



CISMA Srl - Società di Ingegneria

www.cisma.it - info@cisma.it

Sede legale Bolzano - c/o IDM Südtirol:
via Siemens 19, 39100 Bolzano
Tel 0471.094724/26 - Fax 0471.094723

Sede Trento:
via Malpaga 8, 38122 Trento
Tel 0461.262264

Das Emissionskataster

Auftraggeber



Landesagentur für Umwelt
Amt für Luft und Lärm

Dokument	Datum	Verfasser
-----------------	--------------	------------------

2015_08_EMI_s/DE

28/10/2016

Ing. Andrea Cemin

Verantwortlicher

Ing. Gianluca Antonacci

Inhaltsverzeichnis

Liste der Abbildungen.....	3
Liste der Tabellen.....	4
Allgemeiner Teil	5
Allgemeiner Teil	5
Schwefeloxide (SO _x).....	13
Stickstoffoxide (NO _x).....	15
Staub (Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5}).....	22
Kohlenmonoxid (CO).....	25
Ammoniak (NH ₃)	26
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	27
Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC).....	28
Schwermetalle	29
Treibhausgase.....	29
Brutto- und Netto-CO ₂ -Emissionen.....	30
CH ₄ -Emission	32
N ₂ O Emission	33
CO ₂ -Äquivalent und Treibhauspotential	33
Emissionen von CO ₂ -Äquivalent.....	34
Kohlenstoff-Absorption.....	35
Anhang	38
Sekundärschadstoffe.....	38
Sekundärer Feinstaub (PM _{2,5} und PM ₁₀).....	38
Sekundäres Stickstoffdioxid (NO ₂)	38
Ozon (O ₃).....	39

Liste der Abbildungen

Abbildung 1: Prozentuelle Verteilung der Makroschadstoff- und klimarelevanten Gasemissionen im Jahre 2010	8
Abbildung 2: Prozentuelle Verteilung der Makroschadstoff- und klimarelevanten Gasemissionen im Jahre 2013	9
Abbildung 3: Prozentuelle Verteilung der Mikroschadstoffemissionen im Jahre 2013	12
Abbildung 4: Prozentuelle Verteilung der SO ₂ -Emissionen (Jahr 2013)	14
Abbildung 5: Prozentuelle Verteilung der SO ₂ -Emissionen bezogen auf die Art von Brennstoff (Jahr 2013)	14
Abbildung 6: Räumliche Verteilung der SO ₂ -Emissionen im Jahre 2013	15
Abbildung 7: Zeitlicher Trend der NO _x -Emissionen in Südtirol	16
Abbildung 8: Alte und Neue Emissionsfaktoren der NO _x bei Diesel-Pkw (HBEFA)	17
Abbildung 9: Neue Emissionsfaktoren für NO und NO ₂ aus Diesel-Pkw / 110 km/h – HBEFA 3.2 (Wert Euro 6 geschätzt auf der Grundlage weniger Feldmessungen)	19
Abbildung 10: Anteil unterschiedlicher Fahrzeugtypen an der NO _x - Gesamtemission der A22 (Jahr 2013)	20
Abbildung 11: Zusammensetzung des Schwerverkehrs (> 3,5 t) an der Brennergrenze (ASFINAG 01/2015)	20
Abbildung 12: Anteil unterschiedlicher Straßentypen an der Gesamtemission von NO _x (Jahr 2013)	21
Abbildung 13: Räumliche Verteilung der NO _x -Emissionen im Jahre 2013	21
Abbildung 14: Prozentuelle Verteilung der PM ₁₀ -Emissionen (Jahr 2013)	23
Abbildung 15: Holzverbrauch pro Jahr in den Gemeinden Südtirols	23
Abbildung 16: Vergleich der PM ₁₀ -Emissionen nach Typ der Emissionsquelle in den Gemeinden Latsch und Bozen (2013)	24
Abbildung 17: Räumliche Verteilung der PM ₁₀ -Emissionen im Jahre 2013	25
Abbildung 18: Prozentuelle Verteilung der CO-Emissionen (Jahr 2013)	26
Abbildung 19: Prozentuelle Verteilung der NH ₃ -Emissionen (Jahr 2013)	27
Abbildung 20: Prozentuelle Verteilung der VOC-Emissionen (Jahr 2013)	28
Abbildung 21: Prozentuelle Verteilung der Brutto-CO ₂ -Emissionen (2013)	31
Abbildung 22: Prozentuelle Verteilung der Netto-CO ₂ -Emissionen (2013)	31
Abbildung 23: Anteil unterschiedlicher Straßentypen an der Gesamtemission von CO ₂ (2013)	32
Abbildung 24: Prozentuelle Verteilung der CH ₄ -Emissionen (Jahr 2013)	32

Abbildung 25: Prozentuelle Verteilung der N ₂ O-Emissionen (Jahr 2013)	33
Abbildung 26: Beitrag der einzelnen Schadstoffe auf die Emissionen von CO ₂ -Äquivalent .	34
Abbildung 27: CO ₂ -Äquivalente der Schadstoffe CO ₂ , N ₂ O und CH ₄	35
Abbildung 28: CO ₂ -Absorption von Hauptgruppe 11 (kt).....	36

Liste der Tabellen

Tab. 1: Im Emissionskataster der Provinz Bozen berücksichtigte Makroschadstoffe und Treibhausgase.....	5
Tab. 2: Im Emissionskataster der Provinz Bozen berücksichtigte Mikroschadstoffe.....	6
Tab. 3: Hauptgruppen des Emissionskatasters der Provinz Bozen	7
Tab. 4: Makroschadstoffemissionen der Jahre 2010 und 2013	10
Tab. 5: Treibhausgasemissionen der Jahre 2010 und 2013 (die Verbrennung von Biomasse wird als neutral betrachtet und die CO ₂ -Emissionen als gleich Null berechnet).....	11
Tab. 6: Anteil unterschiedlicher Hauptgruppen und Brennstoffe auf die B[a]p - Gesamtemission (Jahr 2013)	28
Tab. 7: Für die Berechnung des CO ₂ -Äquivalents verwendete Koeffizienten	33
Tab. 8: Netto-CO ₂ -Emissionen und Emissionen von CO ₂ -Äquivalent ohne den absorbierten Anteil.....	37

Allgemeiner Teil

Das Emissionskataster ermöglicht die Darstellung von Emissionsdaten in unterschiedlicher, räumlicher und zeitlicher Auflösung für alle relevanten Luftschadstoffe:

Makroschadstoffe

<i>Name</i>	<i>Summenformel</i>	<i>Einheit</i>
Ammoniak	NH ₃	[t/Jahr]
Flüchtige organische Verbindungen	NMVO	[t/Jahr]
Kohlenmonoxid	CO	[t/Jahr]
Schwefeldioxid	SO ₂	[t/Jahr]
Staub < 2.5 µm	PM _{2.5}	[t/Jahr]
Staub < 10 µm	PM ₁₀	[t/Jahr]
Stäube insgesamt	TSP	[t/Jahr]
Stickstoffoxid	NO _x	[t/Jahr]

Treibhausgase

<i>Name</i>	<i>Summenformel</i>	<i>Einheit</i>
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	[kt/Jahr]
Methan	CH ₄	[t/Jahr]
Distickstoffmonoxid	N ₂ O	[t/Jahr]

Tab. 1: Im Emissionskataster der Provinz Bozen berücksichtigte Makroschadstoffe und Treibhausgase

Mikroschadstoffe

ANORGANISCHE			
Name	Summenformel	Einheit	
Arsen	As	[kg/Jahr]	
Blei	Pb	[kg/Jahr]	
Cadmium	Cd	[kg/Jahr]	
Chrom	Cr	[kg/Jahr]	
Kupfer	Cu	[kg/Jahr]	
Mangan	Mn	[kg/Jahr]	
Nickel	Ni	[kg/Jahr]	
Quecksilber	Hg	[kg/Jahr]	
Selen	Se	[kg/Jahr]	
Zink	Zn	[kg/Jahr]	
ORGANISCHE			
Name	Summenformel	Einheit	
Benzo(a)pyren	B[a]p	[kg/Jahr]	
Benzo(b)fluoranthen	B[b]F	[kg/Jahr]	
Benzo(k)fluoranthen	B[k]F	[kg/Jahr]	
indeno(cd)pyrene	IcdP	[kg/Jahr]	
Polychlorierte Biphenyle	PCB	[kg/Jahr]	
Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane	PCDD/F	[mg/Jahr]	

Tab. 2: Im Emissionskataster der Provinz Bozen berücksichtigte Mikroschadstoffe

Zur Erstellung des Emissionskatasters wurden sämtliche Emissionsquellen und damit die Verursacher der Emissionen erfasst. Anhand vorliegender Schadstoffmessungen, welche für einen Teil der genehmigungspflichtigen Anlagen jährlich durchzuführen sind, wird die im Bezugsjahr emittierte Schadstoffmenge berechnet. Liegen keine direkten Emissionsdaten vor, was für den Großteil der Quellen zutrifft, so wird die jährliche Emissionsmenge mit Hilfe sogenannter Indikatoren oder statistischer Parameter (z.B. Produktionsmenge oder die Wohnbevölkerung) und der stoff- sowie prozessspezifischen Emissionsfaktoren ermittelt.

Außerdem können die Emissionsquellen, mit den dazugehörigen Emissionsdaten, zu Sektoren unterschiedlichen Detailgrades aggregiert und ausgegeben werden. Dabei wurde die europaweit angewandte CORINAIR- Klassifizierung (CORINAIR / SNAP 97) verwendet, welche folgende Hauptgruppen unterscheidet:

Nr.	Hauptgruppe
1	Energieumwandlung (z.B. Fernheizwerke)
2	Nicht-industrielle Verbrennungsprozesse (z.B. der Hausbrand)
3	Industrielle Verbrennungsprozesse (z.B. die Schmelzöfen)
4	Produktionsprozesse (z.B. Prozesse zur Herstellung von Chemikalien)
5	Verteilung von Brenn- und Kraftstoffen (z.B. die Tankstellen)
6	Verwendung von Lösungsmitteln (z.B. bei Lackierungsarbeiten)
7	Straßenverkehr
8	Andere mobile Quellen und Maschinen (z.B. der Flugverkehr)
9	Abfallbehandlung und –entsorgung (z.B. Müllverbrennungsanlagen)
10	Landwirtschaft (z.B. der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln)
11	Biogene Quellen (z.B. Wälder)

Tab. 3: Hauptgruppen des Emissionskatasters der Provinz Bozen

Derzeit (Stand 2015) sind für Südtirol die Emissionskataster der Jahre 1997, 2000, 2004, 2005, 2007, 2010 und 2013 verfügbar. Es ist wichtig, daran zu erinnern, dass bei der Erstellung der verschiedenen Emissionskataster-Ausgaben Aktualisierungen und neue Methoden angewandt wurden, die zu Abänderungen der Emissionsfaktoren und zur Gliederung in neue Tätigkeiten geführt haben. In bestimmten Sektoren sind die Emissionsdaten der einzelnen Berichtsjahre daher nicht direkt miteinander vergleichbar.

Ab dem Emissionskataster 2005 wurde zur Berechnung und Verwaltung der Emissionsdaten das System INEMAR (Inventario delle Emissioni in Aria) verwendet. Die Berechnung der Emissionen in die Atmosphäre wurde für punktuelle, lineare und diffuse Emissionen vorgenommen und anschließend nach Gemeinde und Brennstoff aggregiert.

Nachfolgend werden die Emissionsdaten der Jahre 2010 und 2013 in tabellarischer und grafischer Form dargestellt:

Makroschadstoffe und Treibhausgase

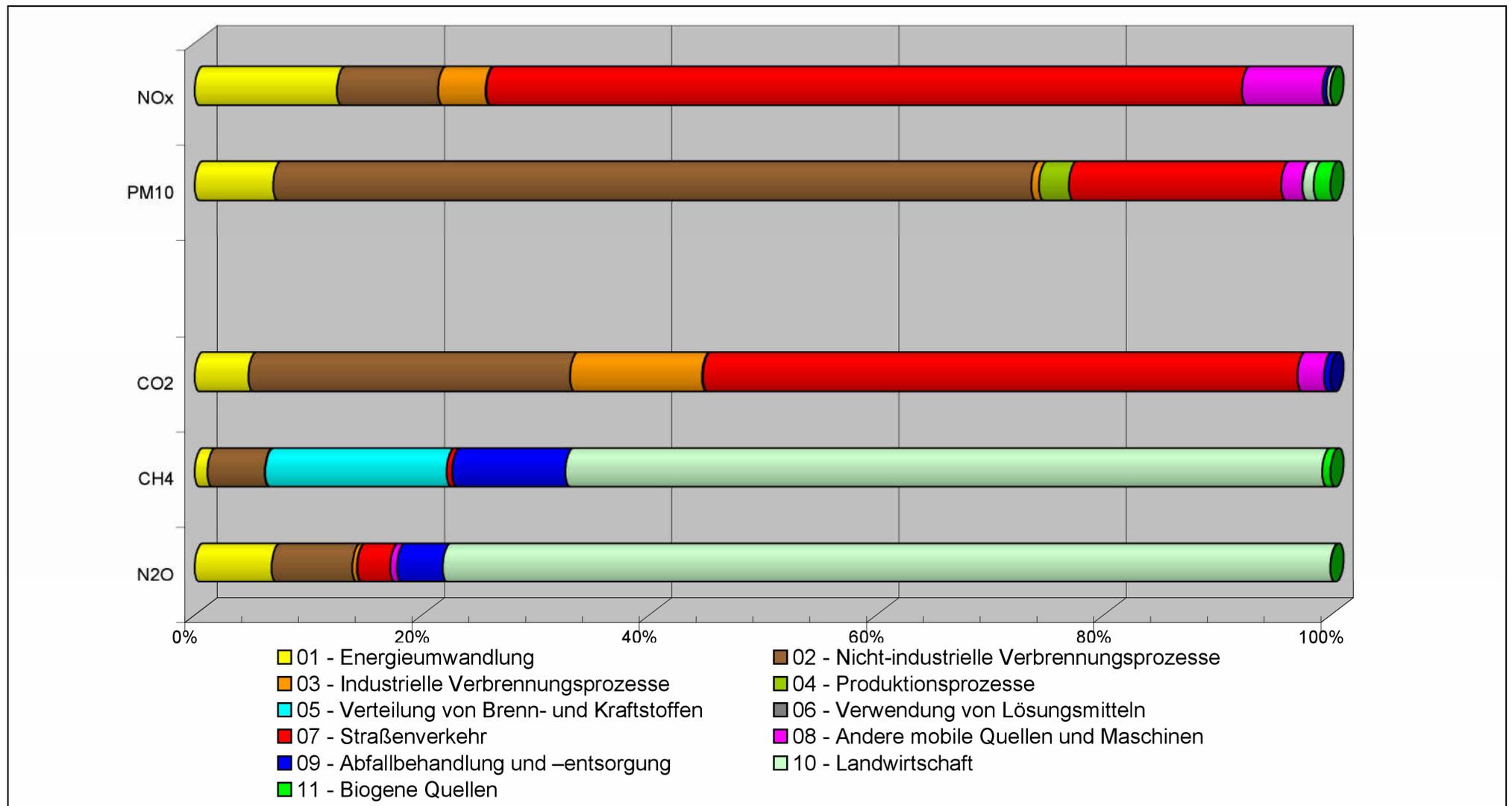


Abbildung 1: Prozentuelle Verteilung der Makroschadstoff- und klimarelevanten Gasemissionen im Jahre 2010

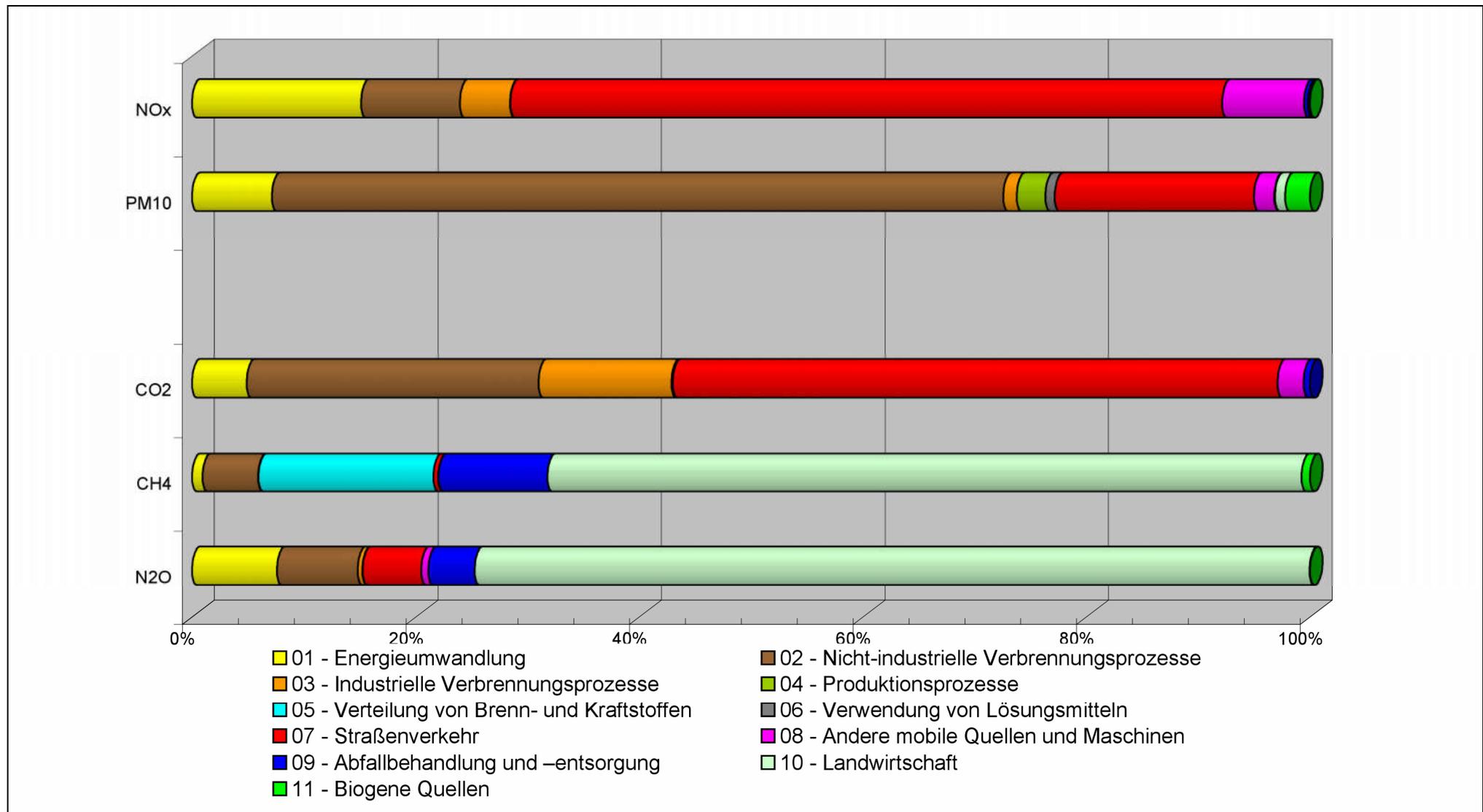


Abbildung 2: Prozentuelle Verteilung der Makroschadstoff- und klimarelevanten Gasemissionen im Jahre 2013

Hauptgr. \ Schadst.	Jahr	CO [t]	COV [t]	NH ₃ [t]	NO _x [t]	PM ₁₀ [t]	PM _{2,5} [t]	TPS [t]	SO ₂ [t]
Energieumwandlung	2010	372	75	-	973	117	112	124	146
	2013	448	79	-	1.142	124	119	131	49
Nicht-industrielle Verbrennungsprozesse	2010	11.439	828	29	690	1.126	1.112	1.185	150
	2013	11.531	833	30	665	1.134	1.120	1.194	132
Industrielle Verbrennungsprozesse	2010	121	64	1	326	11	10	14	175
	2013	123	64	1	338	21	19	24	175
Produktionsprozesse ¹	2010	47	193	-	5	44	16	49	3
	2013	47	193	-	5	44	16	50	3
Verteilung von Brenn- und Kraftstoffen	2010	-	314	-	-	-	-	-	-
	2013	-	314	-	-	-	-	-	-
Verwendung von Lösungsmitteln ²	2010	-	1.445	-	-	-	-	-	-
	2013	-	1.445	-	-	15	14	20	-
Straßenverkehr	2010	5.831	656	83	5.167	315	246	407	7
	2013	4.797	965	63	4.804	309	229	405	8
Andere mobile Quellen und Maschinen ¹	2010	350	68	0,1	553	31	29	31	4
	2013	350	68	0,1	553	31	29	31	4
Abfallbehandlung und -entsorgung	2010	13	3	3	26	1	1	1	5
	2013	11	3	3	24	1	1	1	5
Landwirtschaft	2010	-	3.879	5.213	26	16	5	39	-
	2013	-	3.899	5.138	12	16	5	39	-
Biogene Quellen	2010	39	23.624	0,02	2	25	25	25	0,4
	2013	39	26.521	0,02	2	38	38	38	0,4
Gesamt	2010	18.213	31.149	5.328	7.767	1.688	1.555	1.876	490
	2013	17.347	34.383	5.234	7.544	1.733	1.590	1.933	376
Variation		-5%	10%	-2%	-3%	3%	2%	3%	-23%

Tab. 4: Makroschadstoffemissionen der Jahre 2010 und 2013

- ¹ Im Jahr 2010 registrierter Wert, der für das Jahr 2013 unverändert angeführt wird
- ² Werte der Stäube im Jahr 2013 aufgrund der Abänderung der Berechnungsmethodik (neue Emissionsfaktoren)

Hauptgr.	Schadst.	Jahr	Schadst.		
			CO ₂ [kt]	CH ₄ [t]	N ₂ O [t]
Energieumwandlung		2010	101	220	52
		2013	106	183	56
Nicht-industrielle Verbrennungsprozesse		2010	608	980	54
		2013	569	986	53
Industrielle Verbrennungsprozesse		2010	249	6	3
		2013	260	7	3
Produktionsprozesse ¹		2010	2	0,48	0,19
		2013	2	0,48	0,19
Verteilung von Brenn- und Kraftstoffen		2010	-	3.104	-
		2013	-	3.104	-
Straßenverkehr		2010	1.123	90	22
		2013	1.179	88	39
Andere mobile Quellen und Maschinen ¹		2010	51	2	5
		2013	51	2	5
Abfallbehandlung und -entsorgung		2010	12	1.939	31
		2013	12	1.937	31
Landwirtschaft		2010	-	12.942	596
		2013	-	13.384	553
Biogene Quellen		2010	-	144	0,07
		2013	-	144	0,07
Gesamt		2010	2.146,80	19.428,40	762,93
		2013	2.179,33	19.834,98	740,54
Variation			2%	2%	-3%

Tab. 5: Treibhausgasemissionen der Jahre 2010 und 2013 (die Verbrennung von Biomasse wird als neutral betrachtet und die CO₂-Emissionen als gleich Null berechnet)

Mikroschadstoffe

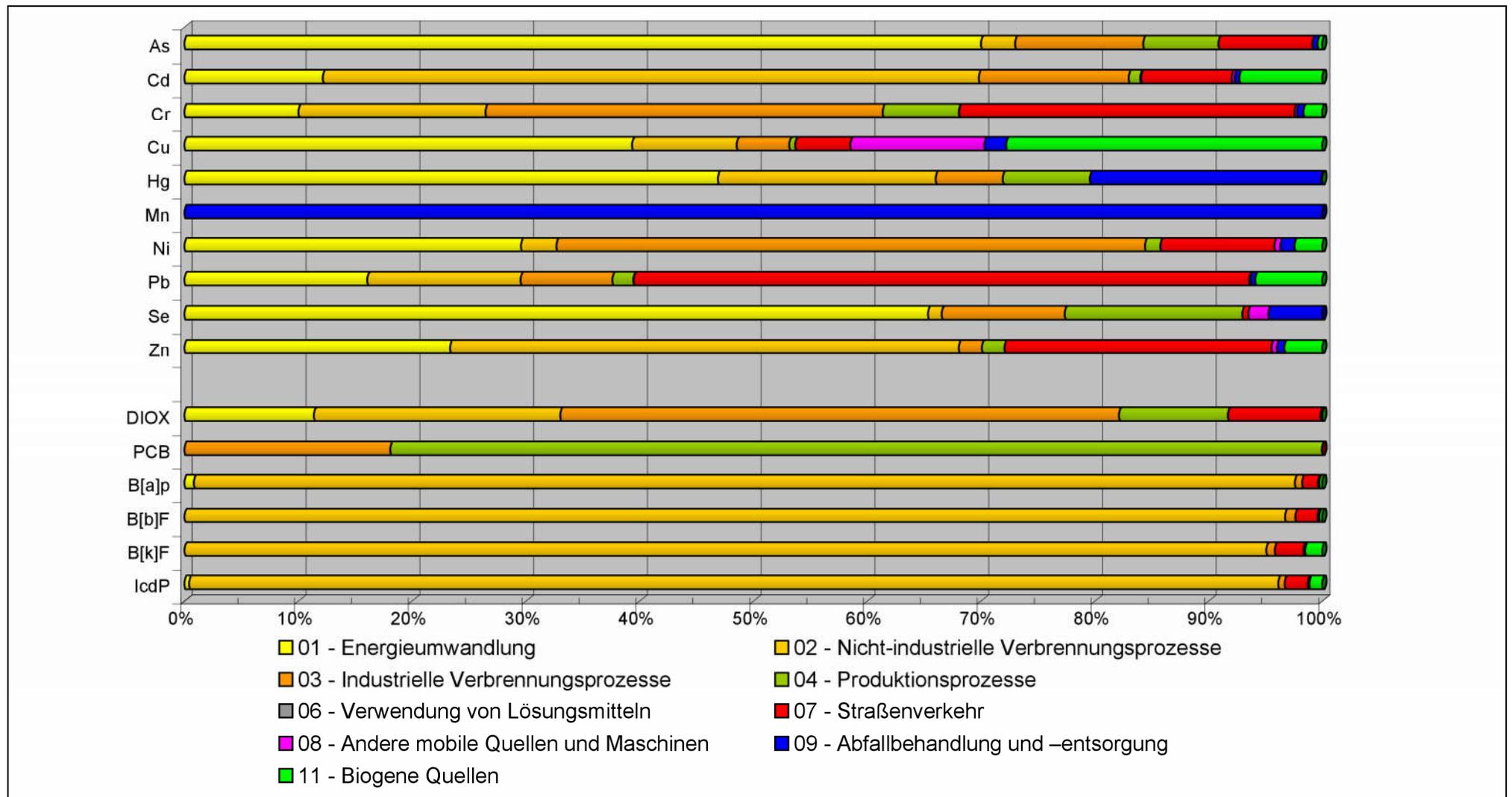


Abbildung 3: Prozentuelle Verteilung der Mikroschadstoffemissionen im Jahre 2013

Aus der Grafik der Makroschadstoffe ist deutlich erkennbar, dass der Straßenverkehr und die nicht-industriellen Verbrennungsprozesse (insbesondere der Hausbrand) den Großteil der Emissionen verursachen. Vor allem in Anbetracht des Immissionsniveaus des Schadstoffes NO_2 , welches bei einigen Luftmessstationen noch immer über dem Grenzwert liegt, ist festzustellen, dass die beiden Sektoren gemeinsam für einen emissionsseitigen Anteil für NO_x von mehr als 70% verantwortlich zeichnen. Ein differenzierteres Bild ergibt sich in der Einzelbetrachtung der wichtigsten Schadstoffe:

Schwefeloxide (SO_x)

Schwefeldioxidemissionen beeinträchtigen die menschliche Gesundheit, tragen erheblich zum Problem des sauren Regens bei und sind außerdem an der Bildung von Feststoffteilchen in der Atmosphäre beteiligt. SO_2 entsteht hauptsächlich aus der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe wie Öl und Kohle.

Kohle ist in Südtirol seit der Einführung des Landesgesetzes zur Luftreinhaltung vom 16. März 2000, Nr. 8, als Brennstoff verboten. Erdölderivate werden in Südtirol hingegen vor allem in Form von Heizöl, Schweröl, Benzin und Diesel eingesetzt. Seit der Einführung und Umsetzung von unterschiedlichsten EU-Richtlinien zur Verminderung der Schwefeloxid-Emissionen ist sowohl im Straßenverkehr als auch bei der Produktion von Wärme durch die Verbrennung von Leicht- und Schweröl ein deutlicher Verbesserungstrend erkennbar. Zudem ist in Südtirol die Verwendung von Schweröl zum Heizen von Gebäuden verboten. Einzig in einigen Produktionsbetrieben kommt es noch zum Einsatz. Der ständige Ausbau des Methanetzes hat überdies dazu geführt, dass viele Betriebe von Heiz- oder Schweröl auf den deutlich umweltfreundlicheren Brennstoff Methan umgestiegen sind (umweltfreundlicher nicht nur hinsichtlich der Schwefeloxide).

Aus dem oben Gesagten folgt, dass in Südtirol die Produktionsbetriebe die Hauptemissionsquelle von SO_2 sind.

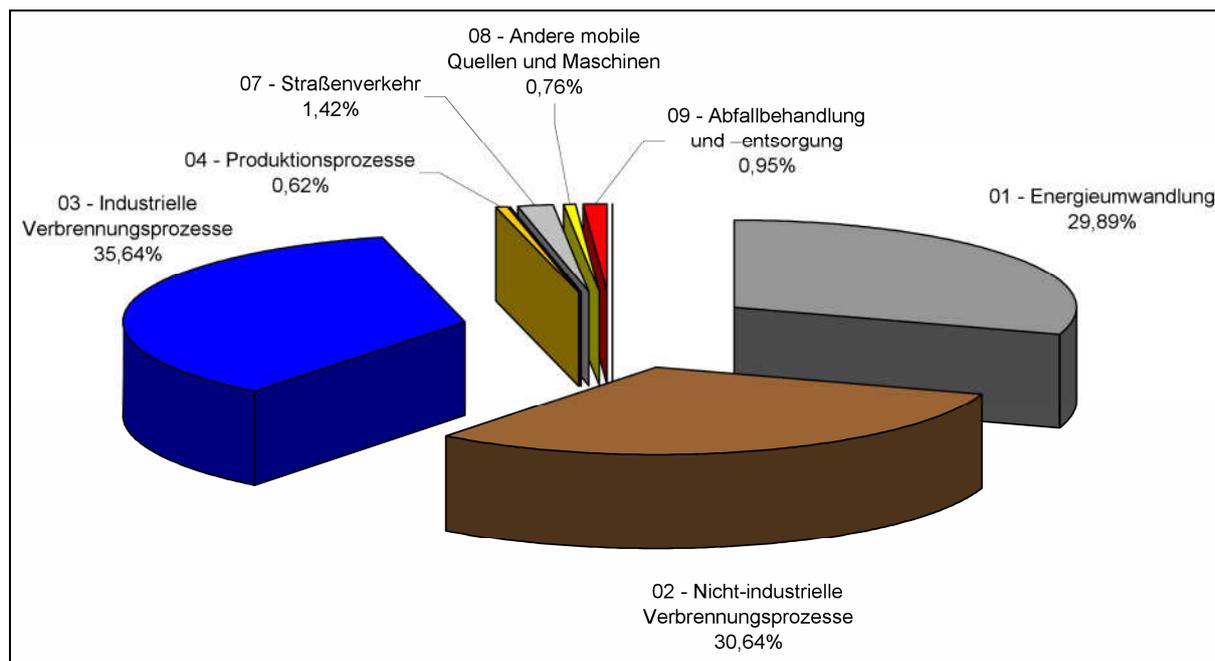


Abbildung 4: Prozentuelle Verteilung der SO₂-Emissionen (Jahr 2013)

Die Betrachtung der SO₂-Emissionen aus der Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe unterstreicht den großen Einfluss flüssiger Brennstoffe, allen voran Schweröl und Heizöl. Anzumerken ist hierbei, dass trotz des deutlich geringeren Schwerölverbrauchs die Emissionen jene von Heizöl oder Diesel übersteigen.

Schließlich ist zu betonen, dass die starke Verringerung der von diesen Brennstoffen erzeugten Emissionen zu einer Zunahme des Gewichts der Emissionen aus der Brennholzheizung (jetzt bei 22%) und der Tätigkeiten ohne Brennstoff (10,25%) gegenüber den früheren Emissionskatastern geführt hat.

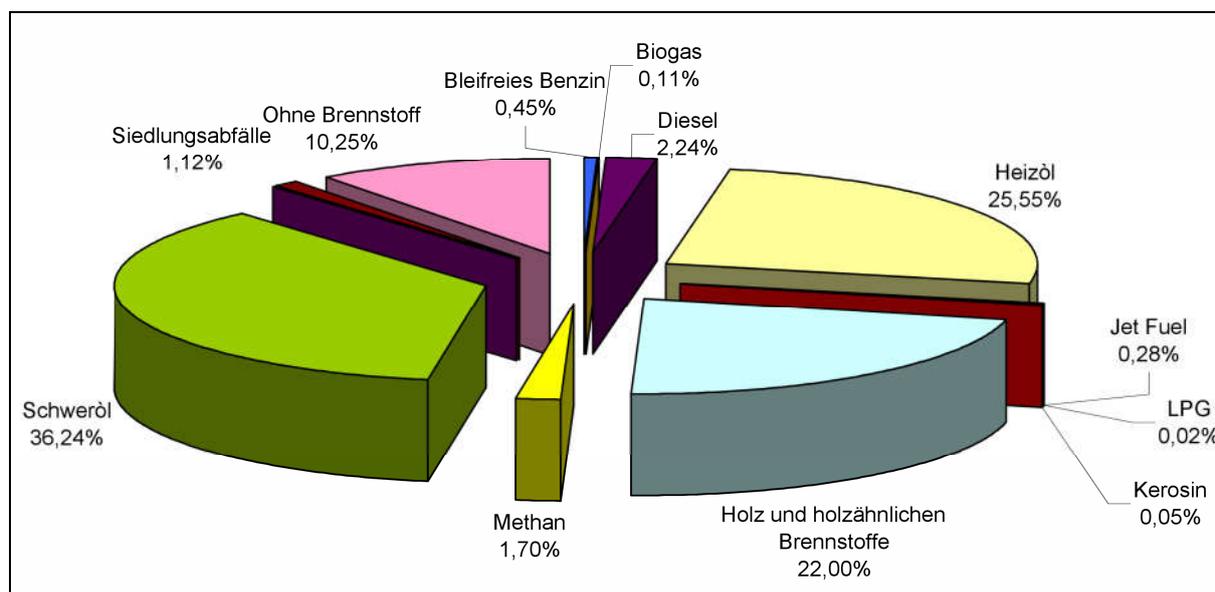


Abbildung 5: Prozentuelle Verteilung der SO₂-Emissionen bezogen auf die Art von Brennstoff (Jahr 2013)

In der räumlichen Verteilung der SO₂-Emissionen spiegelt sich neben der Brennerautobahn das Vorhandensein von Gewerbegebieten und Wohnzentren, in welchen noch viel mit Heizöl geheizt wird, wieder:

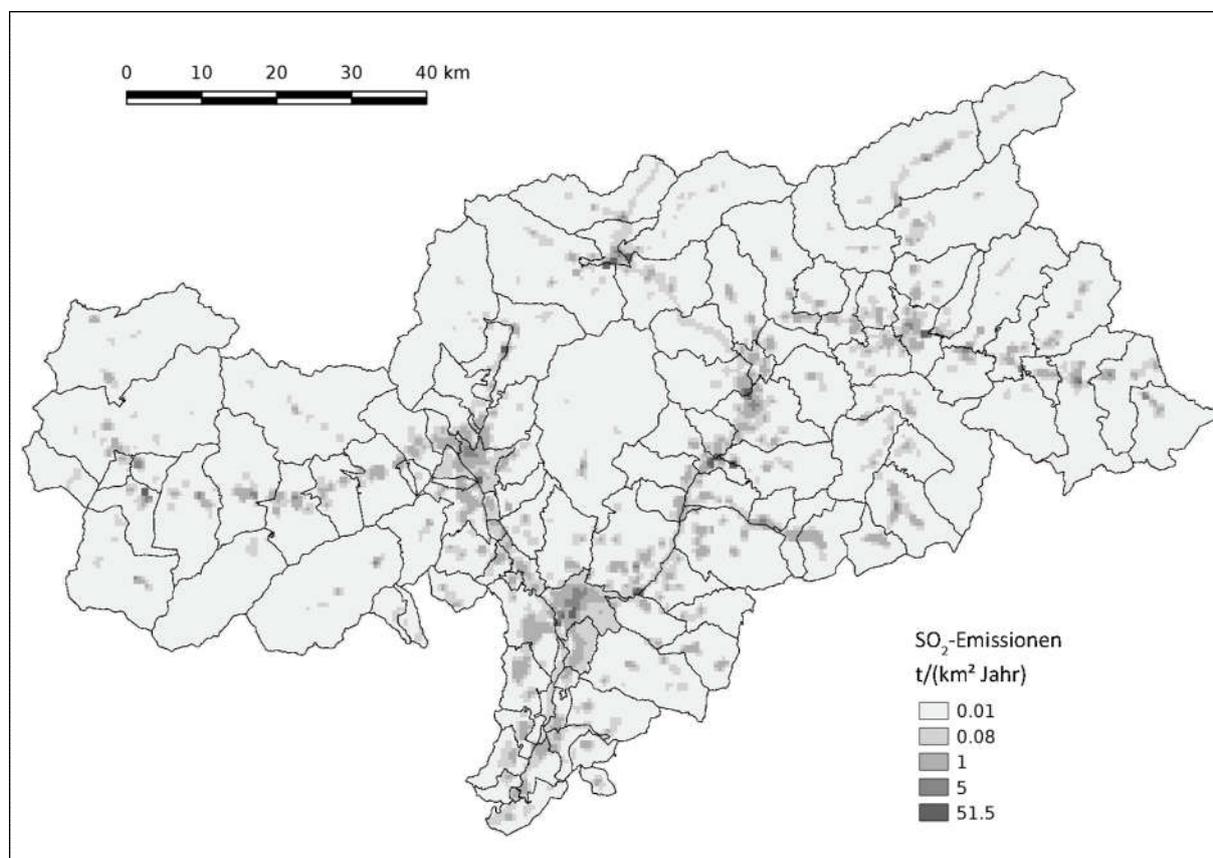


Abbildung 6: Räumliche Verteilung der SO₂-Emissionen im Jahre 2013³

Stickstoffoxide (NO_x)

Stickoxide (NO und NO₂) belasten die menschlichen Atmungsorgane und tragen ebenfalls zur Entstehung des sauren Regens bei. Eine wesentliche Bedeutung spielen sie zudem bei der Bildung von Sekundärpartikeln in der Atmosphäre und der Entstehung des bodennahen Ozons (O₃). NO_x haben ihre Ursache ebenfalls in Verbrennungsvorgängen, hauptsächlich bei hohen Temperaturen. Hauptverursacher ist der Straßenverkehr. Diesbezüglich gibt es in der Entwicklung zwei gegenläufige Effekte: stetig restriktivere Abgasnormen zwingen zu ständigen Verbesserungen der Motortechnik sowie in der Abgasbehandlung von Fahrzeugen.

³ In Bezug auf die räumliche Verteilung der Emissionen wurde die Bodenbedeckung CORINE verwendet, um ein Zellgitter von 0,5 km je Seite zu erzeugen, dem die Emissionen der einzelnen Schadstoffe zugeordnet werden.

Dieser positive Erfolg wird jedoch teilweise durch den steigenden Individual- und Schwerverkehr wieder aufgezehrt.

Die signifikantesten Verbesserungen im Bereich der Emissionsverringering gehen auf die so genannten „EURO-Klassen“ und insbesondere – hinsichtlich der NO_x-Emissionen – auf die Bestimmungen bezüglich der EURO-Klasse 6 zurück, da sie bedeutende Verringerungen der NO_x-Emissionen auferlegen.

Im Schwerverkehrssektor sind die meisten EURO 5- LKW's bereits heute mit einem effizienten Filtersystem zur Begrenzung der NO_x-Emissionen ausgestattet (SCR – Selective Catalytic Reduction). Dabei werden die Stickoxide durch Einspritzung einer Harnstofflösung (AdBlue) in Stickstoff und Wasser umgewandelt. Auch anhand einer speziellen Abgasrückführung (ERG) in Kombination mit einem Partikelfilter können die EURO-5-Grenzwerte eingehalten werden.

Die bisher im Emissionskataster verwendeten Emissionsfaktoren haben die aufgrund des Inkrafttretens der verschiedenen EURO-Klassen erzielten Verbesserungen natürlich berücksichtigt. Dadurch wurde auch für Südtirol ein bedeutsamer Abwärtstrend bei den NO_x-Emissionen geschätzt.

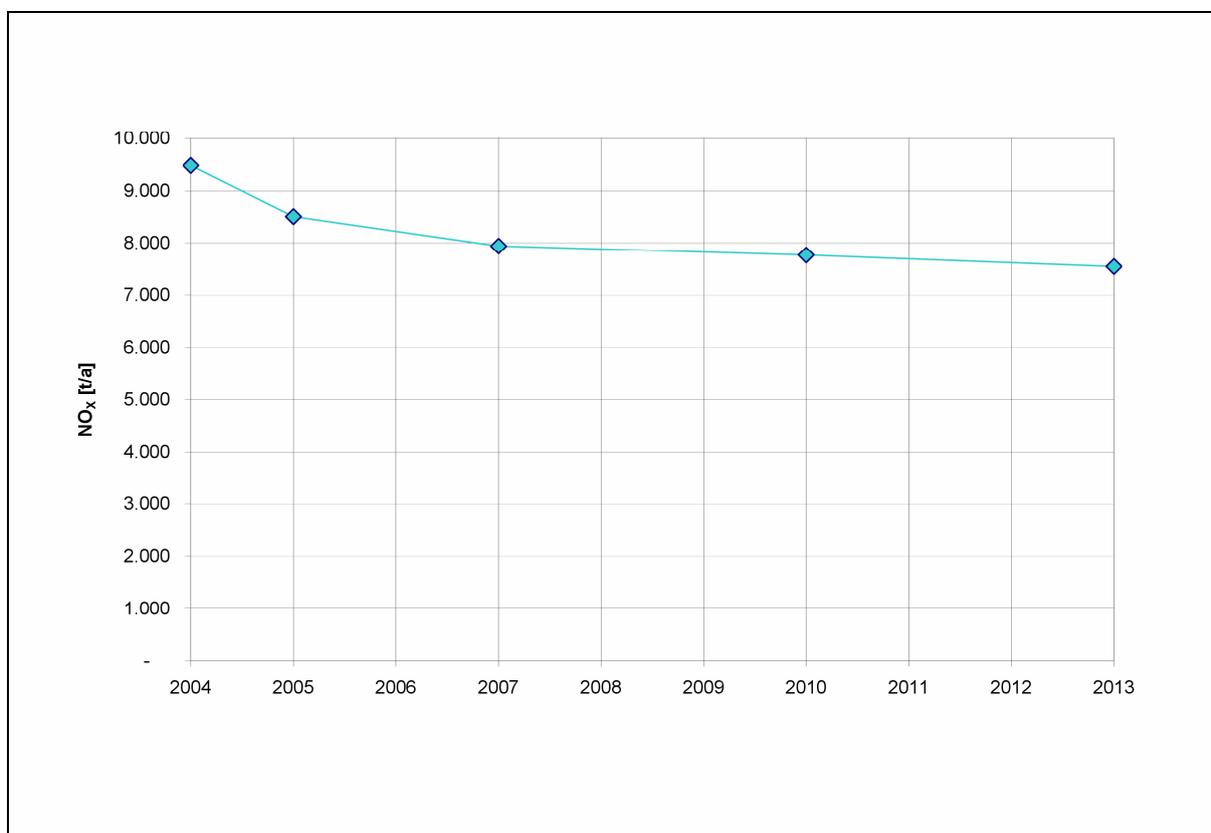


Abbildung 7: Zeitlicher Trend der NO_x-Emissionen in Südtirol

Dieser Rückgang spiegelt sich auch in den Luftqualitätsmessungen wieder, allerdings nur für den Schadstoff NO und nicht für NO₂. Im Folgenden führen wir eine Analyse an, welche eine mögliche Antwort auf diese widersprüchliche Situation zu geben versucht.

In erster Linie muss darauf hingewiesen werden, dass die bis vor kurzem verwendeten Emissionsfaktoren mit den tatsächlich von den Dieselmotoren der Pkw erzeugten Emissionen nicht überstimmten. Dies ist leicht feststellbar, wenn man die bis 2009 verwendeten Emissionsfaktoren mit jenen vergleicht, die in der letzten Fortschreibung des Emissionshandbuchs (HBEFA) enthalten sind, welches im Januar 2010 von den Umweltministerien Deutschlands, Österreichs und der Schweiz veröffentlicht wurde (siehe Abbildung 8).

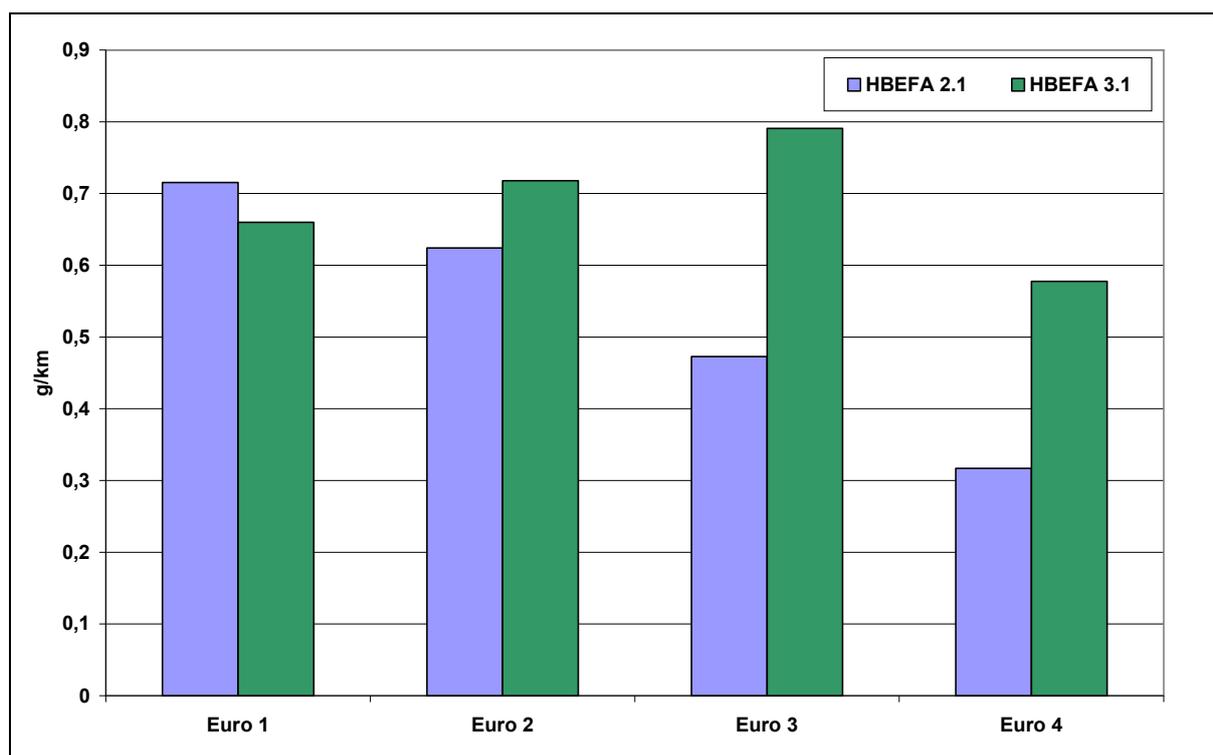


Abbildung 8: Alte und Neue Emissionsfaktoren der NOx bei Diesel-Pkw (HBEFA)

Dieser Unterschied ist auf die Verfügbarkeit von Messdaten von Messungen an verkehrsbeteiligten Fahrzeugen für die Euroklassen Euro 3 und Euro 4 zurückzuführen, welche in der vorausgehenden Fassung des Handbuchs (2004) nur geschätzt waren. Dieses Auseinanderdriften zwischen erwarteten Emissionen (die aufgrund der geltenden und künftigen Normen geschätzt wurden) und tatsächlichen Emissionen (die aus Messungen an

der Straße gewonnen wurden) hat auch in den jüngsten Ereignissen im Zusammenhang mit dem „Skandal der auffrisierten Dieselmotoren“ seine Bestätigung gefunden, in welchen bedeutende Automobilhersteller auf Weltniveau verwickelt waren. Beim Stande der Dinge gibt es keine Anhaltspunkte dafür, dass in diese Problematik auch Schwerfahrzeuge oder Benzinfahrzeuge verwickelt sind.

Aber dieses Auseinanderdriften zwischen vorausgesehenen Emissionsfaktoren und Feldmessungen erklärt den unterschiedlichen Verlauf der Konzentrationen von NO und NO₂ nicht in befriedigender Weise. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Analyse noch weiter zu vertiefen, indem man die NO_x-Emissionen in die beiden Komponenten (NO und NO₂) zerlegt.

In den letzten Jahren war es möglich, festzustellen, wie das Verhältnis NO₂/NO der verkehrsbedingten Emissionen sich nach und nach zugunsten des NO₂ verschoben hat. Dieses Verhältnis ist wichtig, weil der Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit nur für NO₂ festgelegt ist.

Der Grund für diese Zunahme der NO₂-Emissionen ist in der Anwendung des oxydierenden Katalysators bei Dieselfahrzeugen zu suchen. Dieses System, das ab der Euroklasse 3 angewandt wird, dient zur Verringerung der Emission von Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlenmonoxyd (CO), oxydiert aber als Nebenwirkung das NO zu NO₂. Das höchste Verhältnis zwischen NO₂ und NO findet man bei Diesel-Pkw ab der Klasse Euro 3. Abbildung 9 zeigt uns jene Emissionen, zu denen es gemäß den Forschungsarbeiten und Feldanalysen gekommen ist.

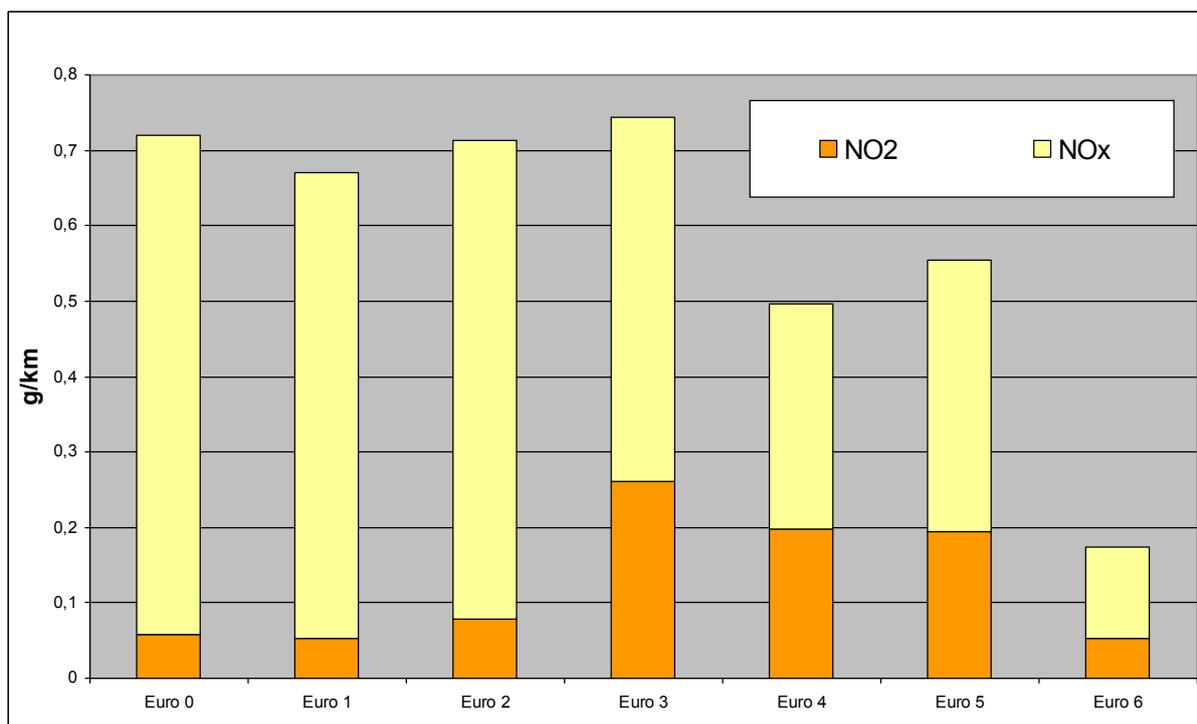


Abbildung 9: Neue Emissionsfaktoren für NO und NO₂ aus Diesel-Pkw / 110 km/h – HBEFA 3.2 (Wert Euro 6 geschätzt auf der Grundlage weniger Feldmessungen)

Die Zunahme der NO₂-Emissionen beim Auspuff hat keine direkt proportionale Zunahme der Konzentrationen in der Luft zur Folge, und dies aufgrund der chemischen Reaktionen in der Atmosphäre (Reaktionen zwischen NO, NO₂, O₃, OH-Radikalen), welche kein 1:1-Verhältnis zwischen NO₂-Emission und -Immission zulassen. Trotzdem ist diese Zunahme sicher ein Hindernis für die Verringerung der NO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre, auch bei einer Verringerung der Gesamtemissionen von NO_x.

Bereits erwähnt wurde der starke Einfluss des Straßenverkehrs auf die Gesamtemissionen von NO_x. Von besonderer Bedeutung hierbei ist die A22 von Brenner bis Salurn, welche die mit Abstand meistbefahrene Verkehrsachse darstellt. So wurde im Jahre 2013 im Streckenabschnitt von Bozen Süd bis Neumarkt, ein durchschnittlicher Tagesverkehr (DTV) von 39.478 Fahrzeugen gezählt (Quelle: Autostrada del Brennero S.p.A.). Sehr negativ auf die Emissionssituation wirkt sich dabei der hohe Schwerverkehrsanteil von ca. 24% aus, welcher 68% der insgesamt auf der A22 emittierten NO_x- Menge ausmacht:

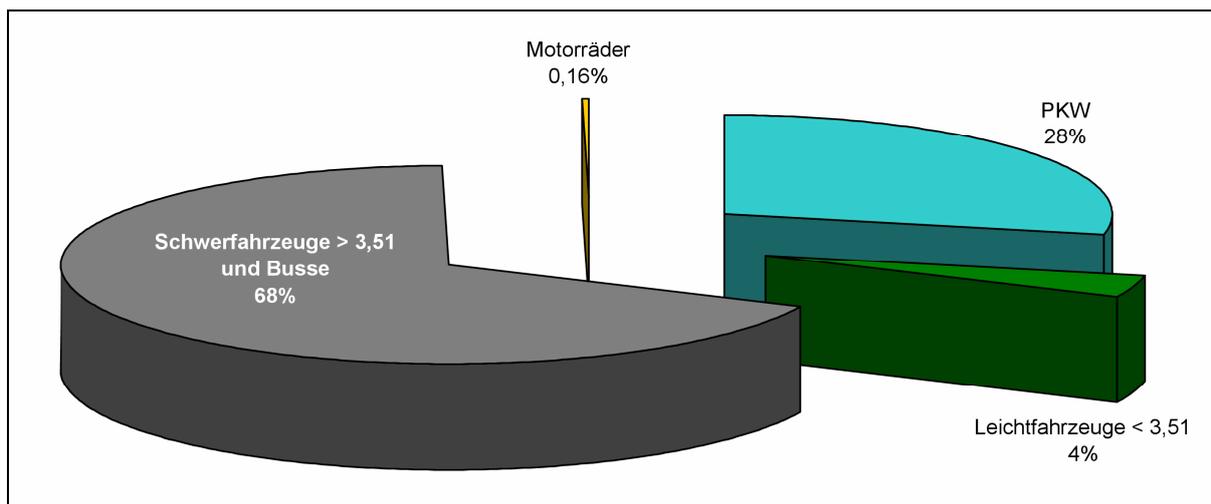


Abbildung 10: Anteil unterschiedlicher Fahrzeugtypen an der NOx- Gesamtemission der A22 (Jahr 2013)

Auf jeden Fall wird das Verhältnis zwischen den Emissionen der Schwerfahrzeuge und jenen der Leichtfahrzeuge in den nächsten Jahren eine Änderung erfahren. Nicht nur deswegen, weil die EURO-6-Normen für Schwerfahrzeuge 20 Monate vor jenen für Leichtfahrzeuge in Kraft getreten sind, sondern vor allem deswegen, weil der Auswechslungsprozentsatz der auf der Autobahn verkehrenden Schwerfahrzeuge entschieden höher ist als jener der Pkw.

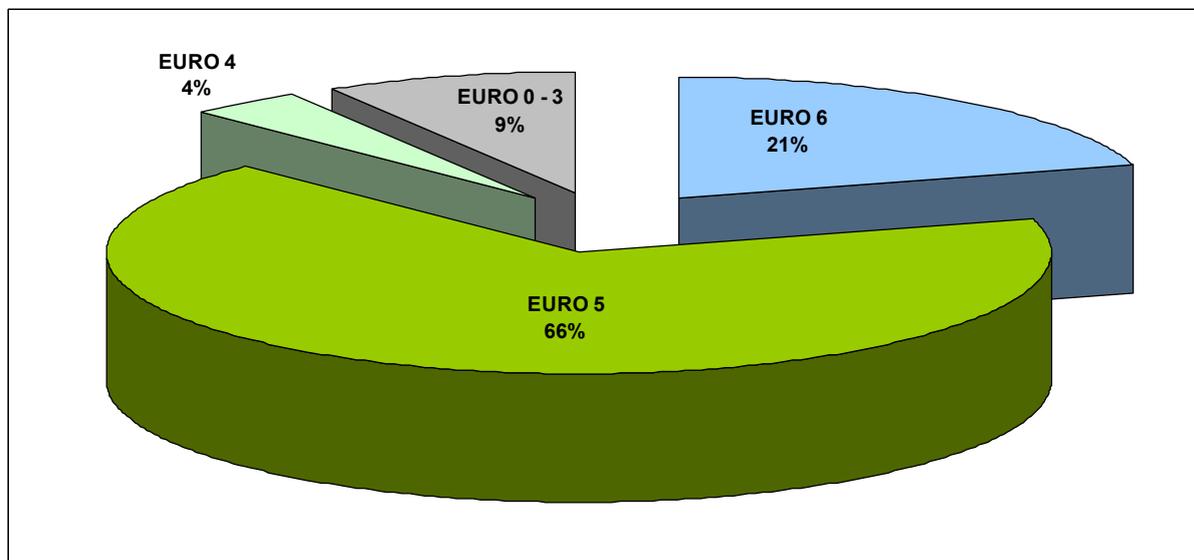


Abbildung 11: Zusammensetzung des Schwerverkehrs (> 3,5 t) an der Brennergrenze (ASFINAG 01/2015)

So kommt es, dass schon ganz wenige Jahre nach dem Inverkehrbringen der EURO-6-Fahrzeuge ihr Vorhandensein auf der Brennerachse bereits relevant ist. Daraus folgt, dass die Abnahme der NOx-Emissionen bei den Schwerfahrzeugen viel schneller vor sich geht als bei den Leichtfahrzeugen.

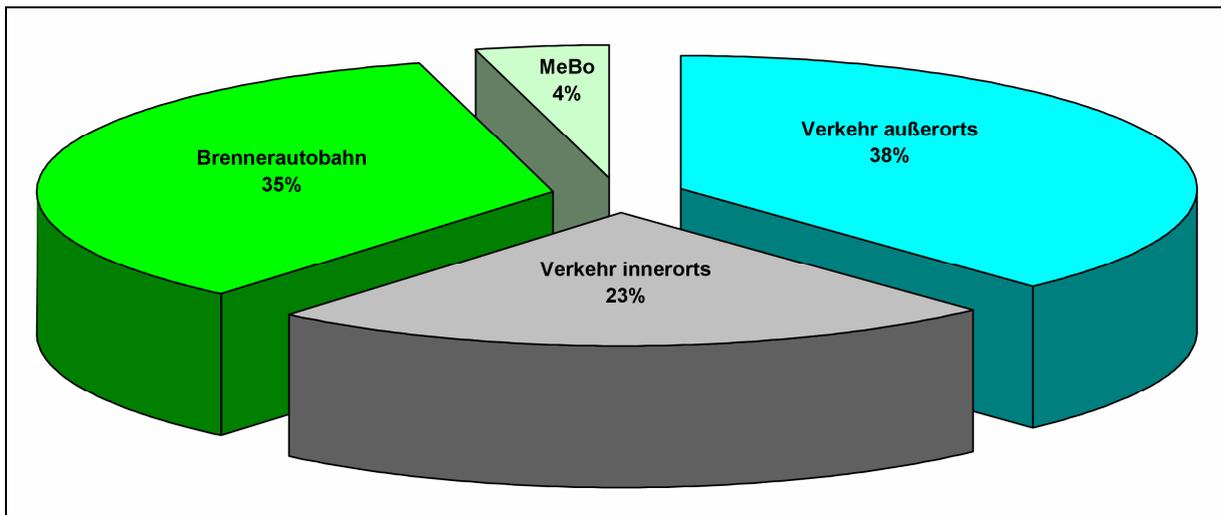


Abbildung 12: Anteil unterschiedlicher Straßentypen an der Gesamtemission von NO_x (Jahr 2013)

Durch die Darstellung der räumlichen Verteilung der NO_x-Emissionen sind vielbefahrene Straßen deutlich erkennbar:

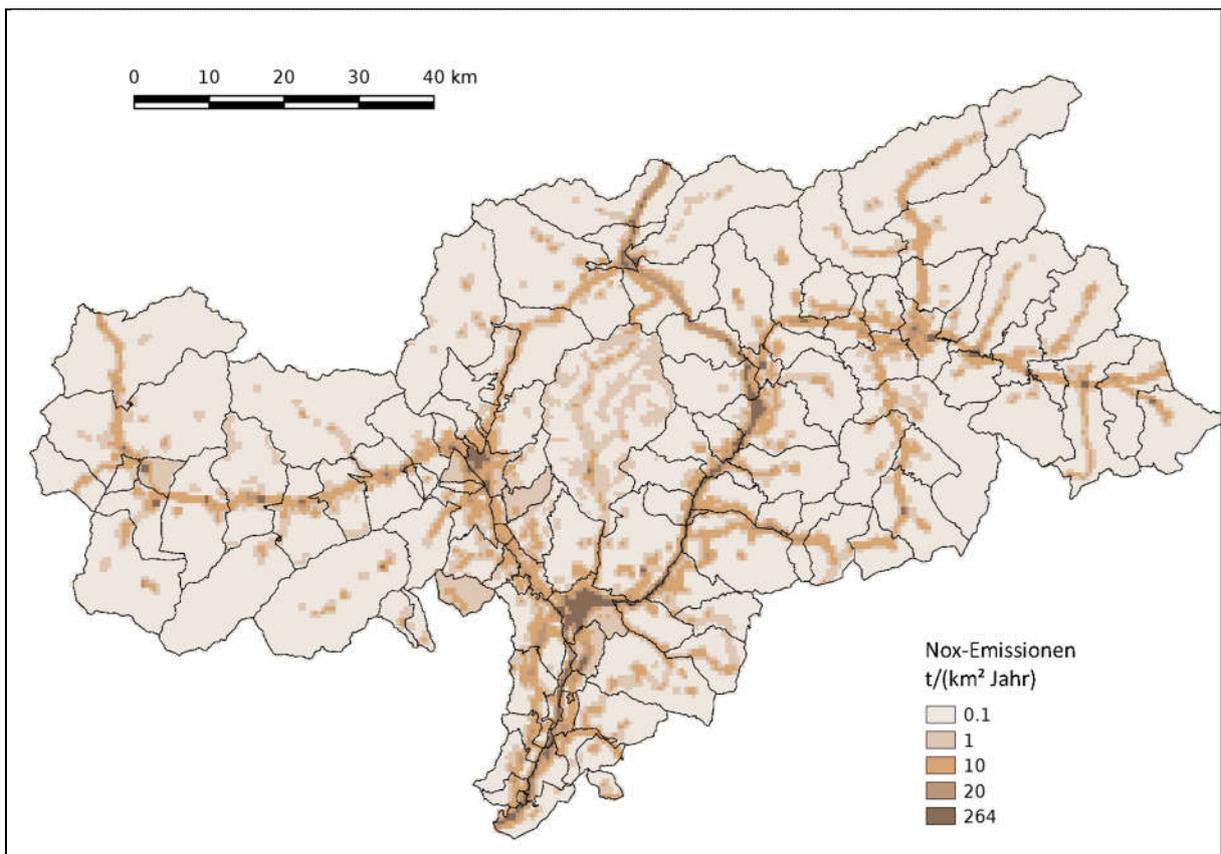


Abbildung 13: Räumliche Verteilung der NO_x-Emissionen im Jahre 2013

Stickstoffoxide werden von Verbrennungsanlagen zum größten Teil als NO emittiert und in der Atmosphäre zu NO₂ umgewandelt. Die wichtigste Reaktion dabei ist jene von NO mit O₃ zu NO₂ und O₂. So kann sich eine hohe NO-Konzentration positiv auf den Abbau des

bodennahen Ozons auswirken, allerdings ist gleichzeitig eine höhere NO_2 -Konzentration zu erwarten. Gegenläufig dazu wirken die Abbaureaktion von NO_2 zu NO mit Hilfe der Sonnenstrahlung und die Bildung von Ozon durch Sauerstoffradikale. Diese Zusammenhänge führen dazu, dass hohe oder niedrige NO bzw. NO_2 -Belastungen nicht alleine auf das Fehlen oder Vorhandensein von Emissionsquellen zurückzuführen sind.

Staub (Gesamtstaub, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$)

Per Definition sind PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ Partikel, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 bzw. 2.5 μm eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist. Partikel dieser Größe sind besonders gesundheitsschädlich, da sie bis tief in die Lunge gelangen können. Deren Zusammensetzung ist sehr verschiedenartig und hängt stark vom Entstehungsprozess ab: Rußpartikel aus den Diesel-Fahrzeugen, der Verbrennung von Holz, Pollen der Pflanzen oder Saharastaub sowie sekundäre Partikel, welche sich z.B. durch die Freisetzung von Ammoniak aus landwirtschaftlichen Prozessen bilden können, sind nur ein Auszug aus der Vielzahl an unterschiedlichen Staubteilchen in der Atmosphäre. Die Inhaltsstoffe der Teilchen sind auch bestimmend für deren Gefährdungspotential: So wirken sich etwa mit giftigen Metallen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) versetzte Partikel besonders negativ auf die menschliche Gesundheit aus. Ein weiterer Aspekt in Bezug auf die Gefährlichkeit von Feinstaub ist dessen Größe, wobei die kleinsten Teilchen bis in die Lungenbläschen penetrieren können. Aus diesem Grunde ist auch die Untersuchung des Schadstoffen $\text{PM}_{2.5}$ sehr wichtig.

Hierzulande sind der motorisierte Verkehr und der Hausbrand für den Großteil der Feinstaubemissionen verantwortlich, aber im Laufe der Jahre verschiebt sich dieses Verhältnis zunehmend in Richtung des Hausbrandes. So betrug dessen Anteil an den Gesamtfinstaubemissionen im Jahre 2000 noch 26 %, während aus den Daten des Emissionskatasters 2007 ein Anteil von 50 % hervorgeht. Im Emissionskataster 2013 schließlich setzte sich dieser Wert bei 65% fest. Der prozentuelle Anteil des Verkehrs sank hingegen von 36 % im Jahre 2000 auf 29 % im Jahre 2007 und auf 18% im Jahre 2013. Hinsichtlich des Verkehrs muss darauf hingewiesen werden, dass die starken Verringerungen der Feinstaubemissionen aufgrund der Verbesserungen in der Abgasnachbehandlung (z.B. Partikelfilter) durch die ständige Zunahme der Fahrkilometer teilweise wieder aufgehoben wurden. Gleichzeitig haben die immer stärkere Verwendung von Biomasse zusammen mit der

immer noch zu sanfter Regulierung von Holzverbrennungsanlagen im unteren Leistungsbereich, allen voran die Einzelraumfeuerungen wie z.B. Kamin- oder Kachelöfen, den Beitrag dieser Emissionsquelle ansteigen lassen.

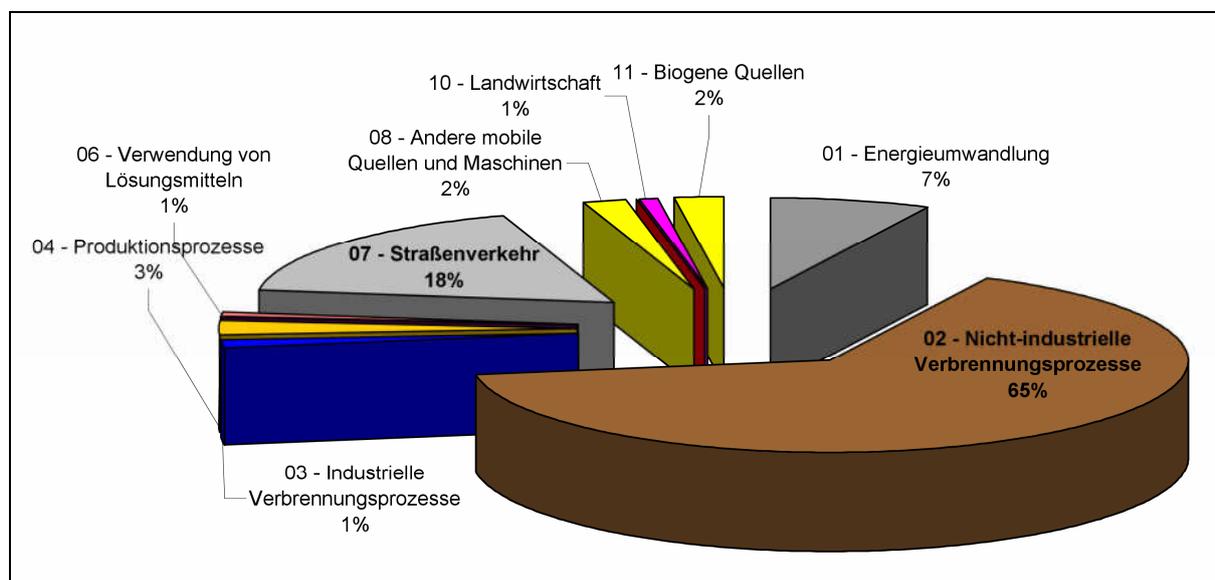


Abbildung 14: Prozentuelle Verteilung der PM10-Emissionen (Jahr 2013)

Bewertet man die Feinstaubemissionen in Abhängigkeit von der Art des verwendeten Brennstoffs, wird der Beitrag der Holzverbrennung ersichtlich, welche mehr als 99% des PM10 erzeugt, der im Jahre 2013 vom Sektor der nichtindustriellen Verbrennung (Hausbrand) emittiert wurde.

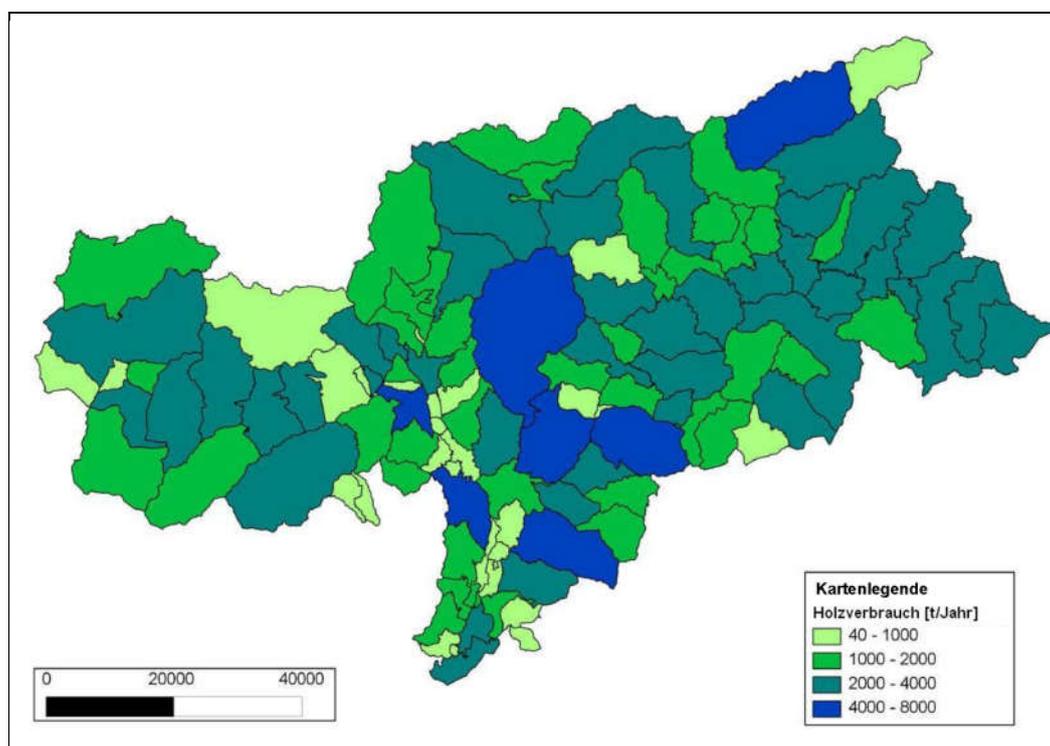


Abbildung 15: Holzverbrauch pro Jahr in den Gemeinden Südtirols

Quelle: TIS / Bereich Energie und Umwelt

Die Holzverbrennung ist in Landgemeinden viel stärker verbreitet als in stark städtisch geprägten Gemeinden. Vergleicht man nun den PM₁₀- Ausstoß einer stark ländlich geprägten Gemeinde wie z.B. Latsch mit einem Stadtgebiet (Bozen), erhält man zwei deutlich verschiedene Emissionsbilanzen in Bezug auf die Emissionsquellen, die für den PM₁₀- Ausstoß am meisten verantwortlich sind. Auch die räumliche Verteilung der Feinstaubemissionen macht ersichtlich, dass der eigentlich zu erwartende große Unterschied zwischen Ortschaften mit hohem Verkehrsaufkommen oder einer hohen Bevölkerungsdichte (etwa Bozen oder Meran) und Landgemeinden zum Teil durch die starke Verbreitung von Holzöfen in ländlichen Gebieten ausgeglichen wird. Bei einem Vergleich der Emissionsmappen von NO_x und PM₁₀ wird dieser Unterschied klar deutlich. Die Luftqualitätsmessungen der fixen Stationen in Südtirol bestätigen dies mit den Daten von PM₁₀ und PM_{2,5}.

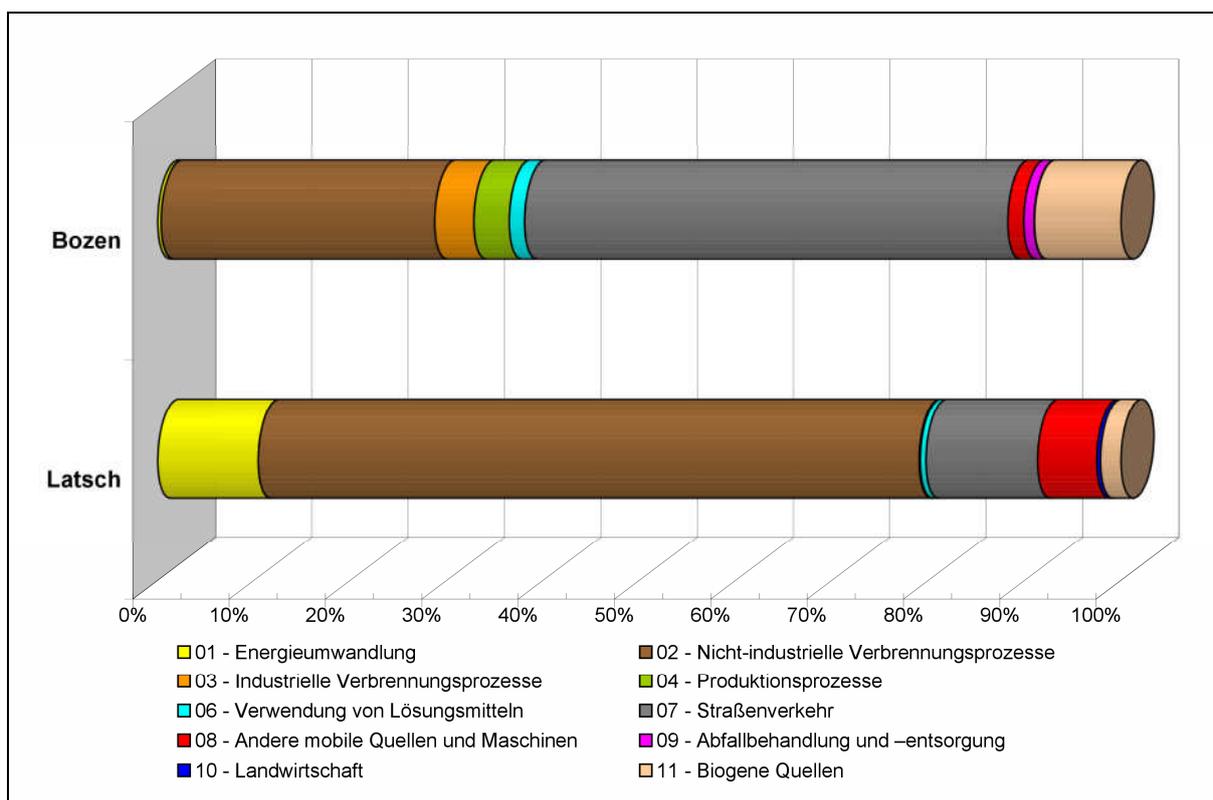


Abbildung 16: Vergleich der PM₁₀-Emissionen nach Typ der Emissionsquelle in den Gemeinden Latsch und Bozen (2013)

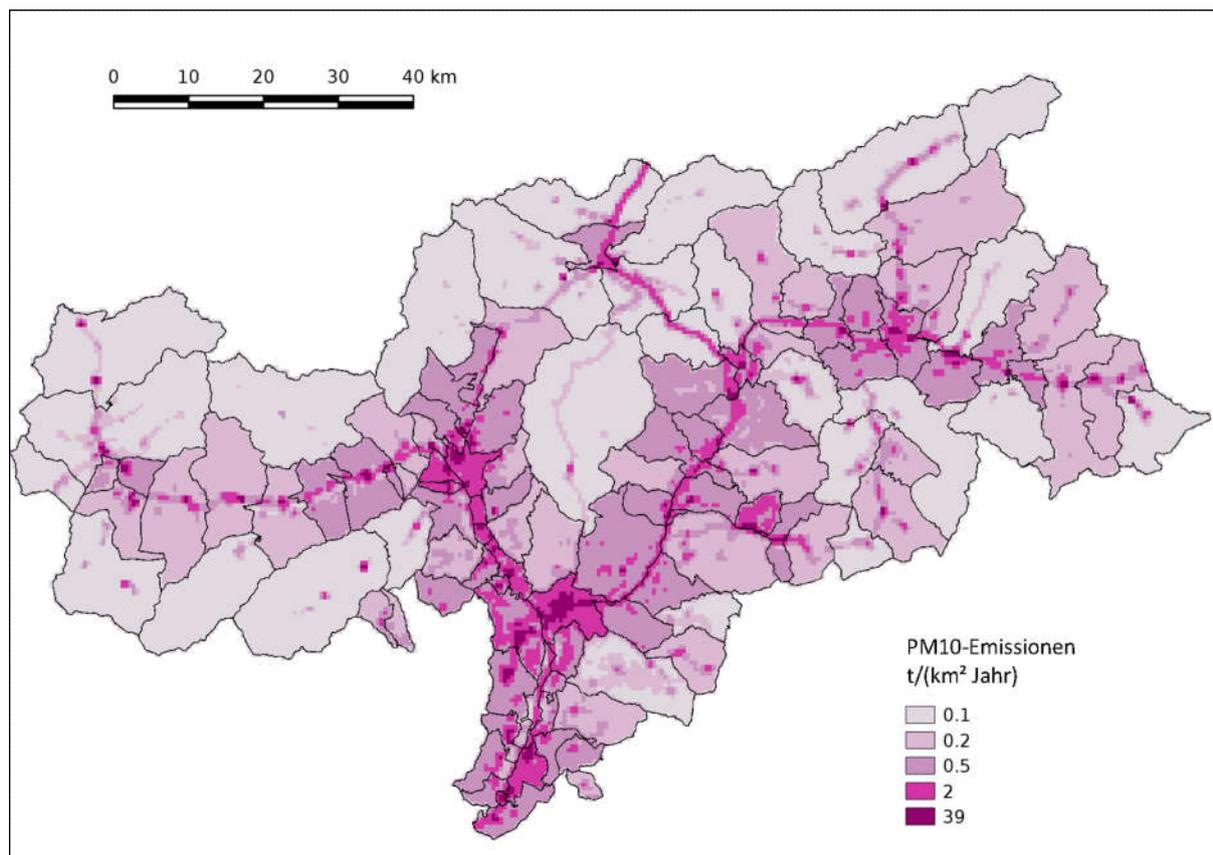


Abbildung 17: Räumliche Verteilung der PM10-Emissionen im Jahre 2013

Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid ist ein geruch- und farbloses, aber für den Menschen giftiges Gas, welches bei der unvollständigen Oxidation (Verbrennung) von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen (Holz, Kohle, Dieselöl, Methan usw.) entsteht. Wiederum sind der Straßenverkehr und der Hausbrand die mit Abstand größten Emittenten und ähnlich dem PM₁₀ ist auch hier eine eindeutige Trendverschiebung der prozentualen Emissionsanteile in Richtung der häuslichen Verbrennung erkennbar.

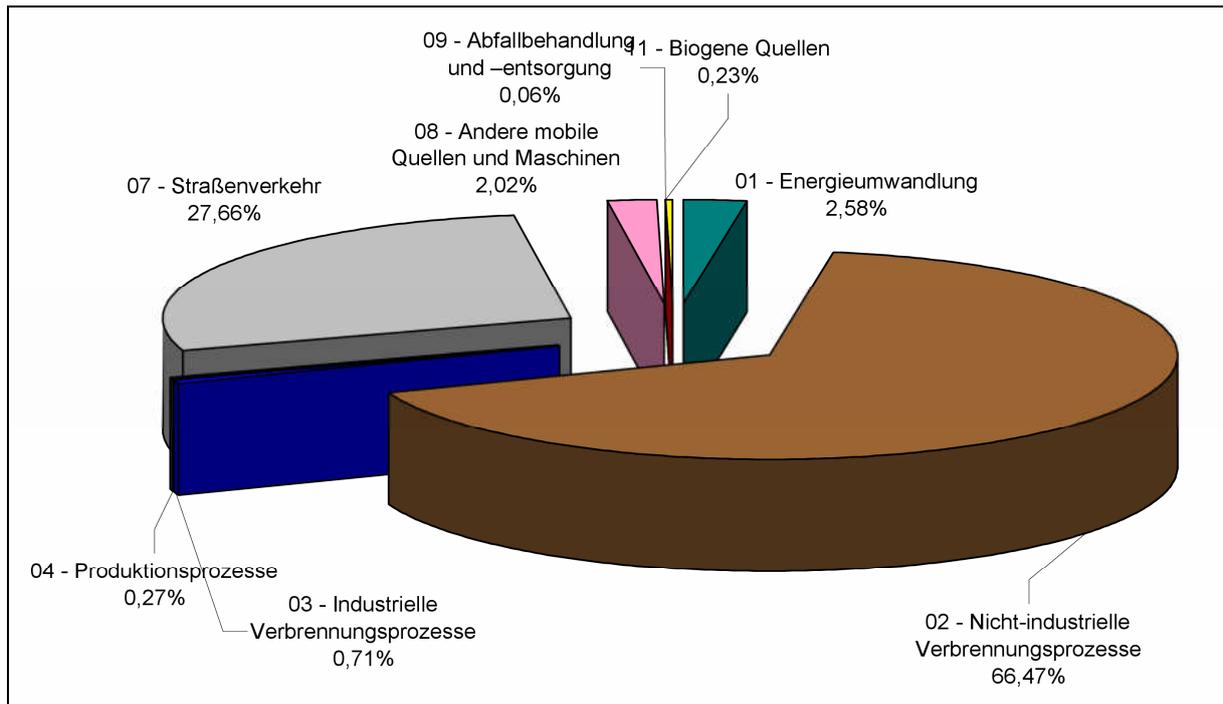


Abbildung 18: Prozentuelle Verteilung der CO-Emissionen (Jahr 2013)

Ammoniak (NH₃)

Ammoniak ist ein farbloses und stark riechendes Gas, welches giftig ist. Es entsteht insbesondere beim Abbau von tierischen Exkrementen. Laut Emissionskataster wird somit der Großteil dieser Emissionen von der Landwirtschaft verursacht. In der Luft reagiert NH₃ mit Säuren und bildet die entsprechenden Salze aus (Ammoniumsalze), welche als sekundäre Partikel wiederum an der Feinstaubbelastung beteiligt sind.

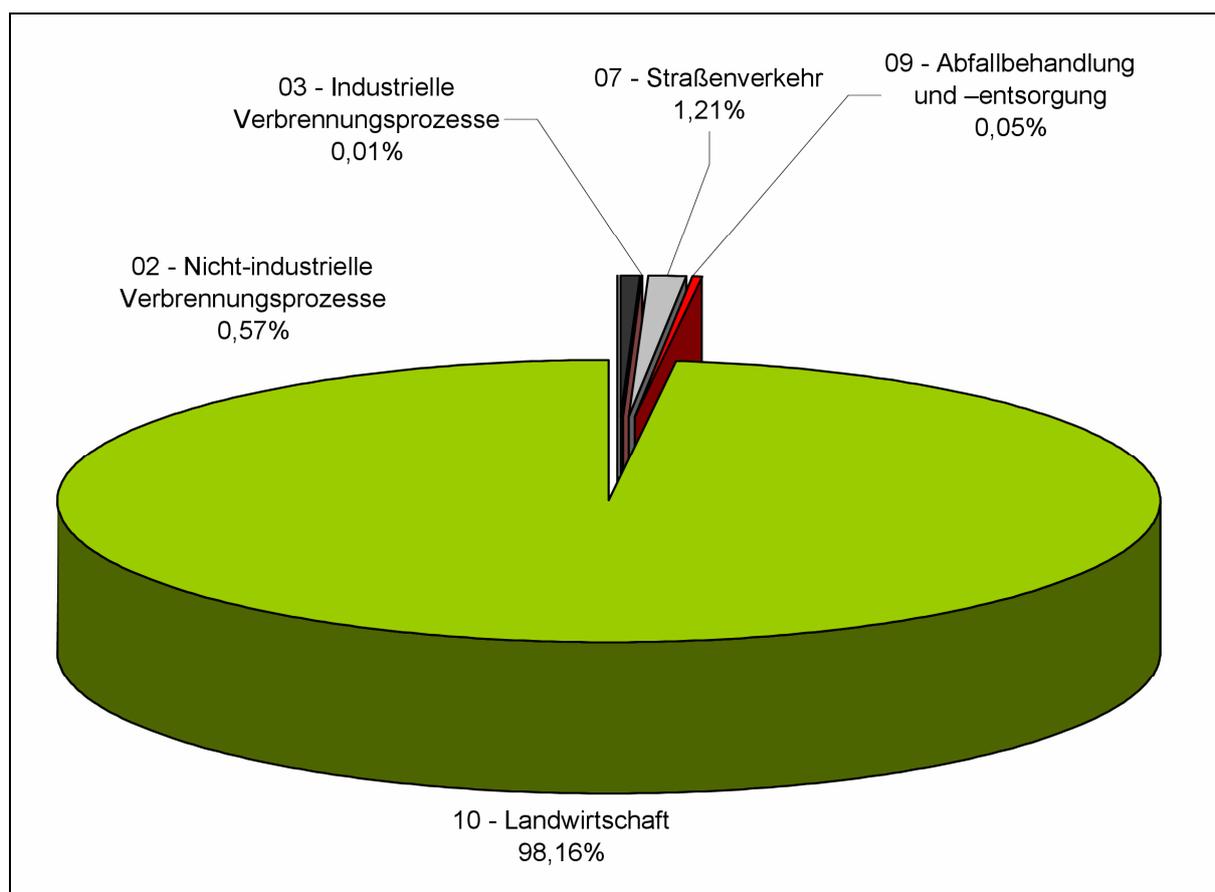


Abbildung 19: Prozentuelle Verteilung der NH₃-Emissionen (Jahr 2013)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe umfasst mehrere hundert Einzelsubstanzen, deren Gemeinsamkeit das aus mehreren Benzolringen bestehende Molekülgerüst ist. Genauso wie Kohlenmonoxid werden PAK hauptsächlich bei unvollständigen Verbrennungsprozessen gebildet. Mehrere PAK wurden von der Organisation IARC (1987) als möglicherweise krebserregend eingestuft, während Benzo(a)pyren als nachweislich kanzerogen klassifiziert ist. Dies ist ein Mitgrund, weshalb B[a]P als Leitsubstanz für die gesamten PAK gewählt wurde und somit auch in den Luftmessstationen gemessen wird.

Die wichtigste Quelle polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe stellt in Südtirol der Hausbrand dar. Insbesondere kleinere Holzöfen, welche in den meisten Fällen über keine automatische Brennstoffzufuhr und Luftregulierung verfügen, neigen zu einer unterstöchiometrischen und somit unvollständigen Verbrennung, was zu einem erhöhten Ausstoß dieses Schadstoffes führt:

Hauptgr.	Brennst.	bleifreies Benzin	Diesel	Holz und holzähnliche Brennstoffe	Siedlungsabfälle
Energieumwandlung				0.9%	
Nicht-industrielle Verbrennungsprozesse				96.8%	
Industrielle Verbrennungsprozesse				0.5%	0.2%
Straßenverkehr		0.1%	1.2%		0.1%
Andere mobile Quellen und Maschinen			0.1%		
Biogene Quellen					0.3%

Tab. 6: Anteil unterschiedlicher Hauptgruppen und Brennstoffe auf die B[a]p - Gesamtemission (Jahr 2013)

Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC)

Als flüchtige organische Verbindungen werden organische, also kohlenstoffhaltige Stoffe verstanden, welche leicht verdampfen bzw. bereits bei niedrigen Temperaturen als Gas vorliegen. Bei der Abkürzung NMVOCs (non methane volatile organic compounds) wird das Gas Methan (CH_4) aus der Gruppe der VOCs ausgeklammert. Relevant sind die flüchtigen organischen Verbindungen v.a. als Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon.

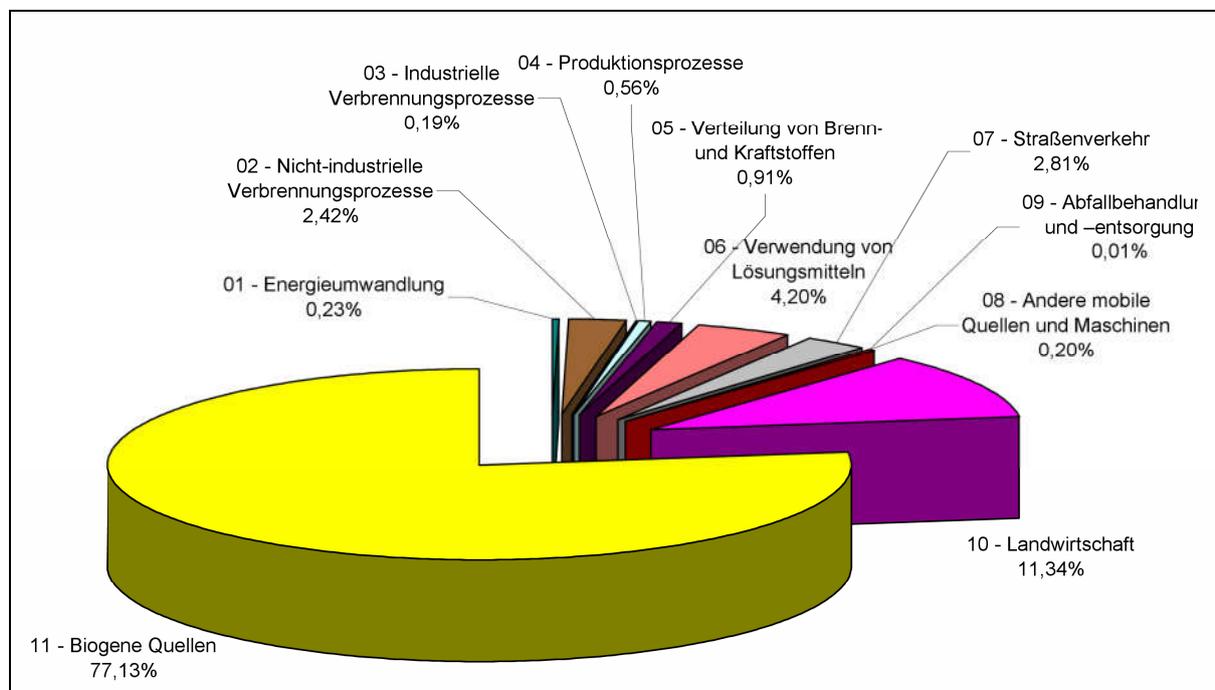


Abbildung 20: Prozentuelle Verteilung der VOC-Emissionen (Jahr 2013)

In der Gruppe der VOC finden wir auch das Benzol, für welches die Normen auch einen Grenzwert für die Luftqualität vorsehen. Es handelt sich um einen farblosen, flüssigen Stoff

mit charakteristischem Geruch, welcher dem Benzin hinzugefügt wird, um dessen Oktanzahl zu erhöhen. Da er leicht verdunstet, kommt es zu Benzolemissionen beim Auftanken an Tankstellen oder einfach bei seiner Verwendung als Kfz-Treibstoff.

In Südtirol sind der Wald und die Landwirtschaft die Hauptverursacher der VOC-Emissionen. Vor allem Nadelbäume geben Terpene und andere, zu dieser Stoffgruppe zählende Naturstoffe ab. Anthropogen bedingte VOC-Emissionen sind hauptsächlich auf unvollständige Verbrennungsprozesse im Hausbrand und dem Straßenverkehr sowie auf die Verwendung von Lösungsmitteln, Farben und Lacken zurückzuführen.

Durch Einführung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen von bestimmten Tätigkeiten und Anlagen, eine verstärkte Lösungsmittelrückgewinnung in gewerblichen Prozessen, die Gasrückführung auf den Tankstellen, die Verwendung von lösemittelfreien Lacken sowie Verbesserungen in der Motor- und Katalysatortechnik hatten in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Rückgang der VOC-Emissionen zur Folge.

Schwermetalle

Hohe Schwermetallkonzentrationen treten normalerweise in der Nähe von größeren Industriestandorten auf, wie sie in Südtirol nicht vorzufinden sind. Lediglich in der Gewerbezone der Gemeinde Bozen befinden sich einzelne größere Industriebetriebe, wie etwa die Stahlwerke Valbruna. Zudem wurden durch Einsatzverbot von verbleitem Benzin und dem hierzulande nicht zulässigen Einsatz von Kohle als Brennstoff sowie den verstärkten Einbau von Staubfiltern in Industrie- und Gewerbebetrieben wesentliche Maßnahmen zur Reduktion der Schwermetallemissionen unternommen.

Treibhausgase

Treibhausgase tragen durch ihren Treibhauseffekt zur Erwärmung der Erdoberfläche bei. Der bedeutsamste Stoff für dieses Phänomen ist das Kohlendioxyd, CO₂, aber auch andere Stoffe, wie das Methan und das Distickstoffmonoxid, können, auch wenn sie in geringeren Mengen emittiert werden, einen erheblichen Beitrag leisten.

Brutto- und Netto-CO₂-Emissionen

Im Rahmen des Emissionskatasters werden als Brutto-CO₂-Emissionen alle Kohlendioxidemissionen gerechnet einschließlich jener aufgrund der Verbrennung von erneuerbaren Brennstoffen, wie den Biomassen, welche im Allgemeinen in den Treibhausgasbilanzen nicht berücksichtigt werden; per Definition unterscheiden sich diese Brutto-Emissionen von den CO₂-Netto-Emissionen, worunter man jene versteht, die von nicht erneuerbaren Energiequellen emittiert werden.

Diese Unterscheidung wird vorgenommen, da die Verbrennung von Biomassen keine zusätzlichen CO₂-Emissionen in die Atmosphäre mit sich bringt, weil die Biomasse ein biogener Brennstoff ist, d.h. durch Photosynthese aus dem bereits in der Atmosphäre vorhandenen Kohlenstoff erzeugt wird. Dagegen wird durch industrielle Produktionsprozesse durch Kontakt oder durch die Verbrennung fossiler Treibstoffe neues CO₂ in die Atmosphäre emittiert, das von Kohlenstoff herkommt, der zuvor mit anderen chemischen Elementen verbunden war und zum Beispiel den im Untergrund lagernden Brennstoff bildete oder den Rohstoff, von dem die Verarbeitungsderivate zu erzielen waren (wie beim Prozess der Dekarbonatisierung des Zements).

Die Grafik in Abbildung 21 führt die Brutto-CO₂-Emissionen an; man kann feststellen, dass die beiden am stärksten vertretenen Sektoren der Verkehr und der Hausbrand sind.

Hinsichtlich der Beiträge zu den Netto-CO₂-Emissionen, die in Abbildung 22 angeführt werden, kann eine vorwiegende Rolle des Verkehrs festgestellt werden, während die Sektoren Hausbrand und Energieerzeugung, bei denen die mit der Verbrennung von Holzbiomassen verknüpften Emissionen nicht miteingerechnet werden, ein geringeres Gewicht haben.

Bewertet man den Einfluss der einzelnen Straßentypen auf die Netto-CO₂-Emissionen, stellt man fest, dass die Autobahn ungefähr ein Drittel ausmacht (Abbildung 23).

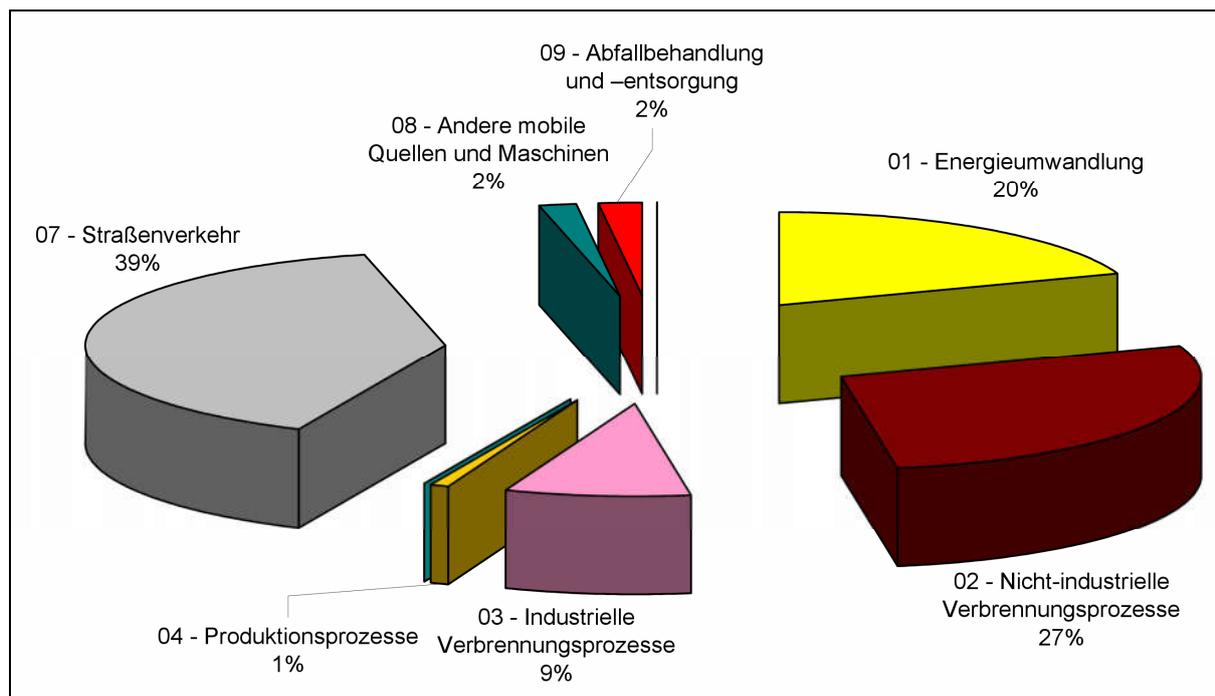


Abbildung 21: Prozentuelle Verteilung der Brutto-CO₂-Emissionen (2013)

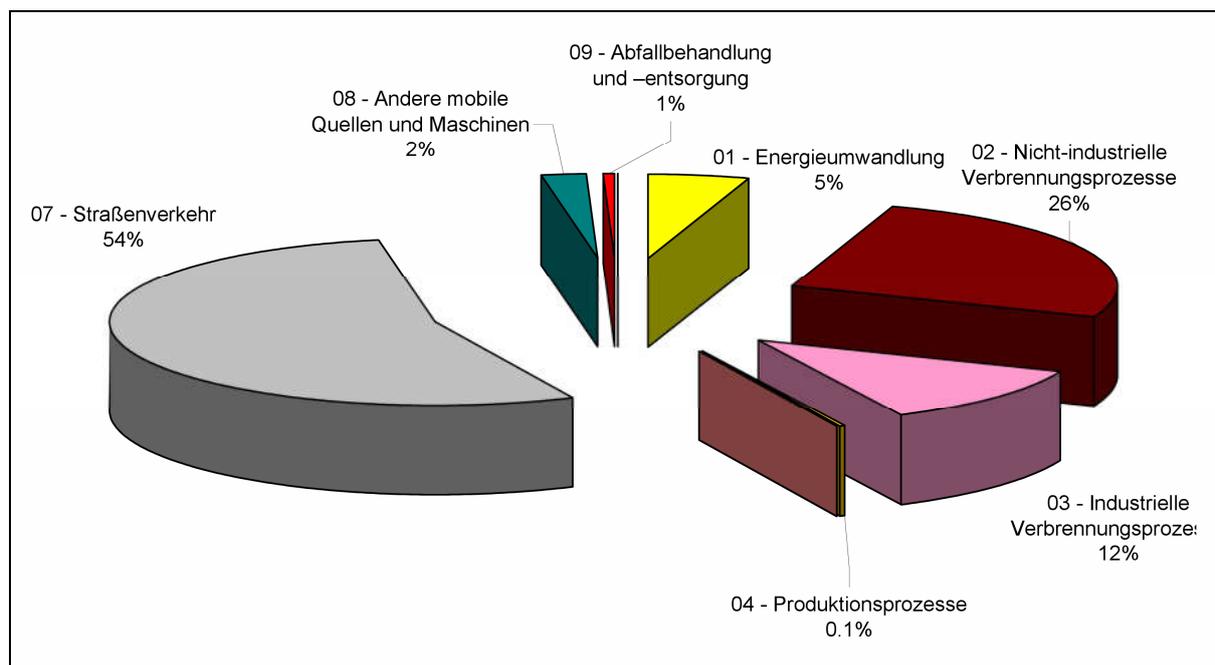


Abbildung 22: Prozentuelle Verteilung der Netto-CO₂-Emissionen (2013)

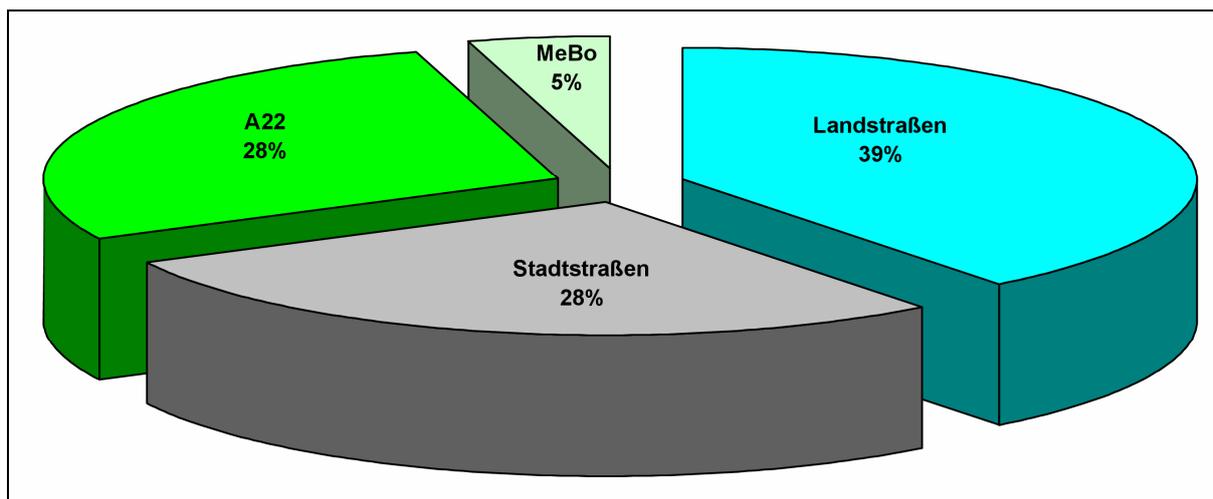


Abbildung 23: Anteil unterschiedlicher Straßentypen an der Gesamtemission von CO₂ (2013)

CH₄-Emission

Methan entstammt in Südtirol zu 67,5 % aus der Nutztierhaltung und dort größtenteils aus dem anaeroben Abbau der anfallenden tierischen Ausscheidungen sowie durch den Verdauungsprozess der Wiederkäuer. Das auf den Deponien durch den Abbau des Biomülls gebildete Methan wird größtenteils mit besonderen Anlagen abgesaugt und anschließend verbrannt. Eine wichtige Rolle spielen auch die Gasverteilernetze, bei denen durch Verluste eine beachtliche Menge an Methan entweicht. Eine geringere Bedeutung hat das Faulen organischer Stoffe unter Luftabschluss in natürlichen Ökosystemen, wie etwa Sümpfen.

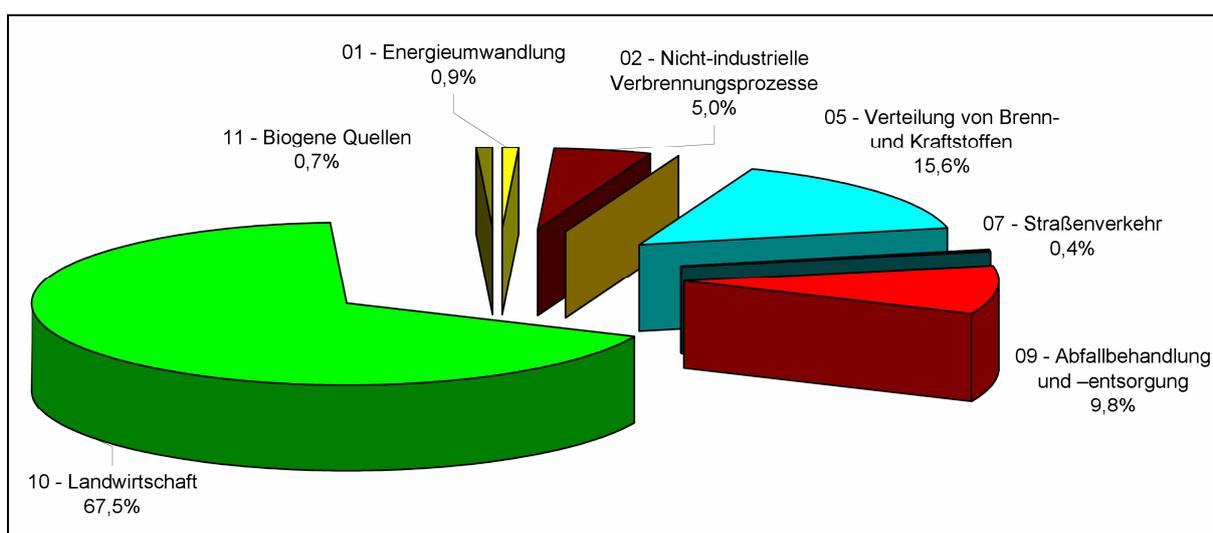


Abbildung 24: Prozentuelle Verteilung der CH₄-Emissionen (Jahr 2013)

N₂O Emission

Die Emissionen von Distickstoffmonoxid (N₂O), auch Lachgas genannt, gehen zum größten Teil auf landwirtschaftliche Tätigkeiten zurück. Bei Sauerstoffmangel wird Stickstoffdünger im Boden in Lachgas umgewandelt und entweicht in die Atmosphäre:

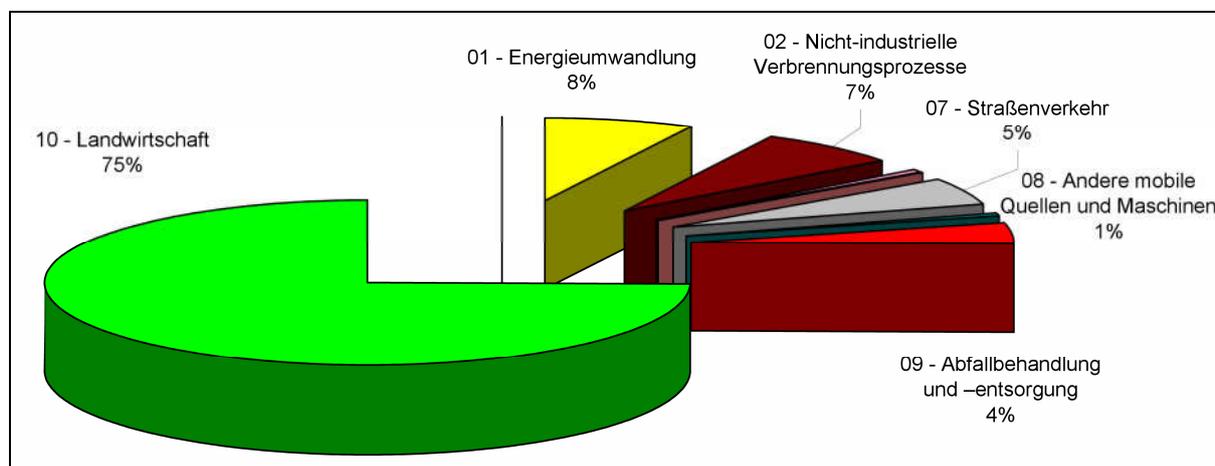


Abbildung 25: Prozentuelle Verteilung der N₂O-Emissionen (Jahr 2013)

CO₂-Äquivalent und Treibhauspotential

Wie schon gesagt, gibt es mehrere Stoffe, welche zum Treibhauseffekt beitragen können; im Emissionskataster werden folgende berücksichtigt:

- Kohlendioxid (CO₂),
- Methan (CH₄),
- Distickstoffmonoxid (N₂O),

Für die Einschätzung ihres Treibhauspotentials verwendet man einen Index namens GWP (Global Warming Potential), der in Tab. 7 angeführt wird.

Luftschadstoffe	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
CO ₂ -Äquivalent	21	1	310

Tab. 7: Für die Berechnung des CO₂-Äquivalents verwendete Koeffizienten

Hierauf werden die Emissionen der verschiedenen Treibhausgase zusammengefasst und mittels des Indikators CO₂eq (CO₂-Äquivalent), angeführt, der eine Summe der Treibhausgase darstellt, welche nach ihrem Treibhauspotential gewogen werden; diese Summe kann zusammenfassend mit folgender Formel dargestellt werden:

$$\text{CO}_2\text{eq} = \sum (\text{GWP}_i \cdot E_i)$$

wobei:

GWP_i = Global Warming Potential;

E_i = Emission des Treibhausgasstoffes i .

Emissionen von CO₂-Äquivalent

Wie man sehen konnte, haben Treibhausgase einen mehr oder weniger ausgeprägten Treibhauseffekt, daher können ihre Emissionen als CO₂-Äquivalent dargestellt werden. Auf diese Weise kann man ein zusammenfassendes Bild der wegen ihres Beitrags zum Treibhauseffekt relevanten Emissionen erzielen.

Der Beitrag der einzelnen Stoffe auf die Emissionen von CO₂-Äquivalent wird in Abbildung 26 angeführt.

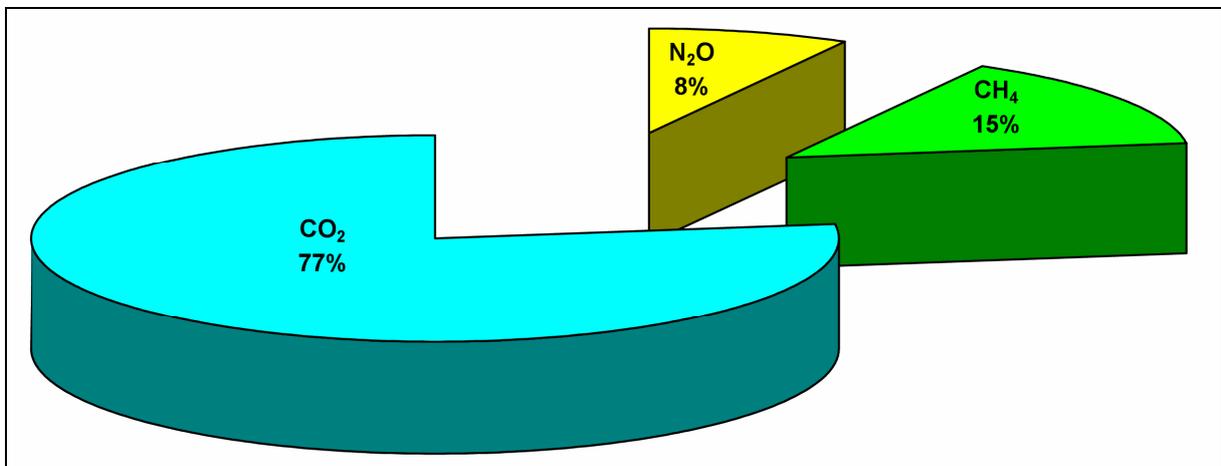


Abbildung 26: Beitrag der einzelnen Schadstoffe auf die Emissionen von CO₂-Äquivalent

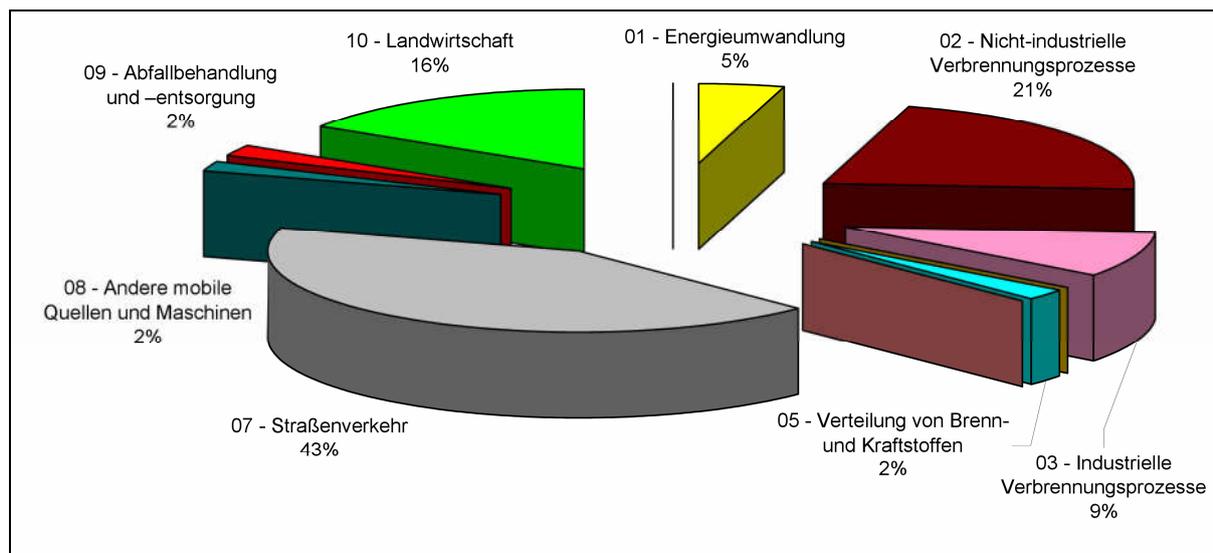


Abbildung 27: CO₂-Äquivalente der Schadstoffe CO₂, N₂O und CH₄

Brennbare Biomassen gelten im Hinblick auf die Berechnung des CO₂-Äquivalents als neutral und werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Kohlenstoff-Absorption

Seit 2010 werden im Emissionskataster auch die CO₂-Absorptionen seitens der Landesforste berücksichtigt.

Das absorbierte Kohlendioxid (CO₂) wird mit negativem Wert ausgedrückt, insbesondere werden folgende kohlenstoffabsorbierende Beiträge der Tätigkeiten geschätzt: *lebende Biomasse* 41%, *Böden* 50% und *tote organische Substanz* 8% (Abbildung 28).

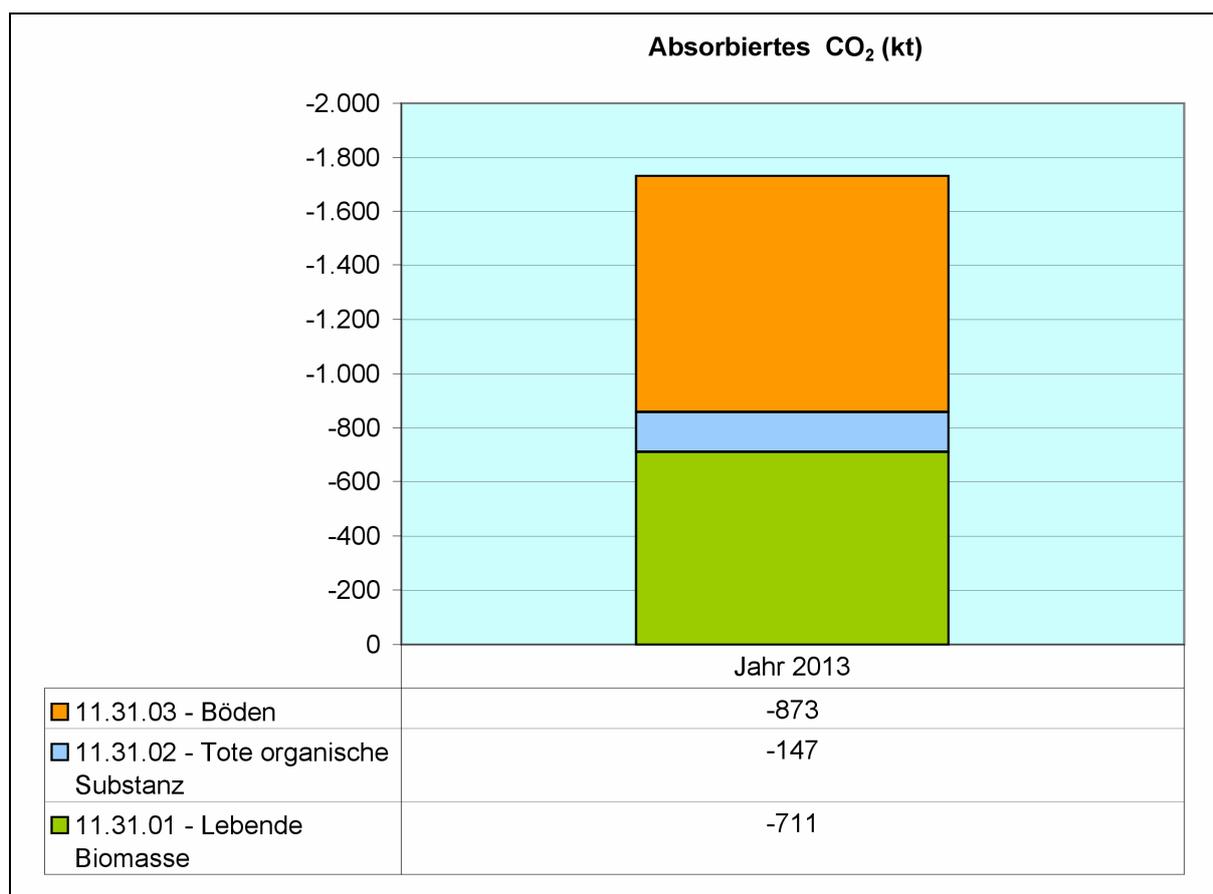


Abbildung 28: CO₂-Absorption von Hauptgruppe 11 (kt)

Bei der in den vorausgehenden Abschnitten angeführten Analyse der CO₂-Emissionen wurde der Beitrag der Absorptionen nicht mitgerechnet, um nur die Emissionsbilanz zu berücksichtigen und einen Vergleich mit den Emissionskatastern vor der Schaffung des Moduls Forste vornehmen zu können.

Eine Schätzung der Gesamtemissionen, in welcher auch der Effekt der Absorptionen berücksichtigt wird, wird in Tabelle 8 angeführt.

Hauptgruppe	CO₂ (kt)	CO₂ eq (kt)
01 - Energieumwandlung	106,27	127,53
02 - Nicht-industrielle Verbrennungsprozesse	569,08	606,50
03 - Industrielle Verbrennungsprozesse	259,76	260,89
04 - Produktionsprozesse	1,94	2,00
05 - Verteilung von Brenn- und Kraftstoffen	-	65,18
06 - Verwendung von Lösungsmitteln	-	-
07 - Straßenverkehr	1.179,49	1.193,37
08 - Andere mobile Quellen und Maschinen	50,73	52,21
09 - Abfallbehandlung und -entsorgung	12,06	62,27
10 - Landwirtschaft	-	452,56
11 - Biogene Quellen	-1.731,39	-1.728,34
Gesamt	447,94	1.094,17

Tab. 8: Netto-CO₂-Emissionen und Emissionen von CO₂-Äquivalent ohne den absorbierten Anteil

Anhang

Sekundärschadstoffe

Sekundärschadstoffe werden nicht direkt aus den Quellen emittiert, sondern bilden sich durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre. Aus diesem Grunde ist der sekundäre Anteil der Schadstoffe nicht im Emissionskataster berücksichtigt. Da sie die Luftqualität jedoch in entscheidendem Maße beeinflussen, werden sie nachfolgend kurz erläutert.

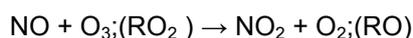
Sekundärer Feinstaub ($PM_{2,5}$ und PM_{10})

Sekundärer Feinstaub entsteht in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen von Luftschadstoffen wie Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen (VOC). Die Reaktionsprodukte dieser Stoffe sind Ammoniumsulfate und Ammoniumnitrate sowie Aldehyde und Ketone als Oxidationsprodukte der NMVOC. Diese Stoffe lagern sich leicht an bereits in der Atmosphäre befindliche Kondensationskerne an und bilden so sekundären Feinstaub.

Sekundäre Teilchen sind in der Lage, große Entfernungen zu überwinden und tragen durch den Ferntransport zu Luftbelastungen an weit von der Quelle entfernten Orten bei.

Sekundäres Stickstoffdioxid (NO_2)

Bei allen Verbrennungsprozessen entstehen als Nebenprodukt Stickstoffoxide, welche sich aus den Schadstoffen NO und NO_2 zusammensetzen. Der überwiegende Teil des emittierten NO_x ist das NO, dessen Anteil zum Beispiel bei Kraftfahrzeugemissionen bei über 90% liegen kann. Durch das Vorhandensein von O_3 oder Peroxy (RO_2)-Radikalen in der Atmosphäre wird dieses NO zu NO_2 umgewandelt:



Zwar wird das gebildete NO_2 durch Photolyse rückverwandelt ($NO_2 + hv + O_2 \rightarrow NO + O_3$), allerdings sind einerseits die Geschwindigkeiten der beiden Reaktionen unterschiedlich, andererseits hängen sie sehr stark von der jeweiligen Ozonkonzentration bzw. der jeweiligen Strahlungsintensität ab. So wird das NO in der Nacht durch das vorhandene Ozon fast

vollständig in NO₂ überführt, da die NO₂-Photolyse und somit die Rückbildung des NO's nicht stattfindet. Diese unterschiedlichen Umwandlungsgrade können im Laufe eines Tages zu deutlichen Schwankungen der NO₂-Konzentration führen.

Ozon (O₃)

Ozon ist ein besonderes Gas, das in normalen Konzentrationen wohltuende Auswirkungen auf das Leben hat. Denn in sehr großer Höhe (Stratosphäre) dient es dazu, die Erde vor den ultravioletten Strahlen zu schützen, die für das organische Leben schädlich sind, während es in geringer Höhe (Troposphäre) dazu dient, die Atmosphäre vor schädlichen Mikroorganismen (z.B. Bakterien) oder anderen organischen Stoffen frei zu halten.

Dieses Gas wirkt jedoch in hohen Konzentrationen toxisch auf das organische Leben und ruft Reizungen der Atemwege und Schleimhäute hervor und schädigt auch Pflanzenzellen und nicht zuletzt Baustoffe (z.B. Denkmäler).

Ozon zählt zu den klimarelevanten Gasen und wird im Unterschied zu Feinstaub und Stickstoffdioxid zur Gänze erst in der Atmosphäre gebildet.

In der Stratosphäre, wo Ozon in sehr hohen Konzentrationen vorhanden ist, bildet es sich unter Einwirkung von ultravioletter Strahlung aus Sauerstoff (Ozonschicht). Das bodennahe Ozon hingegen entsteht unter Einwirkung von UV-Strahlung aus NO₂ und O₂ aufgrund des im vorstehenden Kapitel über das NO₂ beschriebenen Prozesses der Photolyse.

Das Vorhandensein von flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (VOC) in der Atmosphäre kann die Tendenz zur Ozonbildung verstärken, da diese zu einer Oxidation des gebildeten NO führen können, welches somit für die Reduktion von O₃ zu O₂ ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$) nicht mehr zur Verfügung steht. Dies führt dazu, dass die höchsten Ozonkonzentrationen dort anzutreffen sind, wo intensive Sonnenstrahlung auf geringe NO- oder hohe VOC- Konzentrationen trifft.