsdaten wie auch für die Emissionsfaktoren. Es kann zwar davon ausgegangen werden, dass damit die Entwicklung der Emissionsfaktoren zu günstig angenommen wird. Weil aber dieselben Annahmen auch der Prognose 2020 hinterlegt sind, die vom AWEL für die Immissionsprognose 2020 verwendet wurde, erfordert ein derart definiertes Szenario keine erneute Immissionsmodellierung.

### Zusammenfassung der Szenariendefinition

Die oben beschriebenen Festsetzungen zu Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten zu den drei Szenarien sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Operationalisierung der Szenarien ist im Kap. 3.3 beschrieben.

<b>Tabelle 3: Definition der Szenarien</b>			
<b>Attribut</b>	<b>Szenario REF</b>	<b>Szenario TIEF</b>	<b>Szenario HOCH</b>
Aktivitätsdaten	POM	NEP	WWB
Emissionsfaktoren	EMIS/POM	EMIS/POM	EMIS/POM verlangsamt

Szenarien gemäss Energieperspektiven (BFE): WWB „Weiter wie bisher“, POM „politische Massnahmen“, NEP „Neue Energiepolitik“. Erklärung „verlangsamt“ siehe Kap. 3.3.

### 2.3. Erweiterte PolluMap-Kategorien

Um die Sensitivitätsanalysen für die Immissionsmodellierungen nutzen zu können, müssen die Emissionen in einer bestimmten Kategorisierung vorliegen. Die Immissionsmodell PolluMap unterscheidet verschiedene „Quellgeometrien“ (Punkt-, Linien-, Flächenquellen, unterschiedliche Ausstoss- respektive Kaminhöhe), die den Sektoren Verkehr, Industrie etc. zugeordnet werden. Daraus ergeben sich ca. ein Dutzend Kategorien („PolluMap-Kategorien“). Der AWEL-Emissionskataster und das schweizerische EMIS hingegen unterscheiden die Emittenten wesentlich feiner. Sollen die Emissionszahlen des EMIS für die Sensitivitätsanalysen nutzbar gemacht werden, ist deren Aggregierung von den feineren EMIS Kategorien auf die Stufe der PolluMap-Kategorien erforderlich.

Ein weiterer Aspekt muss aber noch beachtet werden: Die Energieszenarien der Schweiz gehen von unterschiedlichen Entwicklungen bei den Energieträgern aus. Je nach Szenario (WWB, POM, NEP) entwickeln sich die Verbrauchszahlen von Heizöl, Erdgas, Holz sehr unterschiedlich. Aufgrund der unterschiedlichen Emissionsfaktoren für diese Energieträger müssen deshalb die Sektoren Haushalte, Dienstleistungen, Industrie nach Energieträgern separat betrachtet werden, was im Immissionsmodell nicht in derselben Weise nötig ist. PolluMap unterscheidet lediglich Holzfeuerungen von den übrigen Feuerungen (wegen unterschiedlicher räumlicher Verteilung), nicht aber Heizöl- von Erdgasfeuerungen. Für die Sensitivitätsanalysen werden die PolluMap-Kategorien nach Brennstoffen erweitert, um der unterschiedlichen Entwicklung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren Rechnung tragen zu können („erweiterte PolluMap-Kategorien“).

Eine zweite Erweiterung drängt sich auf, weil die Palette der Substanzen (Luftschadstoffe und Treibhausgase) gegenüber der Immissionsmodellierung erweitert wird.

- Um Lösemittel (Quelle für NMVOC-Emissionen) zu erfassen, wird deren Verbrauch als Unterkategorie des Industriesektors eingeführt.
- Bedeutende Emissionen von Treibhausgasen ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) stammen aus der Abfallwirtschaft. Diese wird im Immissionsmodell unter dem Sektor Industrie geführt. Kläranlagen, Kompostier- und Vergärwerke, die in Zukunft je nach Szenario eine wichtigere Rolle spielen werden, sind deshalb für die Sensitivitätsanalysen separat zu betrachten.

Aus diesem Grund werden die PolluMap-Kategorien noch um den Sektor Abfallbewirtschaftung erweitert (für die Immissionsmodellierung mit PolluMap sind deren Emissionen der Industrie zuzuschlagen). Damit ergeben sich die „erweiterten PolluMap-Kategorien“, wie sie in Tabelle 4 dargestellt sind.

Tabelle 4: Erweiterte PolluMap-Kategorien

Hauptgruppe	Untergruppe	Aktivitätsdaten
<b>Verkehr</b>	Strassenverkehr	Benzin+Diesel (PM10 non exhaust: Fahrleistung)
	Schienenverkehr	Diesel (PM10 non exhaust: Achs-km)
	Schiffsverkehr	Treibstoff
	Flugverkehr	Kerosin
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>	HH, Gew., DL	Heizöl
	HH, Gew., DL	Erdgas
	HH, Gew., DL	Holz
	Garten, Hobby	Benzin
<b>Industrie</b>	Baumaschinen	Diesel
	Industrielle Fahrzeuge	Benzin/Diesel
	Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl
	Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas
	Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz
	Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge
	Deponien	Einwohner
	Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner
	Kompostierung und Vergärung	Einwohner
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>	Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel
	Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere
	Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Mengen

### 3. Vorgehen

#### 3.1. Inputdaten BAFU

Beim BAFU wurden Datenauszüge aus dem EMIS in folgender Form bestellt:

- Emissionen für die drei Szenarien WEM, WAM, WOM
- Aggregiert auf die Stufen 1A1a, 1A2a, 1A2b etc. (NFR-Code gemäss IPCC<sup>5</sup> und EEA/EMEP<sup>6</sup>)  
aber getrennt nach Energieträger:
  - liquid fuels: Erdölbrennstoffe (hauptsächlich Heizöl EL)
  - gaseous fuels: Erdgas
  - bio fuels: Holz, Biotreibstoffe
  - solid fuels: Kohle etc. Diese werden für die Sensitivitätsanalysen nicht berücksichtigt
  - other fuels: Kehricht
- Alle Substanzen nach Kap. 2.1.1

Tabelle 5 zeigt einen Ausschnitt aus den Daten, die das BAFU zur Verfügung gestellt hat.

**Tabelle 5: Auszug aus den Datenlieferungen des BAFU (Quelle: EMIS)**

Sektor	NFR-Code	Energieträger	2010	2020	2030
			NO <sub>x</sub> -Emissionen WEM in t/a		
Abfallw. (KVA)	1 A 1 a	CRF-Liquid Fuels	24.38	192.94	203.68
		CRF-Gaseous Fuels	195.25	1'135.75	1'543.86
		CRF-Solid Fuels	0.00	0.00	0.00
		CRF-Other Fuels	1587.37	1603.25	1649.40
		CRF-Bio Fuels	441.20	1640.35	2728.08
Industrie	1 A 2 a	CRF-Liquid Fuels	23.95	15.63	7.98
		CRF-Gaseous Fuels	26.78	23.81	21.38
		CRF-Solid Fuels	0.00	0.00	0.00
		CRF-Other Fuels	Zeitreihe nicht vorhanden		
		CRF-Bio Fuels	Zeitreihe nicht vorhanden		
	1 A 2 b	CRF-Liquid Fuels	3.82	4.51	3.22
		CRF-Gaseous Fuels	20.87	20.76	17.93
		CRF-Solid Fuels	Zeitreihe nicht vorhanden		
		CRF-Other Fuels	Zeitreihe nicht vorhanden		
		CRF-Bio Fuels	Zeitreihe nicht vorhanden		
etc.					

<sup>5</sup> <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

<sup>6</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

### 3.2. Datenaufbereitung

Die Daten des BAFU wurden wie folgt den erweiterten PolluMap-Kategorien zugeordnet.

**Tabelle 6: Zuordnung NFR-Code und erweiterte PolluMap-Kategorien (OSTLUFT)**

Sektor	NFR-Code	OSTLUFT
IPCC Nomenklatur		erweiterte PolluMap-Kategorien
Energie	1A1a	Industrie-Abfallbewirtschaftung - Kehr- und Verbrennungsanlagen (KVA)
	1A2a+1A2b+1A2c+1A2d+1A2e+1A2f+1A2gviii	Industrie - Industrie, Flächen- und Punktquellen
	1A2g vii	Industrie - Baumaschinen
	1A3a	Verkehr - Flugverkehr
	1A3b	Verkehr - Strassenverkehr
	1A3c	Verkehr - Schienenverkehr
	1A3d	Verkehr - Schiffsverkehr
	1A4ai+1A4bi+1A4ci	Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen - HH, Gew., DL
	1A4aii+1A4bii	Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen - Garten, Hobby
	1A4cii	Land-/Forstwirtschaft - Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge
	1B2ai+1B2av	Industrie - Industrie, Flächen- und Punktquellen
Industrieprozesse und Produktenutzung	2A+2B+2C+2G+2H	Industrie - Industrie, Flächen- und Punktquellen
	2D3a	Industrie - Lösemittelverbrauch Ind+Gew
	2D3b+2D3c+2D3d+2D3e+2D3f+2D3g+2D3h	Industrie - Lösemittelverbrauch Ind+Gew
	2I	Industrie - Industrie, Flächen- und Punktquellen
Landwirtschaft	3B+3D	Land-/Forstwirtschaft - Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden
Abfall- bewirtschaftung	5A	Industrie-Abfallbewirtschaftung - Deponien
	5B	Industrie-Abfallbewirtschaftung - Kompostierung und Vergärung
	5C2	Land-/Forstwirtschaft - Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung
	5D	Industrie-Abfallbewirtschaftung - Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

IPCC Nomenklatur siehe Guidelines 2006: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

Tabelle 6 legt einen Schlüssel fest, um die Emissionen aus der Datenlieferung BAFU auf die erweiterten PolluMap-Kategorien zu aggregieren (summieren).

### 3.3. Operationalisierung der Szenarien

#### Aggregation der Emissionen aus EMIS auf die erweiterten PolluMap-Kategorien

Die Aggregation der Emissionen aus den BAFU-Datentabellen auf die Stufe der erweiterten PolluMap-Kategorien ist im Prinzip einfach. Weil aber die Zeitreihen nicht vollständig sind (siehe Tabelle 5 mit Zelleneinträgen „Zeitreihe nicht vorhanden“), ist eine Kontrolle der BAFU-Daten für alle Kategorien, alle Schadstoffe und alle Jahren nötig. Z.B. fehlen die Daten der Kategorie 1A2e für 2010. Bei der Aggregation der Emissionen aus Tabelle 5 auf die PolluMap-Kategorie Industrie/Heizöl in Tabelle 6 muss deshalb die Unterkategorie 1A2e aus allen Zeitreihen entfernt werden. Sonst ist sie für 2010 nicht, für 2020 und 2030 jedoch enthalten, was die Zeitentwicklung in der Kategorie Industrie/Heizöl verfälschen würde.

### Szenario TIEF

Die bereinigten Zeitreihen bilden die Grundlagen, um das Szenario TIEF zu berechnen. Zu diesem Zweck reicht es, die relativen Abweichungen 2020 und 2030 des Szenarios TIEF in Bezug auf das Szenario REF zu bestimmen, und zwar für alle PolluMap-Kategorien und alle Schadstoffe/Treibhausgase.

$$EM_{TIEF}(t) = EM_{WAM}(t)$$

dabei stehen die Symbole EM für Emission, t für die Jahre 2020 und 2030

Die Gleichung gilt für alle PolluMap-Kategorien und alle Schadstoffe und Treibhausgase

Die Emissionen, die auf diese Weise bestimmt werden, decken die gesamte Schweiz ab. Sie werden nicht direkt für die Sensitivitätsanalysen sondern lediglich deren relative Änderung mit Bezug auf das Referenz-Szenario WEM:

$$EM_{TIEF\_relativ}(t) = EM_{WAM}(t) \div EM_{WEM}(t)$$

Die so berechneten relativen Emissionsänderungen für alle erweiterten PolluMap-Kategorien und alle Luftschadstoffe/Treibhausgase sind das Schlussresultat für die Sensitivitätsanalysen, Szenario TIEF.

### Szenario HOCH

Für das Szenario HOCH sind weitere Aufbereitungsschritte nötig.

- Für das Szenario WEM werden die Aktivitätsdaten (Energieverbrauchszahlen) auf die Stufe der PolluMap –Kategorien aggregiert.
- Aus dem Szenario WEM werden die auf dieselbe Stufe aggregierten Emissionen durch die aggregierten Aktivitätsdaten dividiert. Auf diese Weise gewinnt man implizite Emissionsfaktoren auf der Stufe der erweiterten PolluMap-Kategorien.
- Aus den impliziten Emissionsfaktoren 2010, 2020 und 2030 werden gewichtete Mittelwerte 2010-2020,  $\langle EF(2020) \rangle$ , und 2010-2030,  $\langle EF(2030) \rangle$  gebildet,  $\langle EF(2020) \rangle = p * EF(2010) + (1-p) * EF(2020)$  mit einem wählbaren Gewichtungsfaktor p zwischen 0 und 1. (für  $p = 0.5$  resultiert der arithmetische Mittelwert).
- Die Aktivitätsdaten 2020 des Szenario WOM,  $AD\_WOM(2020)$ , werden mit den Emissionsfaktoren  $\langle EF(2020) \rangle$  multipliziert, die Aktivitätsdaten WOM zum Jahr 2030,  $AD\_WOM(2030)$ , mit den Emissionsfaktoren  $\langle EF(2030) \rangle$ . Die Ergebnisse repräsentieren Ausgangsdaten für das Szenario HOCH.
- Die Ausgangsdaten werden verglichen mit den Emissionen des WOM-Szenarios:

- Sind sie höher als die WOM-Emissionen, gelten sie als Emissionen des Szenarios HOCH. Dieser Fall tritt ein, wenn in der Zeitentwicklung die Emissionen abnehmen, und mit dieser Vorschrift wird der Vorgabe Rechnung getragen, dass für das Szenario HOCH eine Verlangsamung in der technologischen Verbesserung angenommen werden soll.
- Sind sie tiefer als die WOM-Emissionen, geltenden WOM-Emission selber als Ergebnis für das Szenario HOCH. Dieser Fall tritt ein, wenn die Emissionen im WOM-Szenario im Laufe der Zeit zunehmen. (Würden umgekehrt die tieferen Emissionen für das Szenario HOCH verwendet, würde man annehmen, dass eine beschleunigte technologische Verbesserung die Zunahme der Emissionen verlangsamen würde, was zwar eintreten könnte, was aber der Idee des Szenario HOCH zuwiderlaufen würde.)

$$\begin{aligned}
 EM\_HOCH(t) &= \langle EF(t) \rangle * AD\_WOM(t) && \text{falls } EM\_WOM(t) < EM\_HOCH(t) \\
 &= EM\_WOM(t) && \text{falls } EM\_WOM(t) > EM\_HOCH(t)
 \end{aligned}$$

dabei stehen die Symbole EM für Emission, t für die Jahre 2020 und 2030.

Diese Gleichungen gelten für alle PolluMap-Kategorien und alle Schadstoffe und Treibhausgase, wobei die Aktivitätsdaten nur von der PolluMap-Kategorie abhängig sind, nicht aber vom Luftschadstoff resp. vom Treibhausgas.

Wie im Fall des TIEF-Szenarios übernimmt das AWEL nicht die absoluten Emissionen, sondern relative in Bezug auf das Referenzszenario WEM

$$EM\_HOCH\_relativ(t) = EM\_HOCH(t) \div EM\_WEM(t)$$

Die mit diesen Vorschriften berechneten relativen Emissionsänderungen für alle erweiterten PolluMap-Kategorien und alle Luftschadstoffe/Treibhausgase sind das Schlussresultat für die Sensitivitätsanalysen, Szenario HOCH.

### 3.4. Spezialfälle

Bei einer Reihe von PolluMap-Kategorien können die gesuchten Änderungen in den Szenarien TIEF und HOCH nicht berechnet werden, weil Zeitreihen nicht vollständig oder gar nicht vorhanden sind. Für einige dieser Datenlücken konnten mit zusätzlichen Daten des BAFU Näherungswerte bestimmt werden. Grundlage dazu bildet eine Tabelle des BAFU mit detaillierten



Emissionen. Diese Tabelle wird auf dem Internet<sup>7</sup> für die öffentlichen Luftreinhaltefachstellen zur Verfügung gestellt. Folgende wurden mithilfe dieser Tabelle ad hoc berechnet:

- Industrie – Industrie , Flächen und Punktuellen: NO<sub>x</sub>, BC, CO<sub>2</sub> fossil
- Industrie - Baumaschinen: PM10 non-exhaust
- Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen – HH, Gew, DL: N<sub>2</sub>O
- Haushalte., Gewerbe, Dienstleistungen - Garten/Hobby: N<sub>2</sub>O
- Land- Forstwirtschafts – Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge: N<sub>2</sub>O
- Industrie Abfallbewirtschaftung - Abwasserreinigungsanlagen: N<sub>2</sub>O

Die konkreten Berechnungen, die für diese Fälle durchgeführt wurden, befinden sich in der Resultatetabelle, die als Beilage zu diesem Bericht dem AWEL übergeben wird.

---

<sup>7</sup> <https://spextranet.admin.ch/sites/BAFU/ch-emis/Freigegebene%20Dokumente/Forms/AllItems.aspx>

## 4. Resultate

### 4.1. Übersicht

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die aggregierten Ergebnisse. Angegeben sind die relativen Abweichungen der Gesamtemissionen für die Szenarien TIEF und HOCH von den Gesamtemissionen des Referenzszenarios sowie die tiefste und höchste Abweichung, die in den erweiterten PolluMap-Kategorien vorkommen (grafische Darstellung 2030 siehe Abbildung 1).

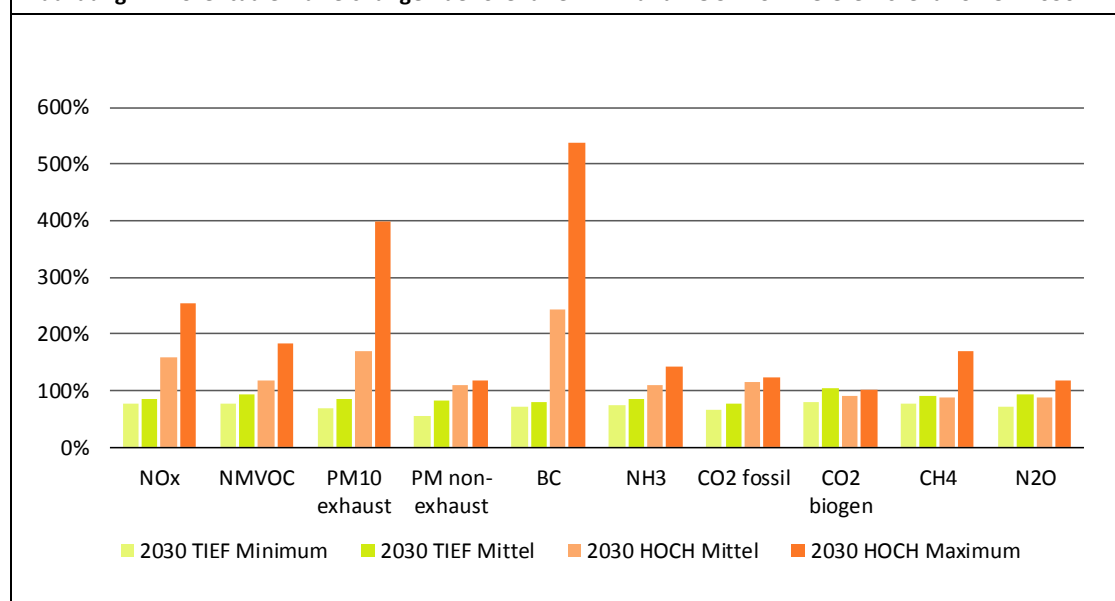
**Tabelle 7: Prozentuale Abweichungen der Szenarien TIEF und HOCH vom Referenzszenario für 2020 und 2030. „Mittel“ bezieht sich auf die mittlere Abweichung des Emissionstotals (PolluMap-Kategorien)**

Luftschadstoffe / Treibhausgase	2020				2030			
	TIEF		HOCH		TIEF		HOCH	
	Minimum	Mittel	Mittel	Maximum	Minimum	Mittel	Mittel	Maximum
	REF 2020 = 100%				REF 2030 = 100%			
NO <sub>x</sub>	90%	93%	129%	187%	76%	85%	159%	255%
NMVOG	86%	97%	116%	164%	77%	94%	119%	182%
PM10 exhaust	90%	95%	129%	250%	70%	85%	169%	397%
PM non-exhaust	86%	95%	106%	110%	55%	84%	110%	118%
BC	90%	93%	172%	280%	72%	81%	244%	537%
NH <sub>3</sub>	88%	98%	108%	125%	74%	86%	111%	141%
CO <sub>2</sub> fossil	83%	90%	106%	111%	65%	78%	115%	124%
CO <sub>2</sub> biogen	95%	107%	90%	101%	79%	105%	92%	103%
CH <sub>4</sub>	90%	100%	100%	153%	76%	91%	89%	168%
N <sub>2</sub> O	75%	98%	100%	115%	71%	93%	89%	119%

*Minimum:* die PolluMap-Kategorie mit der grössten Abweichung „nach unten“ (zu tieferen Emissionen) vom Sz. REF.

*Maximum:* die PolluMap-Kategorie mit der grössten Abweichung vom Sz. REF nach oben (zu höheren Emissionen) vom Sz. REF.

**Abbildung 1: Prozentuale Abweichungen der Szenarien TIEF und HOCH vom Referenzszenario FÜR 2030**



Während sich die Luftschadstoffe in typischer und plausibler Weise verhalten, nämlich Wert HOCH ist grösser als Wert TIEF, tritt bei CO<sub>2</sub> biogen, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auch das umgekehrte auf, dass nämlich der Wert HOCH tiefer ist als der Wert TIEF. Dieses Phänomen tritt auf, wenn nicht-erneuerbare Energieträger in den Szenarien Referenz und TIEF durch Biogas (aus Kompostier- und Vergärungsanlagen) und Holz ersetzt werden und in diesen Szenarien zu erhöhten Emissionen von CO<sub>2</sub> biogen und CH<sub>4</sub> führen, während im Szenario HOCH dieser Ersatz nicht im selben Mass stattfindet, solche Emissionen nur in deutlich geringerer Masse auftreten und damit unter den Werten im Szenario TIEF zu liegen kommen.

## 4.2. Resultate für alle Luftschadstoffen und Treibhausgase

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse je Luftschadstoff und Treibhausgas für alle erweiterten PolluMap-Kategorien.

Tabelle 8: Stickoxide NO<sub>x</sub>

NO <sub>x</sub> -Emissionen																			
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030					
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH			
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%			
							100% = WEM										100% = WEM		
<b>Verkehr</b>																			
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	40'306	21'680	19'952	21'805	29'346	92%	101%	135%	11'788	9'917	12'191	22'012	84%	103%	187%			
Schiensverkehr	Diesel	562	281	253	306	451	90%	109%	160%	215	171	242	415	79%	112%	192%			
Schiffsverkehr	liquid fuels	1'222	780	712	837	1'035	91%	107%	133%	564	465	619	919	82%	110%	163%			
Flugverkehr	Kerosin	481	521	510	543	546	98%	104%	105%	513	493	535	539	96%	104%	105%			
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																			
HH, Gew., DL	Heizöl	6'002	3'549	3'378	3'626	3'888	95%	102%	110%	2'093	1'609	2'353	2'600	77%	112%	124%			
HH, Gew., DL	Erdgas	1'615	1'251	1'228	1'329	1'522	98%	106%	122%	960	894	1'148	1'410	93%	120%	147%			
HH, Gew., DL	Holz	2'751	2'863	2'680	2'869	2'899	94%	100%	101%	2'661	2'014	2'693	2'764	76%	101%	104%			
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	67	60	57	63	63	95%	104%	104%	59	52	62	62	88%	106%	105%			
<b>Industrie</b>																			
Baumaschinen	Diesel	3'847	1'404	1'266	1'525	2'627	90%	109%	187%	961	765	1'079	2'374	80%	112%	247%			
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	899	853	764	860	860	90%	101%	101%	607	470	602	602	77%	99%	99%			
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	507	471	444	472	472	94%	100%	100%	456	396	455	455	87%	100%	100%			
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	1'594	1'413	1'412	1'427	1'427	100%	101%	101%	1'400	1'372	1'438	1'438	98%	103%	103%			
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge																		
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																			
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	1'587	1'603	1'603	1'603	1'603	100%	100%	100%	1'649	1'649	1'649	1'649	100%	100%	100%			
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	199	215	215	215	215	100%	100%	100%	224	224	224	224	100%	100%	100%			
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	3	16	16	9	9	100%	59%	59%	44	44	17	17	100%	38%	38%			
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																			
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	3'995	1'687	1'526	1'827	2'911	90%	108%	173%	981	792	1'094	2'507	81%	111%	255%			
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere	259	226	226	226	226	100%	100%	100%	226	226	226	226	100%	100%	100%			
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	33	30	30	30	30	100%	100%	100%	30	30	30	30	100%	100%	100%			
<b>Summe</b>		<b>65'930</b>	<b>38'904</b>	<b>36'273</b>	<b>39'573</b>	<b>50'130</b>	<b>93%</b>	<b>102%</b>	<b>129%</b>	<b>25'176</b>	<b>21'326</b>	<b>26'401</b>	<b>39'985</b>	<b>85%</b>	<b>105%</b>	<b>159%</b>			
<b>Min. / Max.</b>							90%		187%					76%		255%			

Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7

Tabelle 9: Flüchtige organische Verbindungen NMVOC

NMVOC-Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%
		100% = WEM														
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	16'913	9'951	9'745	10'376	12'753	98%	104%	128%	6'903	6'584	7'698	10'325	95%	112%	150%
Schienenverkehr	Diesel	67	40	36	44	58	90%	109%	143%	32	26	36	53	79%	112%	165%
Schiffsverkehr	liquid fuels	468	387	355	412	444	92%	107%	115%	333	277	362	417	83%	109%	125%
Flugverkehr	Kerosin	115	88	86	93	112	98%	105%	127%	87	83	92	110	96%	105%	127%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl	963	652	621	666	666	95%	102%	102%	407	313	457	457	77%	112%	112%
HH, Gew., DL	Erdgas	296	302	297	315	317	98%	104%	105%	258	241	306	307	93%	119%	119%
HH, Gew., DL	Holz	3'161	2'293	2'166	2'294	2'832	94%	100%	123%	1'809	1'477	1'817	2'544	82%	100%	141%
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	727	309	290	323	323	94%	104%	104%	188	163	200	200	87%	107%	107%
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	669	297	273	317	485	92%	107%	164%	254	208	280	462	82%	110%	182%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	112	111	96	112	112	86%	101%	101%	82	64	82	82	78%	99%	99%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	61	58	54	58	58	94%	100%	100%	56	49	56	56	87%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	89	60	59	60	66	100%	101%	110%	39	39	40	58	101%	103%	150%
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge	3'153	3'080	3'080	3'080	3'080	100%	100%	100%	3'080	3'080	3'080	3'080	100%	100%	100%
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	58	40	40	40	49	100%	100%	122%	41	41	41	50	100%	100%	121%
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	5	5	5	5	5	100%	100%	100%	5	5	5	5	100%	100%	100%
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	1'611	2'098	2'098	1'787	1'787	100%	85%	85%	3'509	3'509	2'207	2'207	100%	63%	63%
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	2'431	1'138	1'077	1'187	1'187	95%	104%	104%	646	557	694	694	86%	107%	107%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere															
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	36	32	32	32	32	100%	100%	100%	32	32	32	32	100%	100%	100%
<b>Summe</b>		<b>30'934</b>	<b>20'940</b>	<b>20'412</b>	<b>21'200</b>	<b>24'365</b>	<b>97%</b>	<b>101%</b>	<b>116%</b>	<b>17'729</b>	<b>16'716</b>	<b>17'454</b>	<b>21'108</b>	<b>94%</b>	<b>98%</b>	<b>119%</b>
<b>Min. / Max.</b>							<b>86%</b>		<b>164%</b>					<b>77%</b>		<b>182%</b>

Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7

Tabelle 10: Feinstaub PM10 exhaust

PM10 exhaust-Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%
							100% = WEM			100% = WEM						
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	1'189	417	389	416	751	93%	100%	180%	146	127	149	537	86%	102%	367%
Schienenverkehr	Diesel	10	4	4	5	8	90%	109%	172%	3.5	2.8	3.9	7.0	79%	112%	201%
Schiffsverkehr	liquid fuels	44	16	15	18	18	90%	109%	109%	8.3	6.6	9.3	9.3	80%	112%	112%
Flugverkehr	Kerosin	5.0	3.7	3.7	3.9	4.8	98%	104%	129%	3.7	3.5	3.8	4.7	96%	104%	129%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl	35	24	23	26	26	95%	108%	108%	15	12	18	18	78%	119%	119%
HH, Gew., DL	Erdgas	7.6	7.7	7.6	8.1	8.1	98%	105%	105%	6.6	6.2	7.8	7.8	93%	119%	119%
HH, Gew., DL	Holz	2'710	2'076	1'958	2'079	2'483	94%	100%	120%	1'376	1'124	1'385	2'092	82%	101%	152%
Garten, Hobby	Benzin/Diesel															
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	165	41	37	44	102	90%	109%	250%	29	23	33	95	79%	112%	326%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	57	57	55	58	58	97%	102%	102%	35	25	35	37	70%	100%	105%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	2.7	2.5	2.4	2.6	2.6	94%	100%	100%	2.5	2.2	2.5	2.5	87%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	398	288	280	291	305	97%	101%	106%	170	157	174	257	93%	103%	151%
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge	98	89	89	89	89	100%	100%	100%	89	89	89	89	100%	100%	100%
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	36	36	36	36	36	100%	100%	99%	37	37	37	37	100%	100%	99%
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner															
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	0.02	0.14	0.14	0.08	0.08	100%	59%	59%	0.39	0.39	0.15	0.15	100%	38%	38%
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	342	103	93	112	226	90%	109%	220%	49	39	55	195	79%	112%	397%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere															
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	100	90	90	90	90	100%	100%	100%	90	90	90	90	100%	100%	100%
<b>Summe</b>		<b>5'198</b>	<b>3'256</b>	<b>3'082</b>	<b>3'277</b>	<b>4'207</b>	<b>95%</b>	<b>101%</b>	<b>129%</b>	<b>2'062</b>	<b>1'744</b>	<b>2'093</b>	<b>3'478</b>	<b>85%</b>	<b>101%</b>	<b>169%</b>
<b>Min. / Max.</b>							90%		250%					70%		397%

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7

Tabelle 11: Feinstaub PM10 non-exhaust

PM10 non-exhaust-Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%
							100% = WEM							100% = WEM		
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	2'893	3'071	2'799	3'129	3'129	91%	102%	102%	2'989	2'476	3'088	3'088	83%	103%	103%
Schienerverkehr	Diesel	1'256	1'256	1'256	1'256	1'353	100%	100%	108%	1'256	1'256	1'256	1'370	100%	100%	109%
Schiffsverkehr	liquid fuels															
Flugverkehr	Kerosin	9.0	8.9	8.7	9.7	9.8	98%	108%	110%	8.8	8.4	9.5	9.6	96%	108%	110%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl															
HH, Gew., DL	Erdgas															
HH, Gew., DL	Holz															
Garten, Hobby	Benzin/Diesel															
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	2'489	2'516	2'465	2'721	2'721	98%	108%	108%	2'619	2'490	2'960	2'960	95%	113%	113%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl															
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas															
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz															
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge															
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge															
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner															
Kompostierung und Vergärung	Einwohner															
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	1'995	1'979	1'707	2'170	2'170	86%	110%	110%	2'061	1'132	2'432	2'432	55%	118%	118%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere	2'315	2'176	2'176	2'318	2'318	100%	107%	107%	2'176	1'929	2'315	2'315	89%	106%	106%
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge															
<b>Summe</b>		<b>10'957</b>	<b>11'007</b>	<b>10'412</b>	<b>11'604</b>	<b>11'701</b>	<b>95%</b>	<b>105%</b>	<b>106%</b>	<b>11'110</b>	<b>9'292</b>	<b>12'061</b>	<b>12'174</b>	<b>84%</b>	<b>109%</b>	<b>110%</b>
<b>Min. / Max.</b>							86%		110%					55%		118%

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7
- Zeile Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge: Emissionsentwicklung entspricht der Entwicklung der Aktivitätsdaten, d.h. des Dieseler Verbrauchs (vom BAFU wurden keine Emissionsdaten für die Szenarien WAM und WOM geliefert)

Tabelle 12: Black Carbon (BC)

BC-Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%
							100% = WEM			100% = WEM						
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	876	173	157	175	484	91%	101%	280%	70	58	72	375	83%	104%	537%
Schienenverkehr	Diesel	6.3	2.8	2.6	3.1	4.9	90%	109%	172%	2.3	1.8	2.6	4.6	79%	112%	201%
Schiffsverkehr	liquid fuels	23.7	8.9	8.1	9.7	16.7	90%	109%	187%	4.6	3.6	5.1	14.2	79%	112%	312%
Flugverkehr	Kerosin	2.2	1.8	1.8	1.9	2.2	98%	104%	121%	1.8	1.7	1.8	2.1	96%	104%	121%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl	20	14	13	15	15	95%	110%	110%	9	7	11	11	78%	121%	121%
HH, Gew., DL	Erdgas	0.40	0.41	0.40	0.43	0.43	98%	105%	105%	0.35	0.33	0.42	0.42	93%	119%	119%
HH, Gew., DL	Holz	454	375	352	375	429	94%	100%	115%	255	204	256	363	80%	101%	142%
Garten, Hobby	Benzin/Diesel															
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	121	30	27	33	75	90%	109%	248%	22	17	24	70	79%	112%	321%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	8.8	8.9	8.0	9.4	9.4	91%	106%	106%	3.4	2.4	3.4	4.7	72%	99%	139%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	94%	100%	100%	0.11	0.09	0.11	0.11	87%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	87	40	39	40	55	97%	101%	138%	23	21	24	49	92%	103%	210%
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge															
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	100%	100%	100%	0.33	0.33	0.33	0.33	100%	100%	100%
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner															
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	0.0006	0.0035	0.0035	0.0021	0.0021	100%	59%	59%	0.0099	0.0099	0.0038	0.0038	100%	38%	38%
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	272	82	74	89	180	90%	109%	220%	39	31	44	155	79%	112%	396%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere															
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	8	8	8	8	8	100%	100%	100%	8	8	8	8	100%	100%	100%
<b>Summe</b>		<b>1'880</b>	<b>745</b>	<b>691</b>	<b>761</b>	<b>1'281</b>	<b>93%</b>	<b>102%</b>	<b>172%</b>	<b>430</b>	<b>348</b>	<b>445</b>	<b>1'048</b>	<b>81%</b>	<b>103%</b>	<b>244%</b>
<b>Min. / Max.</b>							90%		280%					72%		537%

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7



Tabelle 13: Ammoniak NH<sub>3</sub>

NH3-Emissionen																		
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030				
		REF	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH	REF	TIEF	WOM	HOCH	TIEF	WOM	HOCH		
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%	t/a	t/a	t/a	t/a	%	%	%		
							100% = WEM									100% = WEM		
<b>Verkehr</b>																		
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	2'786	1'724	1'598	1'776	2'144	93%	103%	124%	1'494	1'276	1'514	1'899	85%	101%	127%		
Schienenverkehr	Diesel	0.33	0.34	0.31	0.37	0.37	90%	109%	109%	0.35	0.27	0.39	0.39	79%	112%	112%		
Schiffsverkehr	liquid fuels	1.05	1.03	0.94	1.10	1.10	91%	107%	107%	1.04	0.85	1.15	1.15	82%	110%	110%		
Flugverkehr	Kerosin						98%	104%	105%					96%	104%	105%		
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																		
HH, Gew., DL	Heizöl	0.26	0.17	0.17	0.22	0.22	96%	125%	125%	0.11	0.09	0.16	0.16	80%	137%	137%		
HH, Gew., DL	Erdgas	0.09	0.08	0.08	0.10	0.10	98%	125%	125%	0.07	0.06	0.09	0.09	93%	141%	141%		
HH, Gew., DL	Holz	250	258	239	258	262	93%	100%	102%	243	180	246	252	74%	101%	103%		
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	94%	105%	105%	0.18	0.16	0.19	0.19	87%	107%	107%		
<b>Industrie</b>																		
Baumaschinen	Diesel	4.32	4.10	3.70	4.45	4.45	90%	109%	109%	4.13	3.29	4.63	4.63	80%	112%	112%		
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	0.99	0.04	0.04	0.04	0.04	88%	100%	100%	0.03	0.03	0.03	0.03	80%	100%	100%		
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	94%	100%	100%	0.03	0.02	0.03	0.03	87%	100%	100%		
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	81	89	87	90	90	98%	101%	101%	93	86	95	95	93%	103%	103%		
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge																	
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																		
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	24	24	24	24	24	100%	100%	100%	25	25	25	25	100%	100%	100%		
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	115	122	122	122	122	100%	100%	100%	127	127	127	127	100%	100%	100%		
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	172	288	288	213	213	100%	74%	74%	622	622	306	306	100%	49%	49%		
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																		
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel																	
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere	27'052	25'948	25'442	27'777	27'777	98%	107%	107%	24'843	21'272	27'684	27'684	86%	111%	111%		
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	19	17	17	17	17	100%	100%	100%	17	17	17	17	100%	100%	100%		
<b>Summe</b>		<b>30'506</b>	<b>28'476</b>	<b>27'825</b>	<b>30'284</b>	<b>30'656</b>	<b>98%</b>	<b>106%</b>	<b>108%</b>	<b>27'470</b>	<b>23'611</b>	<b>30'020</b>	<b>30'412</b>	<b>86%</b>	<b>109%</b>	<b>111%</b>		
<b>Min. / Max.</b>							<b>88%</b>		<b>125%</b>					<b>74%</b>		<b>141%</b>		

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7
- Emissionspfad Flugverkehr wurde mangels BAFO Daten von den NO<sub>x</sub> Emissionen übernommen

Tabelle 14: Kohlendioxid CO<sub>2</sub> fossil

CO <sub>2</sub> fossil-Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF t/a	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %
		100% = WEM									100% = WEM					
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	15'849'931	12'794'073	10'564'235	14'153'340	14'161'470	83%	111%	111%	9'682'768	6'300'413	11'972'366	11'981'593	65%	124%	124%
Schieneverkehr	Diesel	39'398	37'743	32'879	41'518	41'535	87%	110%	110%	35'775	26'551	40'866	40'883	74%	114%	114%
Schiffsverkehr	liquid fuels	122'465	113'080	99'994	122'555	122'591	88%	108%	108%	107'778	82'927	120'737	120'772	77%	112%	112%
Flugverkehr	Kerosin	123'010	135'852	133'135	140'900	140'977	98%	104%	104%	133'992	128'632	138'970	139'047	96%	104%	104%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl	11'828'350	8'006'196	7'620'508	8'178'533	8'178'533	95%	102%	102%	4'995'821	3'842'915	5'614'540	5'614'540	77%	112%	112%
HH, Gew., DL	Erdgas	4'264'033	4'348'587	4'277'761	4'566'721	4'566'721	98%	105%	105%	3'715'284	3'469'653	4'425'600	4'425'600	93%	119%	119%
HH, Gew., DL	Holz															
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	32'359	27'453	24'419	29'482	29'486				25'700	20'025	28'490	28'494	78%	111%	111%
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	559'863	490'708	427'646	539'484	539'703	87%	110%	110%	464'871	345'353	530'677	530'893	74%	114%	114%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	1'510'379	1'525'899	1'336'820	1'531'859	1'531'859	88%	100%	100%	1'164'177	926'146	1'164'177	1'164'177	80%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	1'604'775	1'535'541	1'453'229	1'538'941	1'538'941	95%	100%	100%	1'503'265	1'318'152	1'501'882	1'501'882	88%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz															
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge															
<b>Industrie-Abfallwirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	2'309'374	2'535'145	2'535'145	2'535'145	2'535'145	100%	100%	100%	2'601'520	2'601'520	2'601'520	2'601'520	100%	100%	100%
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner															
Kompostierung und Vergärung	Einwohner															
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	508'316	460'666	402'664	505'010	505'229	87%	110%	110%	435'557	325'811	495'416	495'635	75%	114%	114%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere															
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge															
<b>Summe</b>		<b>38'752'252</b>	<b>32'010'944</b>	<b>28'908'436</b>	<b>33'883'488</b>	<b>33'892'189</b>	<b>90%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>24'866'508</b>	<b>19'388'098</b>	<b>28'635'241</b>	<b>28'645'035</b>	<b>78%</b>	<b>115%</b>	<b>115%</b>
<b>Min. / Max.</b>							<b>83%</b>		<b>111%</b>					<b>65%</b>		<b>124%</b>

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7
- Die Heizöl Emissionen der Industrie für 2030 im Szenario WOM wurden aufgrund unplausibler Daten vom Szenario WEM 2030 über nommen.

Tabelle 15: Kohlendioxid CO<sub>2</sub> biogen

CO2 biogen-Emissionen																	
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030			
		REF t/a	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %	
100% = WEM																	
<b>Verkehr</b>																	
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	33'775	1'115'750	1'848'902	162'352	165'985	166%	15%	15%	1'234'234	2'224'338	173'838	187'296	180%	14%	15%	
Schieneverkehr	Diesel																
Schiffsverkehr	liquid fuels																
Flugverkehr	Kerosin																
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																	
HH, Gew., DL	Heizöl																
HH, Gew., DL	Erdgas																
HH, Gew., DL	Holz	2'589'331	2'721'435	2'581'137	2'727'416	2'742'223	95%	100%	101%	2'592'658	2'042'440	2'623'083	2'645'925	79%	101%	102%	
Garten, Hobby	Benzin/Diesel																
<b>Industrie</b>																	
Baumaschinen	Diesel																
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl																
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas																
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	972'170	939'439	1'036'483	949'099	949'099	110%	101%	101%	981'570	1'177'138	1'007'307	1'007'307	120%	103%	103%	
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge																
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																	
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	2'424'296	4'416'771	4'412'059	4'416'771	4'416'771	100%	100%	100%	6'593'645	6'556'695	6'593'645	6'593'645	99%	100%	100%	
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	129'722	140'362	140'362	140'362	140'362	100%	100%	100%	145'975	145'975	145'975	145'975	100%	100%	100%	
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	347'954	382'507	382'507	374'865	374'865	100%	98%	98%	430'932	430'932	398'902	398'902	100%	93%	93%	
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																	
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel																
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere																
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	40'052	36'046	36'046	36'046	36'046	100%	100%	100%	36'046	36'046	36'046	36'046	100%	100%	100%	
<b>Summe</b>		<b>6'537'300</b>	<b>9'752'310</b>	<b>10'437'495</b>	<b>8'806'911</b>	<b>8'825'351</b>	<b>107%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>11'979'013</b>	<b>12'577'518</b>	<b>10'942'749</b>	<b>10'979'049</b>	<b>105%</b>	<b>91%</b>	<b>92%</b>	
<b>Min. / Max.</b>							95%		101%					79%		103%	

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7

Tabelle 16: Methan CH<sub>4</sub>

CH <sub>4</sub> -Emissionen																
Kategorien		2010	2020				2020			2030				2030		
		REF t/a	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %
		100% = WEM									100% = WEM					
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	1'041	633	610	659	795	96%	104%	126%	450	413	494	649	92%	110%	144%
Schienenverkehr	Diesel	0.43	0.44	0.40	0.48	0.48	90%	109%	109%	0.45	0.36	0.50	0.50	79%	112%	112%
Schiffsverkehr	liquid fuels	26	26	25	28	27	93%	105%	104%	27	23	29	28	86%	107%	104%
Flugverkehr	Kerosin	13	14	14	15	15	98%	105%	102%	14	14	15	15	96%	105%	102%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
HH, Gew., DL	Heizöl	161	54	52	56	83	95%	102%	153%	34	26	38	57	77%	113%	168%
HH, Gew., DL	Erdgas	485	493	485	526	526	98%	107%	107%	423	394	509	509	93%	120%	120%
HH, Gew., DL	Holz	1'792	1'218	1'137	1'219	1'564	93%	100%	128%	897	683	902	1'377	76%	101%	154%
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	35	26	25	26	30	97%	102%	115%	27	25	28	30	94%	103%	113%
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	16	16	15	17	17	94%	105%	104%	16	15	18	17	88%	107%	104%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	31	31	28	32	32	91%	101%	101%	23	17	23	23	76%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	170	163	155	164	164	95%	100%	100%	160	140	160	160	88%	100%	100%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	94	47	81	47	61	174%	101%	131%	35	112	35	58	323%	102%	167%
Lösemittelverbrauch Ind+Gew	Menge															
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge															
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	6'669	7'201	7'201	7'201	7'201	100%	100%	100%	7'489	7'489	7'489	7'489	100%	100%	100%
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	13'652	9'284	9'284	7'085	7'085	100%	76%	76%	17'944	17'944	9'406	9'406	100%	52%	52%
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	68	65	63	66	69	97%	102%	107%	68	63	70	72	94%	103%	106%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere	31'522	28'777	28'808	30'389	30'389	100%	106%	106%	28'777	24'108	30'303	30'303	84%	105%	105%
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	165	149	149	149	149	100%	100%	100%	149	149	149	149	100%	100%	100%
<b>Summe</b>		<b>55'941</b>	<b>48'199</b>	<b>48'132</b>	<b>47'678</b>	<b>48'207</b>	<b>100%</b>	<b>99%</b>	<b>100%</b>	<b>56'531</b>	<b>51'616</b>	<b>49'666</b>	<b>50'341</b>	<b>91%</b>	<b>88%</b>	<b>89%</b>
<b>Min. / Max.</b>							90%		153%					76%		168%

## Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7
- Die Heizöl Emissionen der Industrie für 2030 im Szenario WOM, wurden aufgrund unplausibler Daten vom Szenario WEM 2030 übernommen
- Die extreme Zunahme der Holzverbrennung in der Industrie im Szenario WAM wurde überprüft und entspricht den BAFU-Daten

Tabelle 17: Lachgas N<sub>2</sub>O

N <sub>2</sub> O-Emissionen																
Kategorien		2010	2020			2020			2030				2030			
		REF t/a	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %	REF t/a	TIEF t/a	WOM t/a	HOCH t/a	TIEF %	WOM %	HOCH %
		100% = WEM					100% = WEM					100% = WEM				
<b>Verkehr</b>																
Strassenverkehr	Benzin/Diesel	291	296	268	296	296	91%	100%	100%	297	242	305	305	82%	103%	103%
Schiennenverkehr	Diesel	1.6	1.7	1.5	1.9	1.9	90%	109%	109%	1.7	1.4	1.9	1.9	79%	112%	112%
Schiffsverkehr	liquid fuels	4.4	4.4	4.0	4.7	4.7	91%	107%	107%	4.4	3.6	4.9	4.9	82%	110%	110%
Flugverkehr	Kerosin	3.9	4.3	4.3	4.5	4.5	98%	104%	104%	4.3	4.1	4.4	4.4	96%	104%	104%
<b>Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen</b>																
0																
HH, Gew., DL	Heizöl	100	65	62	68	68	95%	104%	104%	41	31	47	47	77%	115%	115%
HH, Gew., DL	Erdgas	7.5	7.7	7.6	8.1	8.1	98%	105%	105%	6.6	6.2	7.8	7.8	93%	119%	119%
HH, Gew., DL	Holz	43	114	104	114	114	91%	100%	100%	108	78	109	109	72%	101%	101%
Garten, Hobby	Benzin/Diesel	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	94%	101%	101%	0.9	0.8	1.0	1.0	86%	107%	107%
<b>Industrie</b>																
Baumaschinen	Diesel	21	20	18	22	22	90%	109%	109%	20	16	23	23	80%	112%	112%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Heizöl	15	15	11	13	13	75%	86%	86%	11	8	10	10	71%	88%	88%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Erdgas	3.1	3.0	2.6	2.7	2.7	87%	92%	92%	2.9	2.3	2.7	2.7	81%	92%	92%
Industrie, Flächen- und Punktquellen	Holz	36	40	42	40	40	106%	101%	101%	41	46	42	42	111%	103%	103%
Lösemittelverbrauch Ind+Gew Menge																
<b>Industrie-Abfallbewirtschaftung</b>																
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	Menge	49	37	37	37	42	100%	100%	115%	43	43	43	46	100%	100%	107%
Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	Einwohner	476	519	519	519	519	100%	100%	100%	541	541	541	541	100%	100%	100%
Kompostierung und Vergärung	Einwohner	71	163	163	118	118	100%	73%	73%	359	359	173	173	100%	48%	48%
<b>Land-/Forstwirtschaft</b>																
Land- und forstwirtschaftl. Fahrzeuge	Diesel	18	17	16	19	19	90%	108%	108%	17	14	19	19	80%	112%	112%
Landwirtschaft: Tiere, Kulturen, Böden	Tiere	1'251	1'132	1'132	1'175	1'175	100%	104%	104%	1'132	1'097	1'175	1'175	97%	104%	104%
Land-/Forstwirtschaft: offene Verbrennung	Menge	4.4	3.9	3.9	3.9	3.9	100%	100%	100%	3.9	3.9	3.9	3.9	100%	100%	100%
<b>Summe</b>		<b>2'397</b>	<b>2'444</b>	<b>2'397</b>	<b>2'448</b>	<b>2'453</b>	<b>98%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>1'500</b>	<b>1'397</b>	<b>1'335</b>	<b>1'338</b>	<b>93%</b>	<b>89%</b>	<b>89%</b>
<b>Min. / Max.</b>							75%		115%					71%		119%

Bemerkungen:

- Grün markierte Felder: HOCH = WOM
- Zeile Min./Max. siehe auch Tabelle 7

## 5. Schlussbemerkungen

### 5.1. Kommentare zu den Resultaten

Die Abweichungen der Szenarien TIEF und HOCH vom Referenzszenario sind für alle Substanzen und alle PolluMap-Kategorien unterschiedlich:

- Generell: Grosse Abweichungen treten dann auf, wenn die Änderungen 2010-2020-2030 gross sind. Das Niveau der Emissionen hat hingegen wenig Einfluss auf die Abweichungen. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend und liegt in der Anlage der Sensitivitätsanalyse begründet.
- Strassen- und Non-road-Verkehr: Es treten grosse Abweichungen bei den NO<sub>x</sub>-, NMVOC-, PM10 exhaust und BC-Emissionen auf. Dort wird dank der neuen Euronormen und dem sich durchsetzenden Dieselpartikelfilter eine starke Abnahme der Emissionsfaktoren erwartet, was sich im Szenario WAM als grosse Abweichung „nach unten“, im Szenario WOM hingegen als grosse Abweichung „nach oben“ äussert.
- Haushalte/Gewerbe/DL: In allen drei Szenarien wird von einem deutlichen Rückgang des Brennstoffverbrauch und einer zunehmenden Substitution von Heizöl durch Erdgas (und Holz) ausgegangen, dadurch bleiben die Unterschiede zwischen den Szenarien in einem mittleren Bereich, was zu mittleren Abweichungen von TIEF und HOCH ggü. REF führt.
- Die Industrie zeigt ein ähnliches Bild wie Haushalte/Gewerbe/DL mit entsprechend ähnlichen Abweichungen vom Referenzszenario.
- In der Abfallbewirtschaftung werden wichtige Änderungen in der Emissionsentwicklung angenommen, die eng an die Produktion erneuerbarer Energien (Biogas, Biotreibstoffe) geknüpft sind. Deren Durchsetzung verläuft im Szenario TIEF relative nahe an der Referenzentwicklung, sodass im Szenario TIEF nur geringe Abweichungen auftreten. Im Szenario WOM hingegen, in dem der Verbrauch von Biogas und Biotreibstoffen nur langsam wächst, werden zwar mehr fossile Energieträger verbraucht, aber die Emissionen von biogenem CO<sub>2</sub> und die bei der Produktion von Biogas vermehrt entstehenden CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen bleiben hinter jenen in den Szenarien REF und TIEF deutlich zurück, was dazu führt, dass im Szenario WOM ihre Abweichungen „nach unten“ führen, d.h. zu geringeren Emissionen als im Szenario REF.
- Für die Landwirtschaft ergeben sich nur sehr geringe Abweichungen. Der Grund liegt darin, dass sich die verschiedenen Szenarien kaum unterscheiden mangels echten Projektionen von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren.

## 5.2. Vergleich mit den früheren Sensitivitätsanalysen

Zum Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit den früheren Sensitivitätsanalysen (AWEL 2012) lässt sich folgendes sagen:

- Die Methode der aktuellen Analysen weicht erheblich von den früheren Methoden ab. Für die früheren Analysen wurden beim Strassenverkehr Fahrleistungen, Absenkraten, Flottenmix und Verkehrssituationen einzeln nach plausiblen, aber letztlich teils willkürlichen Annahmen variiert und die Auswirkungen auf die Emissionen simuliert. Zufälligerweise ergeben sich für das Szenario TIEF beim NO<sub>x</sub> fast dieselben Abweichungen vom Szenario REF für die NO<sub>x</sub>-Emissionen. Beim Szenario HOCH sind die Abweichungen im aktuellen Szenario hingegen fast doppelt so gross. Beim PM10 ist die Situation gerade umgekehrt: Im Szenario TIEF sind die aktuellen Resultate doppelt so gross, während sie im Szenario HOCH in der aktuellen Analyse aber nur etwa halb so gross sind wie in der früheren Analyse.
- Bei Haushalten /DL und bei der Industrie sind die Abweichungen bei beiden Szenarien TIEF und HOCH in der aktuellen Analyse geringer als früher.
- Für Abfallbewirtschaftung, Land- und Forstwirtschaft lassen sich keine Vergleich anstellen, weil diese früher nicht separat analysiert worden waren.
- Betrachtet man die Summe der Emissionen, ergeben sich folgende Unterschiede

**Tabelle 18: Vergleich Sensitivitätsanalysen AWEL (2012) und aktuell**

Schadstoff	Szenario TIEF 2020		Szenario HOCH 2020	
	Version 2012	aktuelle Version (TIEF=WAM)	Version 2012	aktuelle Version (HOCH=WOM erg.)
NO <sub>x</sub>	-13%	-7%	+14%	+29%
PM10 gesamt	-6%	-5%	+15%	+12%
PM10 exhaust		-5%		+29%
PM10 non-exhaust		-5%		+6%

In Bezug auf die Immissionsmodellierung ist zu erwarten,

- dass beim NO<sub>x</sub> resp. NO<sub>2</sub> die Abweichung „nach oben“ im Szenario HOCH deutlicher ausfallen wird. Nicht nur, weil die Gesamtemissionen stärker abweichen, sondern weil der Verkehr, dessen Emissionen bodennah ausgestossen werden, in der aktuellen Version fast doppelt so stark nach oben abweicht.
- Beim PM10 werden sich leichte Unterschiede in den Szenarien ergeben. Die Spannweite zwischen den Emissionen TIEF und HOCH ist etwas geringer geworden (21% => 17%), weil die Spannweite der non-exhaust PM10-Emissionen in der aktuellen Version deutlich geringer ausfällt. Ob sich für die Immissionsmodellierung wesentliche Änderungen ergeben, ist dann allerdings von den Annahmen zu den weiträumig verfrachteten Vorläufersubstanzen und importierten Primäranteilen abhängig, weil diese einen grösseren Anteil an den PM10-Immissionen haben als die lokal verursachten Anteile.

### 5.3. Hinweise für PolluMap-Applikationen auf Basis der Szenarien TIEF und HOCH

#### 5.3.1. Aggregierung auf PolluMap-Kategorien

Für die Modellierung von NO<sub>2</sub>- und PM10-Immissionen müssen die erweiterten PolluMap-Kategorien auf Stufe der ursprünglichen PolluMap Kategorien aggregiert werden. Konkret heisst das, dass die Emissionen innerhalb der Hauptgruppen Haushalte, Gewerbe DL und Industrie für alle Energieträger summiert werden müssen.

Die Emissionen aus der Hauptgruppe Industrie Abfallbewirtschaftung müssten korrekterweise nach den einzelnen Anlagen aufgeschlüsselt und im Immissionsmodell als Punktquellen modelliert werden. Bei den KVA ist dies bereits der Fall. Für die übrigen Quellen sind NO<sub>x</sub> und PM10-Emissionen allerdings relativ gering, sodass der Aufwand für eine separate Modellierung nicht gerechtfertigt erscheint. Um die Emissionen trotzdem im Modell integriert zu haben, sollten sie zu den Industrieemissionen addiert werden (wie es in den bisherigen PolluMap-Applikation auch bereits der Fall war).

#### 5.3.2. Importierte Immissionen, sekundäres PM10

Bei einer Modellierung der NO<sub>2</sub> und PM10-Immissionen sind neben den lokalen Emissionen auch noch weitere, wichtige Beiträge zu beachten: Importierte Immissionen und im Fall des PM10 auch noch sekundäre Anteile. Zum Vorgehen sei auf den Schlussbericht der früheren Sensitivitätsanalyse (AWEL 2012) verwiesen:

- Werden mit dem NO<sub>2</sub>-Immissionsmodell Sensitivitätsanalysen mit den beiden Szenarien TIEF und HOCH berechnet, so ist auch die NO<sub>x</sub>-Hintergrundimmission im Szenario TIEF um den mittleren Prozentsatz zu verringern, nämlich -7% (2020) bzw. -15% (2030), siehe Tabelle 8. Umgekehrt ist sie im Szenario HOCH um +29% (2020) bzw. +59% (2030) zu erhöhen. Dieses Vorgehen operationalisiert die Vorstellung, dass die Szenarien in der ganzen Schweiz passieren und dass deshalb auch die Emissionen, die die importierten Immissionen verursachen, sich im gleichen Mass verändern werden wie im Kanton Zürich. Auf eine weitere Differenzierung bezüglich importierten Anteilen aus dem Ausland wird der Einfachheit halber verzichtet (sonst müssten auch noch für das Ausland Szenarien betrachtet werden).
- Beim PM10 ist die Sachlage komplizierter. Ohne näher darauf einzugehen, sei auf die Ausführungen des früheren Berichts zu den PM10-Immissionsbeiträgen aus benachbarten Kantonen und aus dem Ausland auf den Seiten 32-34 verweisen (AWEL 2012).



### 5.3.3. Sensitivitäten aus Unsicherheitsüberlegungen

Alternativ zu den in der vorliegenden Studie gewonnen Sensitivitäten aus Szenarien könnten auch Informationen aus Unsicherheitsanalysen als Grundlage für Sensitivitätsanalysen verwendet werden. Die Begründung für die zu variierenden Emissionen wäre entsprechend anzupassen.

Für die Emissionen der schweizerischen Luftschadstoff- und Treibhausgasinventare werden jährlich Unsicherheitsanalysen durchgeführt und dabei Unsicherheiten für ca. 150 Emissionskategorien berücksichtigt; die Emissionen sind also deutlich stärker desaggregiert als die PolluMap-Kategorien (FOEN 2015a, 2015b). Für die Hauptkategorien liegen die Unsicherheiten in den folgenden Intervallen, wobei die Streuung daher kommt, dass mehrere Emissionskategorien unter den PolluMap-Kategorien vorkommen.

Verkehr	NO <sub>x</sub> 20%-30%	PM10 30%-60%
Haushalte/Gew/DL	NO <sub>x</sub> 15%-30%	PM10 50%-80%
Industrie	NO <sub>x</sub> 10%-30%	PM10 10%-65%
Land-/Forstwirtschaft	NO <sub>x</sub> 50%	PM10 50%

Sollten PolluMap-Applikationen auf der Basis von Unsicherheiten durchgeführt werden, wären vorgängig die Unsicherheiten auf Stufe der PolluMap-Kategorien zu bestimmen. Das wäre mithilfe einer einfachen Fehlerfortpflanzungsrechnung möglich: Ausgehend von den Unsicherheitsangaben in FOEN (2015a, 2015b) wären alle dort angegebenen Kategorien auf die Stufe der PolluMap-Kategorien zu „addieren“ (gemäss Fehlerfortpflanzungsgesetz).

## Literatur

**AWEL 2012:** NO<sub>x</sub> -/ PM10-Emissionen Kanton Zürich, Sensitivitätsanalysen. INFRAS im Auftrag des AWEL. 28. Nov. 2012. Zürich/Bern.

**FOEN 2014:** Switzerland's Sixth National Communication and First Biennial Report under the UNFCCC. Third National Communication under the Kyoto Protocol to the UNFCCC. Federal Office for the Environment (FOEN). Bern.

<http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/14577/15538/index.html?lang=en>

**FOEN 2015a:** Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2013, National Inventory Report Including reporting elements under the Kyoto Protocol, Submission of 15 April 2015 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol, Federal Office for the Environment FOEN, Climate Division, 3003 Bern, Switzerland

[www.climatereporting.ch](http://www.climatereporting.ch)

**FOEN 2015b:** Switzerland's Informative Inventory Report 2016 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2015 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Chemicals Division. 3003 Bern, Switzerland

[http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/status\\_reporting/2015\\_submissions/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/status_reporting/2015_submissions/)