

> Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors

Studie für die Jahre 1980–2050



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors

Studie für die Jahre 1980–2050

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autoren

Dr. Benedikt Notter, Martin Schmied (INFRAS)

Begleitung BAFU

Giovanni D'Urbano, Felix Reutimann, Harald Jenk
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

Zitiervorschlag

Notter B., Schmied M. 2015: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors. Studie für die Jahre 1980–2050. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1519: 237 S.

Gestaltung

Karin Nöthiger, 5443 Niederrohrdorf

Titelfoto

Das Titelbild wurde freundlicherweise von der Firma Zeppelin in Deutschland zur Verfügung gestellt und gemäss BAFU-Vorgaben bearbeitet.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-1519-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und englischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2015

> Inhalt

Abstracts	7
Vorwort	9
Zusammenfassung	10
<hr/>	
1 Ausgangslage	20
<hr/>	
2 Zielsetzung	21
<hr/>	
3 Vorgehen	22
<hr/>	
4 Methodik	23
4.1 Prinzip	23
4.2 Bestandesmodellierung	24
4.2.1 Struktur	24
4.2.2 Erhebung	25
4.2.3 Bestandesmodell	27
4.2.4 Betriebsstunden	27
4.2.5 Altersabhängigkeit der Betriebsstunden	28
4.2.6 Altersverteilung der Bestände und Betriebsstunden	29
4.3 Emissionsgrundlagen	30
4.3.1 Emissionsgrenzwerte	30
4.3.2 Emissionsstufen	33
4.3.3 Emissionsfaktoren	34
4.3.4 Subsegmente	41
4.3.5 Treibstoffverbrauch	44
4.3.6 Elektrizitätsverbrauch	45
4.3.7 Einflussfaktoren	46
4.3.8 Partikelfilter	48
<hr/>	
5 Bestände und Betriebsstunden	50
5.1 Bestände im Jahr 2010	50
5.2 Zeitliche Entwicklung der Bestände	51
5.3 Betriebsstunden im Jahr 2010	54
5.4 Zeitliche Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	56
5.5 Entwicklung des Bestandes an Maschinen mit Partikelfiltersystemen	58

6 Bestände und Betriebsstunden der einzelnen Maschinengattungen	61
6.1 Baumaschinen	61
6.1.1 Bestände	61
6.1.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	61
6.2 Industrie	63
6.2.1 Bestände	63
6.2.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	63
6.3 Landwirtschaft	65
6.3.1 Bestände	65
6.3.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	65
6.4 Forstwirtschaft	67
6.4.1 Bestände	67
6.4.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	67
6.5 Gartenpflege/Hobby	69
6.5.1 Bestände	69
6.5.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	69
6.6 Schiffe	71
6.6.1 Bestände	71
6.6.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	71
6.7 Schiene	73
6.7.1 Bestände	73
6.7.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	73
6.8 Militär	75
6.8.1 Bestände	75
6.8.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)	75
<hr/>	
7 Energieverbrauch und Schadstoffemissionen	77
7.1 Energieverbrauch im Jahr 2010	77
7.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	79
7.3 Emissionen im Jahr 2010	81
7.4 Entwicklung der Emissionen	84
7.4.1 Relative Entwicklung der Emissionen	84

7.4.2	Entwicklung der Emissionen nach Gattungen	86	8.6	Schiffe	109
7.4.3	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen	88	8.6.1	Energieverbrauch	109
<hr/>			8.6.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	109
8	Energieverbrauch und Schadstoffemissionen der einzelnen Maschinengattungen	89	8.6.3	Emissionen	111
8.1	Baumaschinen	89	8.6.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	111
8.1.1	Energieverbrauch	89	8.7	Schiene	113
8.1.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	89	8.7.1	Energieverbrauch	113
8.1.3	Emissionen	91	8.7.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	113
8.1.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	91	8.7.3	Emissionen	115
8.2	Industrie	93	8.7.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	115
8.2.1	Energieverbrauch	93	8.8	Militär	117
8.2.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	93	8.8.1	Energieverbrauch	117
8.2.3	Emissionen	95	8.8.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	117
8.2.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	95	8.8.3	Emissionen	119
8.3	Landwirtschaft	97	8.8.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	119
8.3.1	Energieverbrauch	97	<hr/>		
8.3.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	97	9	Ergänzende Anmerkungen	121
8.3.3	Emissionen	99	9.1	Vergleich mit den Emissionen des Strassenverkehrs	121
8.3.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	99	9.2	Auswirkungen der Partikelfilter-Ausstattung	123
8.4	Forstwirtschaft	101	9.3	Vergleich mit Bericht UW-0828	125
8.4.1	Energieverbrauch	101	9.3.1	Methodik	125
8.4.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	101	9.3.2	Mengengerüste	126
8.4.3	Emissionen	103	9.3.3	Emissionsfaktoren	130
8.4.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	103	9.3.4	Energieverbrauch	132
8.5	Gartenpflege/Hobby	105	9.3.5	Emissionen	134
8.5.1	Energieverbrauch	105	<hr/>		
8.5.2	Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)	105	Anhang	138	
8.5.3	Emissionen	107	A1	Berechnungsmethodik	138
8.5.4	Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)	107	A2	Maschinengattungen und -kategorien	141
8.5.5	Benzol-Emissionen und Einfluss des Alkylatbenzins	107	A3	Emissionsgrenzwerte	146
			A3-1	Dieselbetriebene Maschinen ohne Schiffe und Schienenfahrzeuge	146
			A3-2	Benzinbetriebene Kleingeräte	148
			A3-3	Schiffe und Boote	149
			A3-4	Schienenfahrzeuge	153

A4	Emissions- und Energieverbrauchsfaktoren	154
A4-1	Dieselbetriebene Maschinen ohne Schiffe und Schienenfahrzeuge	154
A4-2	Flüssiggasbetriebene Maschinen	158
A4-3	Benzinbetriebene Geräte	159
A4-4	Schiffe und Boote	163
A4-5	Schienenfahrzeuge	169
A4-6	Elektrisch betriebene Maschinen und Geräte	170
A4-7	Benzol-Emissionen von Benzinmotoren nach Jahr	171
A4-8	Umrechnungsfaktoren für Kohlendioxidemissionen	172
A4-9	Korrekturfaktoren für Partikelemissionen bei Partikelfiltereinsatz	173
A5	Nennleistungen und Lastfaktoren	174
A6	Maschinenkategorien mit dynamischem Schadstoffausstoß	178
A7	Bestände und Betriebsstunden nach Maschinengattung	179
A8	Bestände und Betriebsstunden nach Maschinenkategorien	180
A9	Energieverbrauch und Schadstoffemissionen	184
A10	Energieverbrauch nach Maschinengattungen	185
A11	Emissionen nach Maschinengattungen	186
A12	Energieverbrauch nach Maschinenkategorie	188
A13	Emissionen nach Maschinenkategorie	194
A14	Expertengruppen und ihre Mitglieder	228
A14-1	Baumaschinen/Industrie	228
A14-2	Land-/Forstwirtschaft	228
A14-3	Kleingeräte	228
A14-4	Motorenspezialisten	228
Verzeichnisse		229
	Begriffe	229
	Abkürzungen	229
	Abbildungen	231
	Tabellen	233
	Literatur	235

> Abstracts

This report quantifies non-road pollutant emissions and fuel consumption in Switzerland. This source encompasses all mobile machines and appliances that are equipped with a combustion engine and are not intended to transport passengers and goods by road. The calculations were made for eight different machine and appliance categories, and cover the period from 1980 to 2050, with 2010 as the reference year. The report thus provides an overview of the situation in the non-road segment and can also serve as a technical basis for assessing potential measures aimed at reducing air pollution.

Der Bericht quantifiziert die Luftschadstoffemissionen und den Energieverbrauch des Non-road-Sektors in der Schweiz. Diese Quellengruppe umfasst alle mit einem Verbrennungsmotor ausgerüsteten mobilen Maschinen und Geräte, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind. Die Berechnungen wurden für acht einzelne Maschinen- resp. Gerätegattungen durchgeführt. Sie decken den Zeitraum von 1980 bis 2050 ab, mit einem Schwerpunkt für das Jahr 2010. Der Bericht gibt damit einen Überblick über den Non-road-Sektor und kann zugleich als fachliche Grundlage für die Beurteilung von möglichen Massnahmen zur Verminderung der Luftverschmutzung dienen.

Ce rapport quantifie les émissions polluantes et la consommation de l'énergie du secteur non routier en Suisse. Cette source comprend l'ensemble des machines et appareils qui sont mobiles et équipés d'un moteur à combustion interne, mais ne sont pas destinés au transport routier de personnes et de biens. Les calculs ont été effectués pour huit catégories différentes de machines et appareils. Ils couvrent la période de 1980 à 2050, en mettant l'accent sur l'année 2010. Ce rapport donne une vue d'ensemble du secteur non routier et sert en même temps de base technique pour évaluer quelles mesures permettraient de diminuer la pollution atmosphérique.

Il presente rapporto quantifica le emissioni inquinanti e il consumo di energia del settore non-stradale in Svizzera. Detto settore comprende le macchine mobili e gli apparecchi di lavoro equipaggiati con un motore a combustione interna non destinati al trasporto di persone e di merci sulla strada. I calcoli, che riguardano otto categorie di macchine e apparecchi, sono stati effettuati per il periodo dal 1980 al 2050, con particolare accento sul 2010. Il rapporto offre una panoramica del settore non-stradale e, al contempo, funge da base tecnica per valutare possibili misure di riduzione dell'inquinamento atmosferico.

Keywords:

Exhaust emissions from machines and appliances, Emissions of air pollutants, Non-road segment

Stichwörter:

Abgas Maschinen und Geräte, Luftschadstoffemissionen, Non-road-Sektor

Mots-clés:

gaz d'échappement de machines et appareils, émissions de polluants atmosphériques, secteur non routier

Parole chiave:

gas di scarico, macchine e apparecchi, emissioni di inquinanti atmosferici, settore non-stradale

> Vorwort

Beträchtliche Mengen von Luftschadstoffen werden noch heute nicht nur vom Strassenverkehr ausgestossen, sondern auch vom Non-road-Sektor, das heisst von mobilen Maschinen und Geräten, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind. Dazu gehören beispielsweise Baumaschinen sowie land- und forstwirtschaftliche Maschinen, aber auch die Geräte aus dem Bereich Gartenpflege/Hobby und weitere.

Lange war der Non-road-Sektor bezüglich Abgasvorschriften und Emissionsmessungen ein vernachlässigtes Gebiet der Luftreinhaltung. Im Jahr 2008 hat das BAFU einen umfassenden Bericht zum Treibstoffverbrauch und den Luftschadstoff-Emissionen des Non-road-Sektors publiziert. In der Zwischenzeit haben wichtige Entwicklungen in den Bereichen Abgasvorschriften, Motorenentwicklung und neue Technologien stattgefunden. Der vorliegende Bericht trägt diesen Entwicklungen Rechnung und stellt die Aktualisierung der bisherigen Grundlagen dar.

Er bildet damit eine aktualisierte Basis für die Beurteilung der Relevanz einzelner Verursachergruppen, für die Abschätzung der zu erwartenden zeitlichen Entwicklung der Emissionen und für die Bewertung der Wirkung von möglichen Minderungsmaßnahmen.

Dem aktualisierten Non-road-Bericht liegt eine beträchtliche Datenmenge zu Grunde, die in verdankenswerter Zusammenarbeit vieler Beteiligter erarbeitet wurde. Diese Daten basieren zwar auf dem aktuellen Stand des Wissens, sie können sich aber zukünftig durch neue Entwicklungen und Erkenntnisse verändern. Das BAFU nimmt deshalb Hinweise über neue Entwicklungen jederzeit dankbar entgegen. Nur so kann die Datenlage weiter aktualisiert und verbessert werden.

Dr. Martin Schiess
Chef Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Beträchtliche Mengen verschiedener Luftschadstoffe werden nicht nur vom Strassenverkehr ausgestossen, sondern auch von unterschiedlichsten mobilen Motoren, die meist fernab der Strasse betrieben werden, dem so genannten Non-road-Sektor. Möglichst präzise und aktuelle Angaben zu den Emissionen und des Energieverbrauchs des Non-road-Sektors in der Schweiz werden für verschiedene Zwecke benötigt, unter anderem für das jährliche Klimagasinventar, zu dessen Abgabe die Schweiz im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet ist, oder als Grundlage für die Ausarbeitung von Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung. Aus diesen Gründen hat das BAFU beschlossen, die bisher für diese Zwecke verwendete Datengrundlage zu den Emissionen des Non-road-Sektors aus dem Jahre 2008 (BAFU 2008) mit der hier vorliegenden Studie zu aktualisieren.

Emissionsquellen

Der Non-road-Sektor umfasst alle mit einem Verbrennungsmotor ausgerüsteten mobilen Maschinen und Geräte, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind. Für die Berechnungen wurden die einzelnen Maschinen und Geräte des Non-road-Sektors den folgenden acht Gattungen zugeordnet:

- > Baumaschinen,
- > Industrie,
- > Landwirtschaftliche Maschinen,
- > Forstwirtschaft,
- > Gartenpflege/Hobby,
- > Schiffe,
- > Schiene,
- > Militär.

Der Begriff «Non-road» ersetzt den bis zur Vorgängerstudie verwendeten Begriff «Offroad», aus verschiedenen Gründen: Erstens suggeriert der Begriff «Offroad», dass die entsprechenden Emissionen ausschliesslich abseits der Strassen entstehen – gewisse Non-road-Fahrzeuge wie Traktoren oder Baumaschinen fahren aber hin und wieder auf Strassen und tragen deswegen auch Nummernschilder. Zweitens ist «Non-road» die heutzutage international gängige Bezeichnung für den Sektor. Und schliesslich wird so die inkorrekte Assoziation mit den «Offroadern», also teilweise geländegängigen Personenwagen, vermieden.

Mobile Maschinen und Geräte mit Elektromotor werden im klassischen Sinn nicht zum Non-road-Sektor gezählt. Da aber aufgrund der Verbesserung der Akku-Technologie und aus gesundheitlichen Überlegungen bei manchen Gerätekategorien seit einigen Jahren eine graduelle Substitution von Verbrennungs- mit Elektromotoren stattfindet, erfasst die vorliegende Studie auch die entsprechenden Elektrogeräte. So wird sicher-

gestellt, dass weiterhin der gesamte Energieverbrauch der entsprechenden Gerätekategorien im Inventar erfasst bleibt. Von den Elektrogeräten werden keine Schadstoffemissionen ausgewiesen, da der Bericht auf direkte Emissionen fokussiert und Emissionen der Strom- oder Treibstoffproduktion nicht berechnet werden.

Neben den Elektrogeräten enthält das vorliegende Inventar auch die folgenden neuen Maschinenkategorien, welche in der Vorgängerstudie (BAFU 2008) noch nicht enthalten waren:

- > Generatoren in Industrie und Gewerbe
- > Fahrzeuge und mobile Maschinen des Flughafenvorfeldes (Airside-Bereich)
- > Rheingüterschiffe

Luftschadstoffe

In der vorliegenden Studie werden wie in der Vorgängerstudie die Emissionen der vier «klassischen» Luftschadstoffe

- > Kohlenmonoxid (CO),
- > Kohlenwasserstoffe (HC),
- > Stickoxide (NO_x),
- > Partikelmasse (PM),

sowie jene des Treibhausgases

- > Kohlendioxid (CO₂)

berechnet, jeweils ausgedrückt in Tonnen pro Jahr (t/a).

Zusätzlich zur Vorgängerstudie enthält der vorliegende Bericht auch die Emissionen der folgenden nicht-regulierten Luftschadstoffe:

- > Komponenten der Kohlenwasserstoffe:
- > Methan (CH₄)
- > Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC, entsprechen der Differenz von HC und CH₄)
- > Benzol (C₆H₆)
- > Lachgas (N₂O)

Berechnungsmethodik

Die Emissionsberechnungen beruhen im Wesentlichen auf zwei Grundlagen:

- > Bestände, Betriebsstunden und Nennleistungen der Non-road-Maschinen und Geräte
- > Last-, Emissions- und Korrekturfaktoren für diese Maschinen und Geräte.

Die Gesamtemissionen werden für jede Maschinenart und für jeden Schadstoff durch Multiplikation der Betriebsstunden mit den entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet und anschliessend summiert.

Dabei sind die Emissionsfaktoren für die Luftschadstoffe in erheblichem Mass von der Maschinenart und von der Betriebsart der Maschinen abhängig. Im Gegensatz dazu sind die CO₂-Emissionen eine direkte Folge des Treibstoffverbrauchs und mit diesem durch feste Umrechnungsfaktoren unmittelbar gekoppelt.

Bestände, Betriebsstunden und Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Tab. 1 zeigt auf, dass der Non-road-Sektor bezüglich der Anzahl der Maschinen und Geräte im Jahr 2010 von den Gartenpflege/Hobby-Geräten mit einem Anteil von 80 % und den landwirtschaftlichen Maschinen mit einem Anteil von 11 % am Gesamtbestand dominiert wird.

Beim Energieverbrauch des Non-road-Sektors ergibt sich hingegen ein völlig anderes Bild (Tab. 2): Wegen der hohen Betriebsstunden pro Maschine und den grossen Nennleistungen haben die Baumaschinen einen Anteil von 33 % am gesamten Energieverbrauch des Non-road-Sektors. Der entsprechende Anteil der Gartenpflege- und Hobby-Geräte beträgt trotz der grossen Bestände nur 3 %. Landwirtschaftliche Maschinen hingegen haben auch beim Energieverbrauch einen hohen Anteil von 29 %.

Tab. 1 > Bestände und Betriebsstunden des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Bestände und Betriebsstunden der Non-road-Quellgruppen im Jahr 2010 Zahlen gerundet.

Maschinengattung	Maschinenbestände [-]	Betriebsstunden [Mio. h/a]	Betriebsstunden/Maschine [h/a]
Baumaschinen	57'100	23.8	420
Industrie	69'800	47.5	680
Landwirtschaft	319'000	33.0	100
Forstwirtschaft	11'900	2.3	190
Gartenpflege/Hobby	2'320'000	149.7	60
Schiffe	95'100	3.4	40
Schiene	700	0.5	780
Militär	13'100	0.9	70
Total Non-road-Sektor	2'890'000	261.1	90

Tab. 2 > Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Bestände und Betriebsstunden der Non-road-Quellgruppen im Jahr 2010. Zahlen gerundet.

Maschinengattung	Treibstoffverbrauch [t/a]			Elektrizitätsverbrauch [GJ]	Energieverbrauch total [PJ]
	Diesel ¹	Benzin	Flüssiggas		
Baumaschinen	135'800	2'561	-	-	5.92
Industrie	57'200	2'610	5'840	799	3.57
Landwirtschaft	106'700	14'390	-	-	5.18
Forstwirtschaft	7'460	1'770	-	-	0.39
Gartenpflege/Hobby	-	10'560	-	122	0.57
Schiffe	24'010	12'586	-	-	1.56
Schiene	11'500	-	-	-	0.49
Militär	5'990	426	-	-	0.27
Total Non-road-Sektor	348'700	44'900	5'840	921	18.0

Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Abb. 1 veranschaulicht die Anteile der verschiedenen Emittentengruppen an den Emissionen des Non-road-Sektors für die vier regulierten Schadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM). Je nach Schadstoff sind unterschiedliche Maschinen- und Gerätegattungen die grössten Emissionsverursacher.

Beim Kohlenmonoxid (CO) und bei den Kohlenwasserstoffen (HC) wird der grösste Anteil an den Emissionen durch die Landwirtschaftsmaschinen verursacht (41 % respektive 37 %, vgl. auch Tab. 3). Zurückzuführen ist dies vor allem auf die in der Landwirtschaft eingesetzten Einachsmäher, die eine relativ grosse Nennleistung und zudem sehr hohe Lastfaktoren aufweisen. Allerdings tragen die in der Gartenpflege und in der Forstwirtschaft eingesetzten Geräte insgesamt ebenfalls einen entscheidenden Anteil zu den CO- und HC-Emissionen bei (die Gartengeräte 28 % der CO- und 24 % der HC-Emissionen, die forstwirtschaftlichen Geräte 5 % der CO- und 8 % der HC-Emissionen). Dies hängt mit der grossen Verbreitung von Benzinmotoren in diesen Gerätegattungen zusammen.

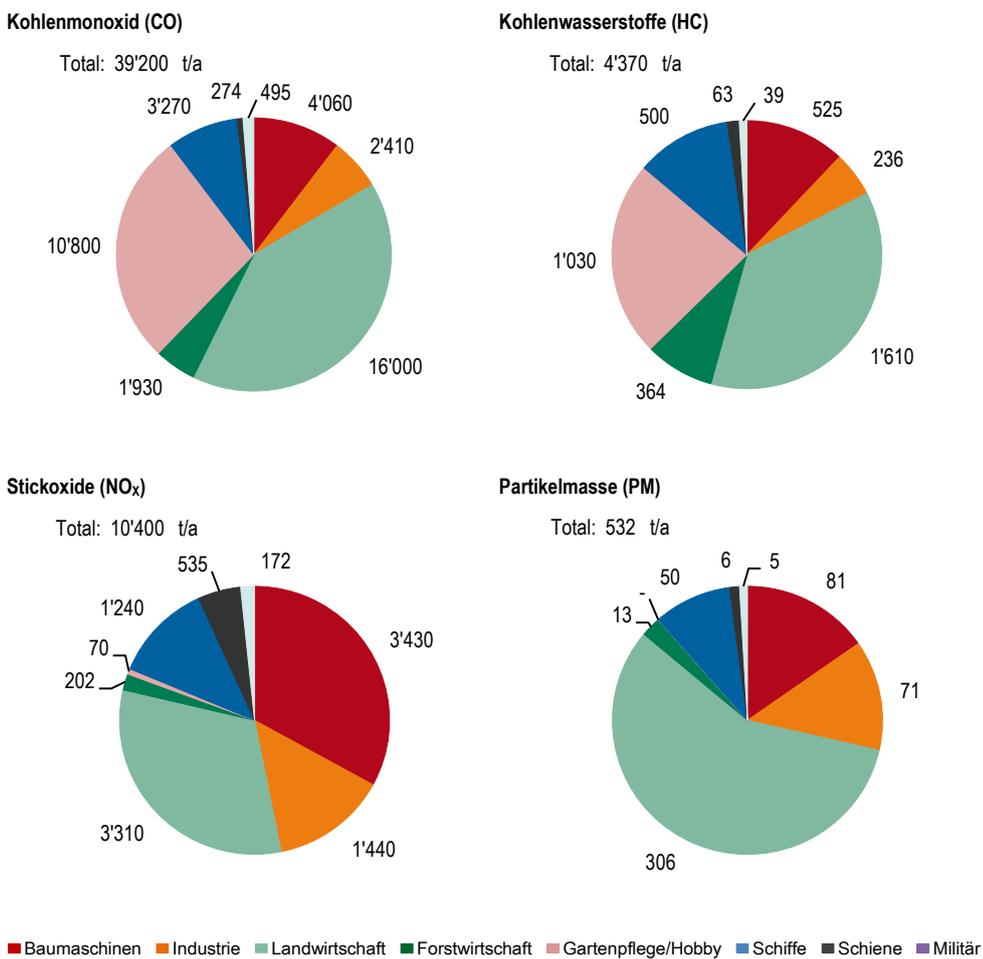
Bei den Stickoxiden (NO_x) sind die Baumaschinen (33 % der Non-road-Emissionen) und die Landwirtschaftsmaschinen (32 %) mit Abstand die beiden grössten Emissionsquellen. Allerdings verursachen auch Industrie (14 %) und Schiffe (12 %), sowie in kleinerem Ausmass die Schiene (5 %), einen relevanten Anteil an den NO_x-Emissionen des Non-road-Sektors.

Bei der Partikelmasse ist heute die Landwirtschaft mit 58 % der gesamten Non-road-Emissionen mit Abstand die grösste Emissionsquelle. Noch 2005 verursachten die Baumaschinen ähnlich hohe Partikel-Emissionen wie die Landwirtschaftsmaschinen

¹ Bei Schiffen inkl. Heizöl für Dampfschiffe

(BAFU 2008). Unter anderem dank der in der Luftreinhalte-Verordnung festgeschriebenen Partikelfilterpflicht (in Kraft ab 2009) betrug die von den Baumaschinen ausgestossene Partikelmasse im Jahr 2010 nur noch rund einen Viertel der PM-Emissionen der Landwirtschaft – dies obwohl die Emissionen der Landwirtschaft aufgrund des vermehrten Einsatzes neuer Technologien in der gleichen Periode ebenfalls um 19 % zurückgingen.

Abb. 1 > Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010



Zahlenwerte siehe Tab. 3.

Tab. 3 > Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Zahlen gerundet.

Maschinengattung	Kohlenmonoxid (CO) [t/a]	Kohlenwasserstoffe (HC) [t/a]	Stickoxide (NO _x) [t/a]	Partikelmasse (PM) [t/a]	Kohlendioxid (CO ₂) [t/a]
Baumaschinen	4'060	525	3'430	81	435'800
Industrie	2'410	236	1'440	71	203'200
Landwirtschaft	16'000	1'610	3'310	306	381'300
Forstwirtschaft	1'930	364	202	13	29'000
Gartenpflege/Hobby	10'800	1'030	70	-	33'200
Schiffe	3'270	500	1'240	50	115'000
Schiene	274	63	535	6	36'200
Militär	495	39	172	5	20'200
Total Non-road-Sektor	39'200	4'370	10'400	532	1'254'000

Abb. 2 visualisiert die Anteile der verschiedenen Emittentengruppen an den Emissionen des Non-road-Sektors für nicht-regulierte Schadstoffe: Die Komponenten der Kohlenwasserstoffe Methan (CH₄), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) und Benzol (C₆H₆), sowie Lachgas (N₂O), Ammoniak (NH₃) und die Partikelanzahl (PN).

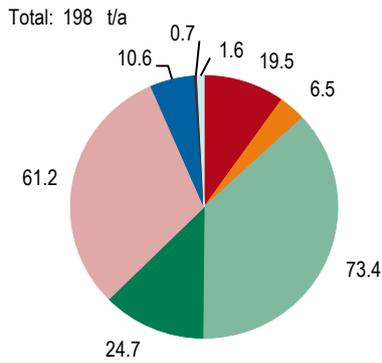
Bei den Komponenten der Kohlenwasserstoffe ist der Anteil der einzelnen Emittentengruppen am Total naturgemäss ähnlich wie bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen. Er unterscheidet sich aber dennoch leicht nach Komponente, da die Anteile einzelner Komponenten an den gesamten Kohlenwasserstoffen je nach Treibstoffart und Motor-technologie unterschiedlich sind. So tragen die Gartengeräte mehr zu den gesamten Methan-Emissionen bei als bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen (31 % beim Methan gegenüber 24 % bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen), da bei den Gartengeräten 2-Takt-Benzinmotoren stark vertreten sind und diese höhere Methan-Konzentrationen in den Gesamt-Kohlenwasserstoff-Emissionen aufweisen (7 %) als 4-Takt-Benzin- und Dieselmotoren (3.4 % respektive 2.4 %). Bei den Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen tritt folglich der umgekehrte Effekt auf.

Beim Benzol tragen Gartengeräte, Landwirtschaft und Forstwirtschaft einen höheren Anteil zu den Gesamtemissionen bei als bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen, weil in diesen Gattungen allgemein viele Benzinmotoren eingesetzt werden und diese mit 0.8 % Anteil an den Gesamt-Kohlenwasserstoffen auch nach der Einführung des tieferen Benzol-Grenzwertes im Benzin im Jahr 2000 einen sehr viel höheren spezifischen Benzol-Ausstoss aufweisen als Dieselmotoren mit 0.15 % der Gesamt-Kohlenwasserstoffe. Nicht berücksichtigt ist der Einsatz von benzolfreiem Alkylatbenzin, welches vor allem der Forstwirtschaft, zunehmend aber auch in den anderen Anwendungsbereichen verwendet wird.

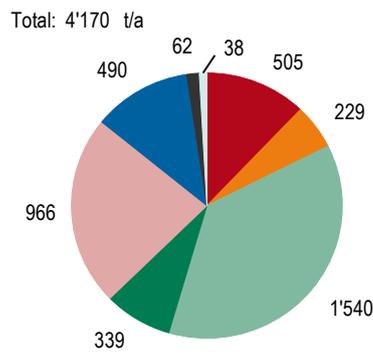
Beim Lachgas sind die Baumaschinen die grössten Emittenten, gefolgt von Landwirtschaft und Industrie. Dies liegt daran, dass Diesel- und 4-Takt-Benzinmotoren, welche in diesen Gattungen am stärksten vertreten sind, rund dreimal höhere spezifische Emissionen aufweisen als 2-Takt-Benzinmotoren.

Abb. 2 > Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010

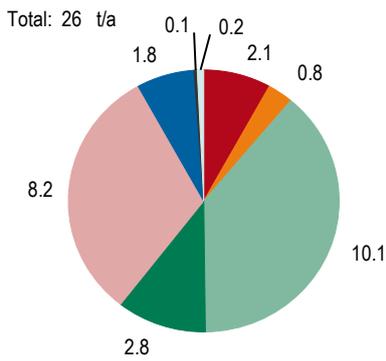
Methan (CH₄)



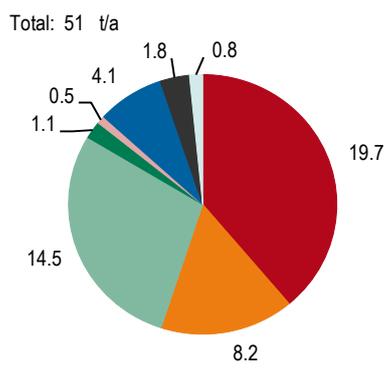
Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)



Benzol (C₆H₆)



Lachgas (N₂O)



■ Baumaschinen ■ Industrie ■ Landwirtschaft ■ Forstwirtschaft ■ Gartenpflege/Hobby ■ Schiffe ■ Schiene ■ Militär

Zahlenwerte siehe Tab. 4.

Tab. 4 > Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010

Zahlen gerundet.

Maschinengattung	Methan (CH ₄) [t/a]	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) [t/a]	Benzol (C ₆ H ₆) [t/a]	Lachgas (N ₂ O) [t/a]
Baumaschinen	20	505	2	20
Industrie	7	229	1	8
Landwirtschaft	73	1'540	10	14
Forstwirtschaft	25	339	3	1
Gartenpflege/Hobby	61	966	8	–
Schiffe	11	490	2	4
Schiene	1	62	–	2
Militär	2	38	–	1
Total Non-road-Sektor	198	4'170	26	51

Entwicklung der Non-road-Emissionen (1980–2050)

Die zeitliche Entwicklung der Gesamtemissionen des Non-road-Sektors ist aus Abb. 3 ersichtlich. Demnach fand bis zum Jahr 1995 ein Anstieg der Emissionen nahezu aller betrachteten Schadstoffe statt. Die Benzolemissionen nahmen wegen der Einführung des tieferen Benzol-Grenzwertes im Benzin im Jahr 2000 drastisch ab. Ab dem Jahr 2002, d. h. mit dem Inkrafttreten der ersten EU-Emissionsstufen, stellte sich ein deutlicher Rückgang der Emissionen aller Schadstoffe mit Ausnahme des Kohlendioxids und des Lachgases ein. Am stärksten sind davon die Partikelemissionen betroffen, die um über die Hälfte abgenommen haben.

In Zukunft wird bei den meisten Schadstoffen eine weitere Abnahme erwartet, bedingt durch die weitere Verschärfung der Grenzwerte und die entsprechende Verbesserung der Motortechnologien. Nur bei den Treibhausgasen CO₂ und N₂O ist ein weiterer, wenn auch langsamerer Anstieg zu erwarten. Am stärksten abnehmen sollen die Partikelemissionen, für die bis zum Jahr 2030 ein Rückgang auf 12 % und bis zum Jahr 2050 ein Rückgang auf 5 % des Wertes im Jahr 2010 prognostiziert wird. Dieser Rückgang ist sowohl auf die schadstoffärmeren Motoren als auch auf die unterstellte zunehmende Marktdurchdringung von Partikelfiltern zurückzuführen. Bei den Zukunftsprognosen ist generell zu beachten, dass ihre Zuverlässigkeit abnimmt, je weiter in die Zukunft sie reichen.

Abb. 3 > Relative Entwicklung der Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors im Vergleich zu den Werten des Jahres 2010

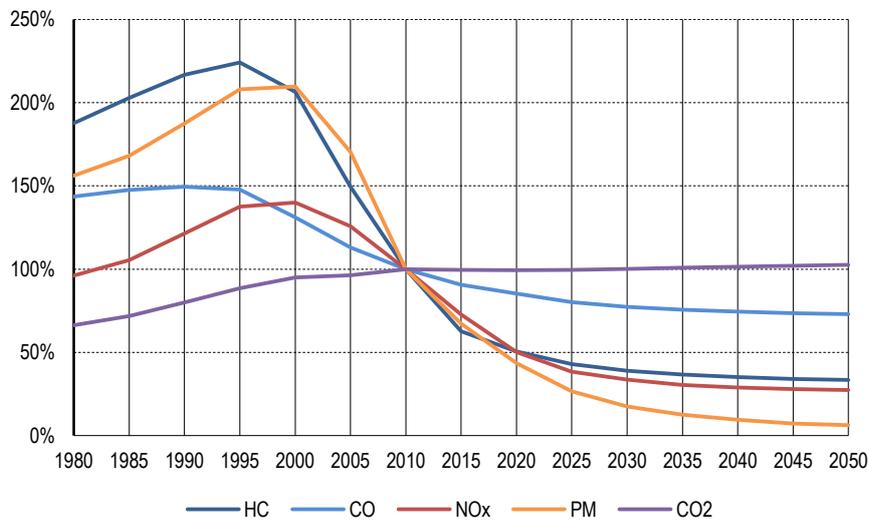
a) Relative Entwicklung der regulierten Luftschadstoffe und CO₂

b) Relative Entwicklung der nicht-regulierten Luftschadstoffe

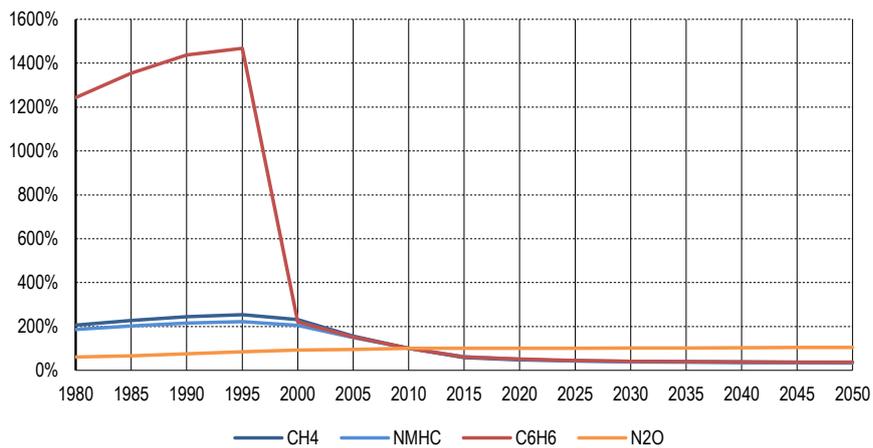
Die Entwicklung der Schadstoffemissionen ist auf das Jahr 2010 indexiert.

Der Entwicklung der Partikelemissionen (PM) ist eine Entwicklung des Bestandes an Maschinen, die mit Partikelfiltern nachgerüstet sind (gemäss Abb. 23), hinterlegt.

a)



b)



Zahlenwerte siehe Tab. 54 auf Seite 186

Vergleich mit dem Energieverbrauch und den Emissionen des Strassenverkehrs

In Tab. 5 sind der Treibstoff- und Energieverbrauch sowie die Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors und des Strassenverkehrs im Jahr 2010 nebeneinander aufgelistet. Im Vergleich mit dem Strassenverkehr sind die Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff-, Stickoxid- und Partikel-Emissionen des Non-road-Sektors überproportional hoch. Obwohl nur 9 % der gesamten Energie (Non-road + Strasse) vom Non-road-Sektor verbraucht wird, liegt dessen Anteil am gesamten Schadstoffausstoss zwischen 20 % (Kohlenwasserstoffe, NO_x) und 32 % (Partikel).

Tab. 5 > Vergleich des Non-road-Sektors mit dem Strassenverkehr für das Jahr 2010

Zahlen gerundet.

	Non-road-Sektor [t/a]	Strassenverkehr [t/a]	Anteil des Non-road-Sektors an der Gesamtmenge (Strasse + Non-road)
Verbrauch			
Diesel	348'700	1'726'600	17 %
Benzin	44'900	2'807'100	2 %
Energie	18 PJ	193 PJ	9 %
Schadstoffemissionen			
Kohlenmonoxid (CO)	39'200	124'200	24 %
Kohlenwasserstoffe (HC)	4'370	17'100	20 %
Stickoxide (NO _x)	10'400	39'300	21 %
Partikelmasse (PM)	532	1'135	32 %
Kohlendioxid (CO ₂)	1'254'000	14'373'100	8 %

Quelle Strassenverkehr: BAFU 2010

Ausblick

Die Emissionszahlen des vorliegenden Berichtes zeigen, dass beim Non-road-Sektor in den nächsten Jahren weitere Anstrengungen in Bezug auf die Luftreinhaltung notwendig sind. Beispielsweise lässt sich der Ausstoss von Dieselmotoren mit Partikelfiltersystemen massiv reduzieren. Zwar zeigt sich, dass die europäischen Abgasvorschriften der Stufen EU-IIIb und EU-IV nicht nur mit Partikelfiltern, sondern auch mit alternativen Technologien wie SCR (Selective Catalytic Reduction) eingehalten werden können; die Einführung der Vorschriften der Stufe EU-V ab 2019 wird jedoch die Ausrüstung aller Dieselmotoren zwischen 19 und 560 kW mit Partikelfiltern erfordern. In der Schweiz herrscht für den Grossteil der Baumaschinen auf Baustellen seit Inkrafttreten der LRV 2009 ein Partikelfilter-Obligatorium. Bei allen anderen Maschinengattungen, die noch keiner Nachrüstungspflicht unterliegen, kommt eine entsprechende Entwicklung der Feinstaubemissionen erst deutlich später in Gang.

1 > Ausgangslage

Der Ausstoss von lufthygienisch relevanten Schadstoffen ist trotz stetig strenger werdender Gesetzgebung zur Luftreinhaltung nach wie vor zu hoch. Ein Grossteil dieser Emissionen ist auf den motorisierten Strassenverkehr zurückzuführen. Daneben hat auch der so genannte Non-road-Sektor einen markanten Anteil an den Emissionen. Dieser Sektor umfasst alle im Freien operierenden mobilen Maschinen und Geräte, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind. Gemäss der klassischen Definition umfasste der Non-road-Sektor nur mit einem Verbrennungsmotor ausgestattete Maschinen und Geräte; aufgrund der graduellen Substitution von Verbrennungs- mit Elektromotoren bei manchen Gerätekategorien erfasst die vorliegende Studie jedoch auch die entsprechenden Elektrogeräte.

Zur weiteren Verbesserung der Luftqualität werden vom BAFU und von verschiedenen Kantonen und Gemeinden Richtlinien und Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung für den Non-road-Sektor umgesetzt oder vorgeschlagen. Als Grundlage hierfür diente bisher der Bericht UW-0828 des Bundesamtes für Umwelt aus dem Jahre 2008 (BAFU 2008) zu den Schadstoffemissionen und dem Treibstoffverbrauch des Non-road-Sektors. Weil die Angaben dieses Berichts nicht mehr auf dem aktuellen Stand sind, bedarf es neuer Daten.

2 > Zielsetzung

Ziel dieses Berichtes ist die Berechnung aktueller Zahlen zu den Luftschadstoffemissionen und dem Treibstoffverbrauch des Non-road-Sektors in der Schweiz.

Die Berechnungen sollen für acht einzelne Maschinen- resp. Gerätegattungen durchgeführt werden: Baumaschinen, Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Gartenpflege/Hobby, Schiffe, Schiene und Militär.

Aufgrund der Verbesserung der Akku-Technologie und aus gesundheitlichen Überlegungen findet bei manchen Gerätekategorien seit einigen Jahren eine graduelle Substitution von Verbrennungs- mit Elektromotoren statt. Deswegen soll die vorliegende Studie auch die entsprechenden Elektrogeräte miteinfassen. So soll sichergestellt werden, dass weiterhin der gesamte Energieverbrauch der entsprechenden Gerätekategorien im Inventar erfasst bleibt. Von den Elektrogeräten werden keine Schadstoffemissionen ausgewiesen, da der Bericht auf direkte Emissionen fokussiert und bei der Strom- oder Treibstoffproduktion entstehende Emissionen nicht berechnet werden.

Der Bericht soll den Zeitraum ab 1980 abdecken und Prognosen bis 2050 enthalten. Das Jahr 2010 soll dabei einen Schwerpunkt bilden. Er soll einen guten Überblick über den Non-road-Sektor geben und zugleich als fachliche Grundlage für die Beurteilung von möglichen Massnahmen zur Verminderung der Luftverschmutzung dienen.

3 > Vorgehen

Die bisher verwendeten Daten des Non-road-Sektors stammen aus dem Inventar aus dem Jahr 2008, welches im Bericht UW-0828 des Bundesamtes für Umwelt (BAFU 2008) dokumentiert ist. Dieses wiederum aktualisierte die erste Berechnung aus dem Jahr 1996 (BUWAL 1996). Die Berechnungsgrundlagen des vorliegenden Berichtes wurden im Rahmen der Arbeiten für die vorliegende Publikation aktualisiert. Dies beinhaltete die Aktualisierung der Maschinen-/Gerätebestände und Betriebsstunden, die Überarbeitung der Grundlagen für die Emissionsfaktoren sowie die Verbesserung und Verfeinerung der Berechnungsmethodik.

Die Mengengerüste (Bestände und Betriebsstunden) waren aufgrund neuer statistischer Angaben und den Einschätzungen von Fachexperten zu überprüfen und wo nötig anzupassen. Anhang A2 (Seite 141) liefert einen Überblick über die verwendeten Definitionen und Datengrundlagen.

Die Überarbeitung der Emissionsgrundlagen war wegen der Einführung neuer europäischer Abgasvorschriften für neue Non-road-Motoren ab 2008 notwendig. Die Abgasvorschriften verlangen eine stetige Verbesserung neuer Non-road-Motoren im Hinblick auf ihren spezifischen Schadstoffausstoß. Diese Entwicklung war in der Berechnung über die Emissionsfaktoren nachzuvollziehen.

Die Berechnungsmethodik wurde gegenüber dem Ansatz im Bericht UW-0828 punktuell angepasst, um neue Erkenntnisse einfließen zu lassen (z. B. Einfluss von Partikelfiltern auf die Emissionen neuerer Motoren).

4 > Methodik

4.1 Prinzip

Die Emissionsberechnungen zum Non-road-Sektor basieren im Wesentlichen auf zwei Grundlagen:

- > Mengengerüste, d. h. Bestände und Betriebsstunden differenziert nach Maschinenkategorie, Motortyp, Leistungsklasse und Baujahr.
- > Emissionsfaktoren: Je Motortyp und Baujahr werden den Maschinen Emissionsfaktoren zugeordnet, die die Schadstoffemissionen in g/kWh angeben. Die Emissionsfaktoren sind in Emissionsstufen eingeteilt, die den Zeitraum (nach Baujahr) von Maschinen umfassen, für die bestimmte Emissionsfaktoren charakteristisch sind. Bei neueren Maschinen entsprechen die Emissionsstufen dem Zeitraum, ab dem bestimmte Grenzwerte für neue Maschinen bindend sind.

Aufgrund der zwei Datensätze (Mengengerüste, Emissionsfaktoren) lassen sich schliesslich die Emissionen je Maschinenschicht (Maschinen gleicher Kategorie, gleichen Typs und gleicher Leistungsklasse sowie ähnlichen Baujahrs, denen dieselben Emissionsfaktoren zugeordnet werden können) gemäss folgender Formel berechnen (detailliert dargestellt in Anhang A1 auf Seite 138):

$$Em = N \cdot H \cdot P \cdot \lambda \cdot \varepsilon \cdot CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3$$

Wobei

- Em = Emission pro Maschinentyp, je Schadstoff bzw. Emissionsstufe (in g resp. t/a)
- N = Bestand Geräte (Anzahl)
- H = Anzahl Betriebsstunden (h/a)
- P = mittlere Nennleistung (kW)
- λ = effektiver Lastfaktor (dimensionslos)
- ε = Emissionsfaktor (g/kWh)
- CF₁ = Korrekturfaktor für die Abweichung der effektiven Last von der Normlast im Zyklus, auf dem der Emissionsfaktor basiert (dimensionslos)
- CF₂ = Korrekturfaktor für den dynamischen Maschineneinsatz (dimensionslos)
- CF₃ = Korrekturfaktor für den Verschleiss einer Maschine (dimensionslos)

Durch Summierung über alle Maschinenschichten je Bezugsjahr lassen sich die Gesamtemissionen des Non-road-Sektors pro Jahr ermitteln.

Die oben angegebene Berechnungsmethodik bezieht sich auf die «klassischen» Luftschadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM). Die dabei verwendeten Emissionsfaktoren sind maschinen- und betriebsabhängig.

Im Gegensatz dazu werden die CO₂-Emissionen direkt aus dem Treibstoffverbrauch abgeleitet. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind in Tab. 44 auf Seite 172 angegeben.

Die Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe werden auf die folgende Art berechnet:

- > Komponenten der Kohlenwasserstoffe (Methan, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe, Benzol): Diese werden als je nach Treibstoffart und Motortechnologie differenzierte Anteile an den Kohlenwasserstoffen (HC) berechnet. Beim Benzol werden zudem die Perioden vor bzw. ab dem Jahr 2000 unterschieden, denn ab diesem Jahr trat der Grenzwert des Benzolgehaltes von maximal 1 % im Benzin in Kraft. Die verwendeten Umrechnungsfaktoren von HC zu dessen Komponenten sind in Anhang A4 ab Seite 154 in den Fussnoten zu den jeweiligen Emissionsfaktoren-Tabellen angegeben.
- > Lachgas (N₂O): Für Lachgas werden nach Motortechnologie differenzierte Emissionsfaktoren in g/kWh verwendet. Diese ebenfalls können in Anhang A4 ab Seite 154 eingesehen werden.

4.2 Bestandesmodellierung

4.2.1 Struktur

Das Mengengerüst der Maschinen und Geräte des Non-road-Sektors wurde in Zusammenarbeit mit fachlichen Expertengruppen (vgl. Anhang A14, Seite 228) zusammengestellt. Dabei wurden die einzelnen Maschinen und Geräte entsprechend den CORINAIR-Definitionen² den folgenden acht «Maschinengattungen» zugeordnet:

- > Baumaschinen,
- > Industrie,
- > Landwirtschaftliche Maschinen,
- > Forstwirtschaft,
- > Gartenpflege/Hobby,
- > Schiffe,
- > Schiene,
- > Militär.

Die acht Maschinen- bzw. Gerätegattungen untergliedern sich weiter in Kategorien, Motortypen und Leistungsklassen (Abb. 4). Die Leistungsklassen sind teilweise motor-

² CORINAIR (CORE INventory of AIR emissions) ist ein Projekt, das vom «European Topic Centre on Air Emissions» und der Europäischen Umweltagentur (EEA) durchgeführt wird. Ziel ist es, Informationen zu Emissionen in die Luft mittels eines europäischen Luftemissionsinventars und -datenbanksystems zu sammeln, zu unterhalten und zu veröffentlichen.

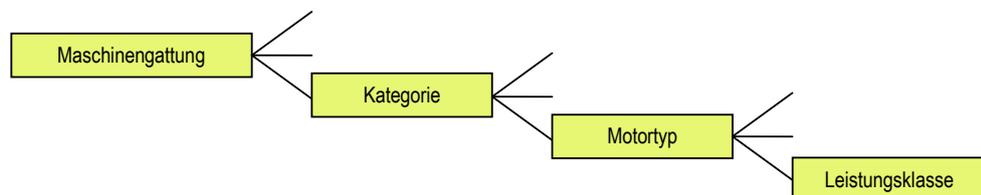
typ- und kategorienspezifisch. Die nach diesen Gliederungsstufen gebildeten Teilmengen werden Segmente genannt. Des Weiteren ist in der Non-road-Datenbank für jedes Segment eine Altersverteilung hinterlegt. Anhand dieser Altersverteilung kann bei der Emissionsberechnung eruiert werden, welche Geräte welchen Emissionsstufen zuzuordnen sind.

Anhang A2 (Seite 141) enthält eine Liste aller Kategorien je Maschinengattung.

Neben den Elektrogeräten, welche aufgrund der zunehmenden Substitution von Verbrennungs- durch Elektromotoren neu mit ins Non-road-Inventar aufgenommen wurden (vgl. Kap. 2, Seite 21) enthält das vorliegende Inventar auch die folgenden neuen Maschinenkategorien, welche in der Vorgängerstudie (BAFU 2008) noch nicht enthalten waren:

- > Generatoren in Industrie und Gewerbe (bisher waren nur Generatoren der Bauwirtschaft berücksichtigt)
- > Fahrzeuge und mobile Maschinen des Flughafenvorfeldes (Airside-Bereich, ohne Flugzeuge)
- > Rheingüterschiffe

Abb. 4 > Die Gliederungsstufen der Non-road-Datenbank am Beispiel der Zusammensetzung eines Maschinen- bzw. Gerätesegments



4.2.2 Erhebung

Für die Entwicklung der Bestände und Betriebsstunden ab 1980 bis zum Jahr 2000 wurde auf die bisherige Non-road-Datenbank (BAFU 2008, Mengengerüst nach EWI 2005) zurückgegriffen. Nur in Einzelfällen wurden Bestände oder Betriebsstunden rückwirkend angepasst, wenn neuere Informationen vorlagen, die eine Korrektur nahelegten.

Zur Einholung der erforderlichen Daten für die Periode 2000 bis 2014 wurden verschiedene Wege beschritten. Sofern vorhanden, wurde auf bestehende Statistiken im In- und Ausland zurückgegriffen, wie zum Beispiel die Datenbank der Eidgenössischen Motorfahrzeugkontrolle (MOFIS), die Inventargrunddaten des Schweizerischen Baumeisterverbands (SBV 2013), die periodisch durchgeführte Landwirtschaftliche Betriebszählung, oder die Import-/Exportstatistik des Bundes (Swiss-impex, EZV 2014). Eine wichtige Quelle für die Entwicklung der Bestände von Baumaschinen und Traktoren waren Marktstudien (Off-Highway Research 2005, 2008, 2012). Weiter wurden Herstellerwebsites konsultiert, Fragebogen an Importeure und Betreiber versendet, und

die Mineralölsteuer-Rückerstattungsanträge sowie Anträge auf Heizöl-Nutzung an die Oberzolldirektion (OZD) ausgewertet. Für die einzelnen Maschinen- bzw. Gerätegattungen wurden Expertengruppen gebildet. Wegen der relativ bescheidenen Datengrundlage in bestehenden Statistiken wurden in den eigens eingerichteten Expertengruppen auf der Basis der ausgewerteten Daten und den Erfahrungen der beteiligten Experten Schätzungen zu den Mengengerüsten vorgenommen. Die Altersverteilungen wurden in den meisten Fällen aus EWI (2005) übernommen und nur in Einzelfällen angepasst.

Die Prognosen bis 2050 orientieren sich an verschiedenen Eckwerten:

- > Bauwirtschaft, Industrie: Prognosen zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung der betreffenden Sektoren bis 2030 (VÖV 2012), sowie Fortschreibung dieser Entwicklung unter Berücksichtigung des prognostizierten Bevölkerungswachstums («Szenario mittel» des Bundesamtes für Statistik, BFS 2014). Bei den Baumaschinen deckt sich die aus der Trendfortschreibung der einzelnen Maschinengattungen resultierende Entwicklung der Gesamtaktivität (in kWh) sehr gut mit der prognostizierten Entwicklung der Bruttowertschöpfung. In der Gattung Industrie verläuft die Entwicklung der Bestände und Betriebsstunden jedoch deutlich unter der Entwicklung der Bruttowertschöpfung. Der Grund dafür ist, dass letztere die Entwicklung der gesamten Industrie abbildet, während sich das Non-road-Inventar auf mobile Maschinen und Geräte beschränkt, bei denen Gabelstapler und Pistenfahrzeuge einen hohen Anteil ausmachen. Die Aktivitäten der Gabelstapler sind gegenwärtig leicht rückläufig, und diejenigen der Pistenfahrzeuge nehmen weniger stark zu als die Bruttowertschöpfung der Industrie.
- > Landwirtschaft: Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Fortschreibung des Trends
- > Militär, Schiene: Aussagen der LBA (Logistikbasis der Armee) bzw. von SBB und BLS bis zum Planungshorizont, danach Trendfortschreibung mit zunehmender Abflachung der Kurve
- > Andere Sektoren: Fortschreibung der bisherigen Trends mit Abflachung ab 2020

Diese Auflistung zeigt, dass die Zuverlässigkeit der Prognosen abnimmt, je weiter in die Zukunft sie reichen. Die Angaben zu Mengengerüsten und Emissionen im vorliegenden Bericht sollten daher mit umso grösserer Vorsicht interpretiert werden, je höher die Jahrzahl ist, für die sie gelten.

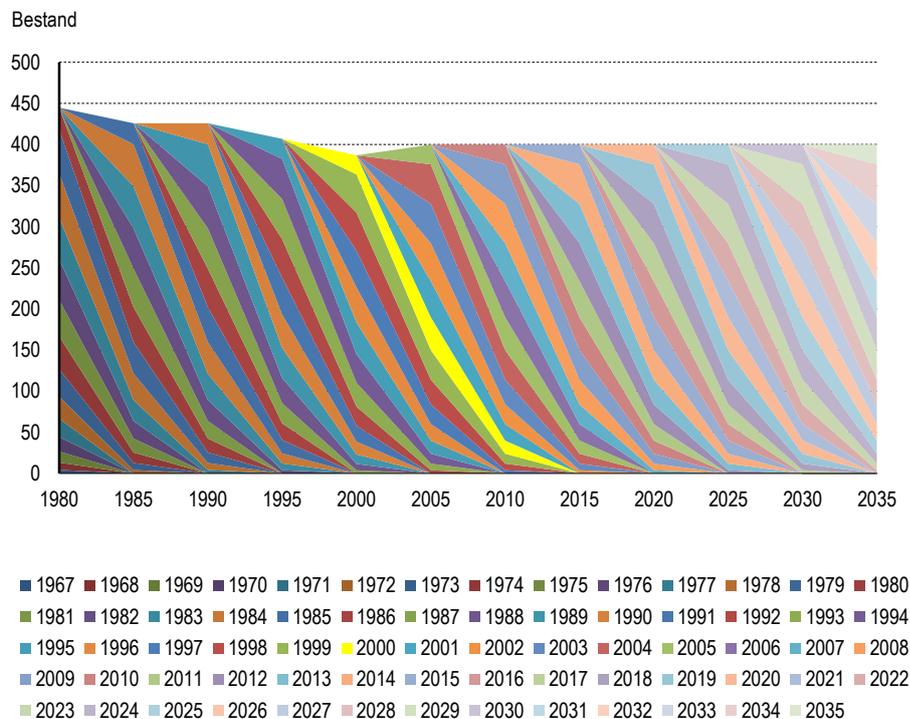
Eine Zusammenstellung der Definitionen und Datengrundlagen pro Maschinenkategorie findet sich in Anhang A2 ab Seite 141.

4.2.3 Bestandesmodell

Aus den Altersverteilungen und den Bestandeszahlen lassen sich für die betrachteten Jahre segmentspezifische Bestandesmodelle der einzelnen Maschinen- und Gerätekategorie errechnen. Im Bestandesmodell ist der Bestand der Maschinen und Geräte eines Segmentes nach deren Alter bzw. Baujahr aufgelistet.

Abb. 5 > Bestandesmodell am Beispiel von Strassenfertigern (Gattung Baumaschinen)

Aufteilung des Bestandes nach Baujahr der Maschinen in einem bestimmten Bezugsjahr. Das Bestandesmodell wurde entsprechend den Angaben aus der neuen Non-road-Datenbank in 5-Jahres-Intervallen berechnet. Daraus resultiert der diskontinuierliche Verlauf der Kurven.



Lesebeispiel: Der Bestand der im Jahr 2000 in Verkehr gesetzten Strassenfertiger (gelbe Kurve) wird im Modell folgendermassen berücksichtigt (vgl. auch Abb. 7 zur Altersverteilung): Im Jahr 2000 selbst wird mit 23 Fahrzeugen die Hälfte der Neuzugänge dieses Jahres berücksichtigt, da im Jahresdurchschnitt die Hälfte der Neuzugänge vorhanden ist, wenn diese gleichmässig über die Zeit verteilt in Verkehr gesetzt werden. Im Jahr 2005 sind von den 46 Neuzugängen des Jahres 2000 noch 40 Stück in Betrieb, im Jahre 2010 noch 16 Stück. Im Jahr 2015 sind bereits alle Strassenfertiger, welche 2000 in Betrieb genommen wurden, wieder ausser Verkehr gesetzt.

4.2.4 Betriebsstunden

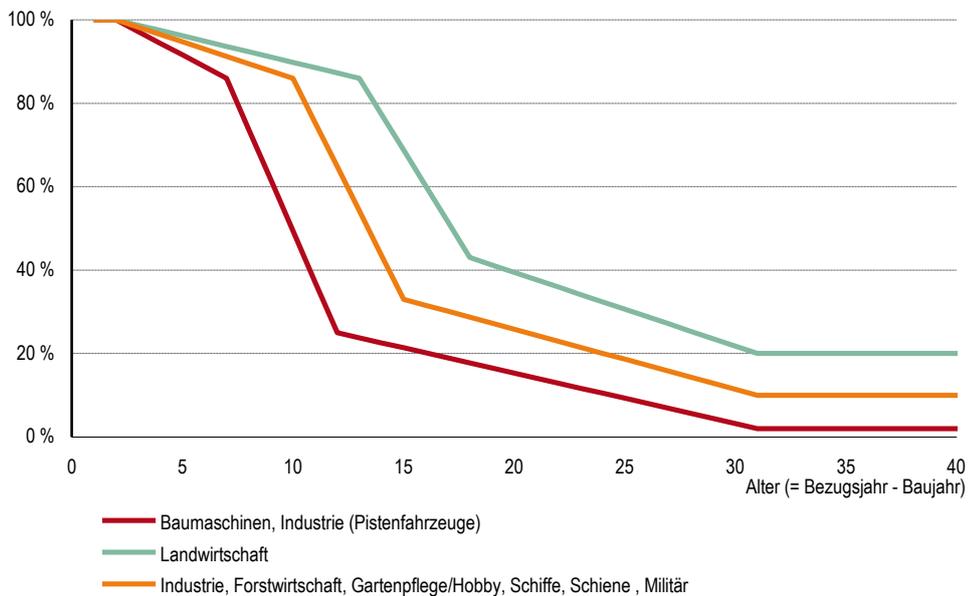
Für alle Maschinenkategorien wurden im Mengengerüst die Betriebsstunden leistungsklassenspezifisch angegeben. Ausserdem wurden Annahmen zur Entwicklung der Betriebsstunden der Maschinen und Geräte der einzelnen Leistungsklassen über den betrachteten Zeitraum getroffen. Dabei nimmt die Nutzungsdauer einer Maschine mit ihrer Leistung tendenziell zu. Als Grundlage für diese Abschätzung dienten die Angaben aus EWI (2005) und den Inventargrunddaten des Schweizerischen Baumeisterverbandes (SBV 2013), die Erfahrungen der Experten in den Expertengruppen (Anhang A14, Seite 228) sowie weitere Angaben aus der Literatur (IFEU 2004).

4.2.5 Altersabhängigkeit der Betriebsstunden

Neuere Maschinen werden intensiver genutzt als ältere Maschinen. Diesem Umstand wird im Modell mit einer Funktion für die Altersabhängigkeit der Betriebsstunden Rechnung getragen. Für Baumaschinen wird eine stärkere Altersabhängigkeit angenommen als für alle anderen Maschinen. Die Funktionen für die Altersabhängigkeit sind in Abb. 6 dargestellt.

Abb. 6 > Reduktion der jährlichen Betriebsstunden einer Maschine in Abhängigkeit vom Alter

Altersabhängigkeit der Betriebsstunden gemäss BUWAL 1994.

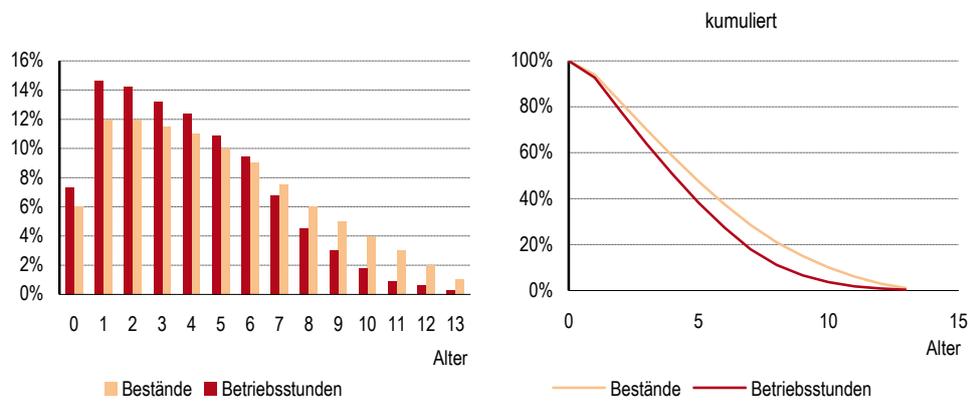


4.2.6 Altersverteilung der Bestände und Betriebsstunden

Am Beispiel der Dumper (Gattung Baumaschinen) ist in Abb. 7 die Altersverteilung der Bestände und der Betriebsstunden dargestellt. Die Altersverteilungen unterscheiden sich je nach Maschinenkategorie und Leistungsklasse. Aufgrund der Altersabhängigkeit der Betriebsstunden (vgl. Abb. 6) ist die Altersverteilung der Betriebsstunden von jener der Bestände verschieden.

Abb. 7 > Altersverteilung Bestände und Betriebsstunden der Dumper

Referenzjahr 2010.



Lesebeispiel Figur links: 12% des Bestandes und 14% der Betriebsstunden werden durch Maschinen erbracht, die 2 Jahre alt sind.

Figur rechts: 20% des Bestandes und 10% der Betriebsstunden entfallen auf Maschinen, die mehr als 8 Jahre alt sind.

4.3 Emissionsgrundlagen

4.3.1 Emissionsgrenzwerte

Die Emissionsgrundlagen (Emissionsgrenzwerte, Emissionsstufen, Emissions- und Verbrauchsfaktoren sowie weitere Einflussfaktoren) sind je nach Maschinenkategorie und Motortyp verschieden. Grundsätzlich gibt es folgende Gruppen:

- > dieselbetriebene Maschinen (ohne Schiffe und Schiene),
- > benzinbetriebene Kleingeräte,
- > Schiffe,
- > Schienenfahrzeuge.

Diese Einteilung ergibt sich zum einen aus der Bauart der Motoren und zum anderen aus der Unterscheidung in der Emissionsgesetzgebung. In der Emissionsgesetzgebung der Europäischen Union (EU) werden dieselbetriebene Maschinen der Gattungen Baumaschinen, Industrie, Land- und Forstwirtschaft sowie Militär zusammengefasst. Dieselmotoren in Schiffen und bei Schienenfahrzeugen unterliegen innerhalb der EU separaten Abgasgrenzwerten im Rahmen derselben EU-Richtlinie 97/68/EG (EC 1997). Deshalb werden sie hinsichtlich der Emissionsgrundlagen getrennt behandelt.

In der Schweiz unterliegen Maschinen und Geräte des Non-road-Sektors nur zum Teil einer Emissionsgesetzgebung (z. B. Baumaschinen gemäss Änderung der LRV vom 19.9.2008). Im Folgenden wird aber davon ausgegangen, dass alle Maschinen und Geräte, die in der Schweiz in Betrieb gesetzt werden, aufgrund der begrenzten Marktgrösse die EU-Grenzwerte einhalten.

Dieselmotoren sind sehr bedeutend im Non-road-Sektor. Im Unterschied zum Strassenverkehr sind Gesetze zur Begrenzung der Schadstoffemission von Dieselmotoren im Non-road-Sektor innerhalb der EU erst seit dem Jahr 2001 in Kraft. Seit diesem Jahr müssen Maschinen des Non-road-Sektors, die in der EU in Verkehr gesetzt werden, die Emissionsgrenzwerte der EU-Richtlinie 97/68/EG (EC 1997) einhalten. Die Emissionsgrenzwerte sind in Stufen unterteilt (EU-I bis EU-V), deren Zweck eine schrittweise Verminderung der Schadstoffemissionen ist. Eine Auswahl von Grenzwerten ist in Tab. 6 aufgelistet.

**Dieselbetriebene Maschinen
(ohne Schiffe und Schiene)**

Bezüglich der Inkraftsetzung der Emissionsgrenzwerte der einzelnen Stufen bestehen Unterschiede zwischen Baumaschinen, Industriemaschinen und Militär einerseits sowie land- und forstwirtschaftlichen Maschinen andererseits. In Tab. 7 sind die Einführungszeitpunkte der Emissionsgrenzwerte aufgelistet. Die Werte und Einführungszeitpunkte für die Stufe EU-V sind ein Vorschlag der Kommission und noch nicht in Kraft.

Tab. 6 > EU-Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren (in g/kWh)

Die Werte in Klammern sind Grenzwerte für die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxid-Emissionen (HC+NO_x); Die Emissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC) sowie für Schiffe, Boote, Schienenfahrzeuge und benzinbetriebene Geräte sind in A3 ab Seite 146 aufgeführt.

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Stickoxide (NO_x)						
<18 kW ³	-	-	-	-	-	(7,5)
18–37 kW	-	8,0	(7,5)	-	-	(4,7)
37–56 kW	9,2	7,0	(4,7)	(4,7)	-	(4,7)
56–75 kW	9,2	7,0	(4,7)	3,3	0,4	0,4
75–130 kW	9,2	6,0	(4,0)	3,3	0,4	0,4
130–560 kW	9,2	6,0	(4,0)	2,0	0,4	0,4
>560 kW	-	-	-	-	-	3,5
Partikel (PM)						
<18 kW	-	-	-	-	-	0,4
18–37 kW	-	0,8	0,6	-	-	0,015
37–56 kW	0,85	0,4	0,4	0,025	-	0,015
56–75 kW	0,85	0,4	0,4	0,025	0,025	0,015
75–130 kW	0,7	0,3	0,3	0,025	0,025	0,015
130–560 kW	0,54	0,2	0,2	0,025	0,025	0,015
>560 kW	-	-	-	-	-	0,045

Quelle: EC 1997, EC 2014

³ Die Leistungsklassengrenze liegt bei einigen EU-Stufen bei 19 kW.

Tab. 7 > Inkraftsetzungsjahr der EU-Grenzwerte für Dieselmotoren

Die Daten wurden auf das jeweilige Jahr gerundet.

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Baumaschinen, Industriemaschinen, Militär						
<18 kW	-	-	-	-	-	2019
18–37 kW	-	2002	2007	-	-	2019
37–56 kW	2002	2004	2008	2013	-	2019
56–75 kW	2002	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	2002	2003	2007	2012	2014	2020
130–560 kW	2002	2002	2006	2011	2014	2019
>560 kW	-	-	-	-	-	2019
Land- und forstwirtschaftliche Maschinen						
<18 kW	-	-	-	-	-	2019
18–37 kW	-	2003	2007	-	-	2019
37–56 kW	2003	2004	2008	2013	-	2019
56–75 kW	2003	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	2003	2004	2007	2012	2014	2020
130–560 kW	-	2003	2006	2011	2014	2019
>560 kW	-	-	-	-	-	2019

Quelle: EC 1997, EC 2014

Hinsichtlich der Emissionsgrundlagen für benzinbetriebene Kleingeräte (Motorsägen, Rasenmäher, Stampfer/Vibratoren, u.a.) ist zwischen Geräten mit 4-Takt- und Geräten mit 2-Takt-Motoren zu unterscheiden. In der Emissionsgesetzgebung wird von kleinen, handgehaltenen und grösseren, nicht handgehaltenen Geräten gesprochen. Diese Unterteilung wird im Folgenden mit der Unterteilung in 2-Takt- und 4-Takt-Motoren gleichgesetzt.

Benzinbetriebene Kleingeräte

Die ersten EU-Emissionsgrenzwerte wurden für einen Grossteil der Kleingeräte im Jahr 2004 in Kraft gesetzt (Tab. 32 und Tab. 34, Seiten 159 respektive 161). Die Emissionsgrenzwerte zielen in erster Linie darauf ab, den Ausstoss an Kohlenwasserstoffen zu reduzieren. Ab der Stufe EU-II gelten für 2-Takt-Motoren (handgehaltene Geräte) ähnliche Emissionsgrenzwerte wie für 4-Takt-Motoren (nicht handgehaltene Geräte). Ausnahmeregelungen für einzelne Gerätekategorien bleiben wegen der kleinen Anzahl unberücksichtigt.

In der Emissionsgesetzgebung werden zwei Gruppen von Schiffen unterschieden:

Schiffe

- > Schiffe,
- > Vergnügungsschiffe und Sportboote.

Schiffe werden aufgrund ihrer Grösse ausschliesslich mit Dieselmotoren betrieben. Boote sind mit Diesel- oder mit Benzinmotoren ausgerüstet.

Für Schiffe und Boote wurden mit der Bodensee-Schifffahrtsordnung bereits im Jahr 1993 Emissionsgrenzwerte erlassen. Diese Grenzwerte fanden Eingang in die Verordnung zu den Abgasvorschriften für Schiffsmotoren (SAV) und sind seit 1995 für sämtliche Schweizer Binnengewässer bindend. 1996 wurden die Abgasvorschriften auf dem Bodensee mit einer zweiten Stufe verschärft, die allerdings nie in die SAV übernommen wurde und daher für die restlichen Schweizer Seen nicht bindend ist.

Im Zuge der europaweiten Harmonisierung wurde die SAV im Jahr 2007 revidiert. Neu werden auf Schweizer Seen auch Vergnügungsschiffe und Boote zugelassen, die die EU-Richtlinie 2003/44/EG erfüllen. Die Emissionsgrenzwerte der EU-Richtlinie sind für benzinbetriebene Boote weniger streng als die bis anhin gültige Stufe I der SAV. Für Boote mit 2-Takt-Motoren gelten in der Schweiz aber nach wie vor dieselben Emissionsgrenzwerte wie für Boote mit 4-Takt-Motoren.

Schiffe mit einer Leistung >37 kW, die gewerbmässig eingesetzt werden (d. h. Fahrgast-, Fähr-, und Lastschiffe), müssen die Emissionsgrenzwerte der Rheinschiffsuntersuchungsordnung einhalten, deren erste Stufe seit dem Jahr 2003 bindend ist. Im Juli 2007 wurde eine zweite Stufe in Kraft gesetzt.

Seit 2007 können gewerbmässig eingesetzte Schiffe zudem nach der Stufe IIIA der EU-Richtlinie 97/68/EG zugelassen werden.

Für Schienenfahrzeuge werden vom internationalen Eisenbahnverband (UIC) seit den 80er Jahren Grenzwertempfehlungen vorgeschlagen, die allerdings keine bindende Wirkung haben. Seit 2005 gelten in der EU für Schienenfahrzeuge die Abgasvorschriften der EU-Richtlinie 97/68/EG. Die Emissionsgrenzwerte werden darin differenziert nach Lokomotiven und Triebwagen angegeben, für die hier betrachteten Leistungsklassen sind sie jedoch identisch.

Schienenfahrzeuge

4.3.2 Emissionsstufen

Die Emissionsgesetzgebung resp. die laufende Verbesserung der Motoren hinsichtlich des Schadstoffausstosses wird im Emissionsberechnungsmodell mit Hilfe von Emissionsstufen berücksichtigt. Dazu werden die Mengengerüste weiter differenziert, so dass die Maschinen nicht nur nach Gattung, Kategorie, Motortyp und Leistungsklasse charakterisiert werden, sondern auch nach Baujahr. Dadurch lassen sie sich den massgebenden Emissionsgrenzwerten gemäss Emissionsgesetzgebung zuordnen bzw. sie fallen aufgrund ihres Alters in die Gruppe der Maschinen, die noch keiner Emissionsgesetzgebung unterlagen.

Die Emissionsfaktoren dieselbetriebener Maschinen sind im Berechnungsmodell nach unterschiedlichen Emissionsstufen entsprechend der EU-Emissionsrichtlinien (z. B. EC 1997) mit den Stufen EU-I bis EU-V differenziert (siehe auch Tab. 28, Seite 154). Ältere Maschinen werden zwei unterschiedlichen Stufen zugeteilt. Damit kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass sich bereits vor Einführung der Grenzwerte eine Verminderung des Schadstoffausstosses aufgrund verbesserter Motorentechnologie ergeben hat (z. B. von Saug- zu Turbomotoren).

Dieselbetriebene Maschinen
(ohne Schiffe und Schiene)

Die Emissionsstufen der Kleingeräte orientieren sich an den Stufen der EU-Emissionsgesetzgebung. Die Stufen I und II traten 2004 respektive 2008 in Kraft. In den Stufen III und IV wurden für Kleingeräte keine neuen Grenzwerte erlassen; die Grenzwerte der Stufe II gelten somit bis zur Einführung der Stufe V im Jahr 2019. Ältere Geräte, die noch keiner Emissionsgesetzgebung unterlagen, sind je nach Alter drei Emissionsstufen (PreEU) zugeordnet. Die Unterteilung in drei Emissionsstufen für ältere Geräte drängt sich wegen der späten Einführung von Emissionsgrenzwerten für Kleingeräte auf.

Benzinbetriebene Kleingeräte

Die Emissionsstufen der Schiffs- und Bootsmotoren orientieren sich für den Zeitraum von 1995–2003 an den SAV Abgasvorschriften. Die Stufe II der Bodenseeschifffahrtsordnung (BSO) wird nicht als eigene Emissionsstufe in der Modellierung berücksichtigt.

Schiffe

Ältere Schiffsmotoren, die keiner Abgasvorschrift unterliegen, sind einer einzigen Emissionsstufe zugeordnet (PreSAV). Ab Baujahr 2003 gelten für gewerbsmässig betriebene Schiffe (Fahrgast-, Fähr- und Lastschiffe) die beiden Emissionsstufen der Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) und ab Baujahr 2007/2009 die Emissionsstufe EU-IIIa der EU-Richtlinie 97/68/EG. 2019 tritt für Schiffe ebenfalls die Stufe V in Kraft; Stufe IIIB und IV werden übersprungen.

Vergnügungsschiffe und Boote unterlagen bis einschliesslich Baujahr 2006 der SAV Stufe I. Seit 2007 müssen sie der Stufe I der EU-Sportbootrichtlinie (2003/44/EG) genügen. Für 2-Takt-Motoren gelten in der Schweiz aber die strengeren Abgasgrenzwerte der 4-Takt-Benzinmotoren. Die Emissionsstufe II der Bodenseeschifffahrtsordnung wird in der Emissionsmodellierung nicht explizit berücksichtigt, da diese Stufe nur für den Bodensee bindend ist und nur durch wenige Boote erfüllt wird⁴.

Der internationale Eisenbahnverband erlässt für Schienenfahrzeuge seit den 80er Jahren Grenzwertvorschläge für Bahndieselmotoren. Für die Baujahre bis 2008 schlägt er drei Emissionsstufen vor (UIC-I bis UIC-III). Die Stufen UIC-I und UIC-II werden für die Emissionsberechnung dieses Berichtes übernommen. Die Stufe UIC-III ist nicht relevant, weil ab 2006 EU-Emissionsgrenzwerte für Bahndieselmotoren gelten (Stufen IIIa und IIIB). Auch für Schienenfahrzeuge soll 2019 Stufe V in Kraft treten, Stufe IV wird übersprungen. Ältere Bahndieselmotoren sind einer eigenen Emissionsstufe zugeordnet (PreEU).

Schiene

4.3.3 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren der einzelnen Maschinengattungen für regulierte Schadstoffe sind tabellarisch in Anhang A4 ab Seite 154 aufgelistet. Es sind dies: Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM). Jeder Tabellenwert (=Emissionsfaktor) ist mit einer Farbe hinterlegt, die seine Herkunft dokumentiert.

⁴ Nach Aussagen des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Industrie, Verkehr und Technologie wurden auf dem Bodensee Schiffe mit alten Motoren überdurchschnittlich lange weiterbetrieben, um eine teure Nachrüstung neuer Motoren für die Stufe II zu umgehen (www.bootsport.info).

Die Emissionsfaktoren für die nicht-regulierten Schadstoffe sind ebenfalls in Anhang A4 ab Seite 154 aufgelistet.

Nachfolgend sind das grundsätzliche Vorgehen, die Annahmen und die Grundlagen für die Bestimmung dieser Faktoren beschrieben.

Nicht regulierter Bereich (ältere Motoren)

Bei älteren und kleinen Maschinen, die keiner Reglementierung unterliegen, basieren die Emissionsfaktoren auf Auswertungen von Motorenexperten (s. BAFU 2008), die sich auf die Angaben von drei unterschiedlichen Quellen abstützen. Für Dieselmotoren sind dies:

- > Die Datenreihe des Non-road-Berichts Nr. 49 aus dem Jahr 1996 (BUWAL 1996), wobei nur Messdaten, die im ISO-Zyklus C1 gemessen wurden, Berücksichtigung fanden.
- > Die Angaben der EPA⁵-Studie aus dem Jahr 2004 (EPA 2004).
- > Emissionswerte für Feinstaub, die von den Motorenexperten unter der Leitung der EMPA aus Schwarzrauchmessungen von Agroscope und von IVECO-Motorenforschung abgeleitet wurden. Die Daten von Agroscope stammen von rund 400 Traktormessungen, die zwischen 1979 und 2006 durchgeführt wurden. Weil die Umrechnung von Schwarzrauchmesswerten in Partikelmasseemissionen aber mit Unsicherheiten behaftet ist⁶, dienen diese Zahlen in erster Linie der Plausibilisierung der Emissionsfaktoren.

Aufgrund der Angaben dieser drei Quellen werden die Motoren im nicht regulierten Bereich (d. h. mit Baujahr vor der ersten EU-Stufe) in zwei Emissionsstufen unterteilt, nämlich in Motoren mit Baujahr vor 1996 (PreEU-A) und Motoren mit Baujahr von 1996 bis EU-Stufe I (PreEU-B). So lässt sich berücksichtigen, dass sich die spezifischen Schadstoffemissionen bereits vor der Einführung der ersten EU-Stufe infolge verbesserter Motorentechnik (Turbomotoren) reduziert haben.

Zwischen der ersten Stufe (PreEU-A) und der zweiten Stufe (PreEU-B) wird für die Emissionsfaktoren der Schadstoffe PM und NO_x eine Absenkrate angenommen, die (in Anlehnung an Schweizer Verhältnisse) derjenigen der Schwarzrauchmessungen von Agroscope und IVECO-Motorenforschung entspricht. Die Mittelwerte der Emissionsfaktoren dieser beiden PreEU-Stufen wurden so gewählt, dass sie den EPA-Werten der Stufe Tier 0 entsprechen. Die daraus resultierenden Emissionsfaktoren für die erste Stufe (vor 1996) weisen eine relativ gute Übereinstimmung mit den Messwerten für ISO-Zyklen 8178 C1 der Datenreihe des Berichts Nr. 49 (BUWAL 1996) auf.

In Tab. 8 sind die Werte der Datenquellen sowie die von den Motorenexperten festgelegten Emissionsfaktoren für die Partikelemissionen nebeneinander aufgeführt.

⁵ Environmental Protection Agency (Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten).

⁶ Gemäss den internationalen Abgasvorschriften muss die Partikelmasse gravimetrisch bestimmt werden. Umrechnungen aus Schwarzrauchmessungen sind bei der Typenprüfung nicht anerkannt, werden aber von den Motorenherstellern in der Entwicklung häufig verwendet.

Tab. 8 > Gegenüberstellung der Werte der drei Datenquellen und der Emissionsfaktoren, die durch die Motorenspezialisten festgelegt wurden (nur Partikelemissionswerte)

Die aufgeführten Werte stammen nur von Motoren, die noch keiner EU-Emissionsstufe unterlagen. Die Daten aus der Auswertung von Schwarzauchmessungen dienen in erster Linie der Plausibilisierung der Emissionsfaktoren.

Leistungs-klasse	Datenreihe aus Bericht BUWAL Nr. 49 (nur Messwerte aus ISO-Zyklen C1) ⁶	EPA	Auswertungen der Schwarzauch-messungen ART/IVECO/EMPA	Gewählte Emissionsfaktoren
Stufe	Motoren mit Baujahr <1996	Tier 0	Motoren mit Baujahr <1996	PreEU-A
<18 kW	2,62 g/kWh	1,34 g/kWh	0,91 g/kWh	1,50 g/kWh
18–37 kW	1,40 g/kWh	1,07 g/kWh	0,76 g/kWh	1,20 g/kWh
37–75 kW	1,17 g/kWh	0,97 g/kWh	0,69 g/kWh	1,09 g/kWh
75–130 kW	0,72 g/kWh	0,54 g/kWh	0,63 g/kWh	0,61 g/kWh
130–220 kW	0,26 g/kWh	0,54 g/kWh	-	0,61 g/kWh
Stufe			Motoren mit Baujahr ≥1996	PreEU-B
<18 kW			-	1,18 g/kWh
18–37 kW			0,58 g/kWh	0,94 g/kWh
37–75 kW			0,60 g/kWh	0,85 g/kWh
75–130 kW			0,49 g/kWh	0,47 g/kWh
130–220 kW			-	0,47 g/kWh

Der Einfluss des Schwefelgehaltes im Treibstoff, der zwischenzeitlich deutlich gesunken ist, wird vernachlässigt. Bei älteren Motoren ohne Abgasnachbehandlungssystem sind die schwefelbedingten Partikelemissionen eher von untergeordneter Bedeutung.

Für CO und HC werden für beide Stufen (PreEU-A und PreEU-B) dieselben Werte verwendet, nämlich diejenigen der EPA-Studie für die Stufe Tier 0. Für Maschinen <18 kW wird prinzipiell die EPA-Vorgabe verwendet. Wo diese gemäss der Meinung der Motorenexperten unplausibel ist, werden Schätzwerte der Motorenexperten auf der Grundlage der drei erwähnten Quellen (BUWAL Nr. 49, EPA-Studie und Auswertung Schwarzauchmessungen) zugrunde gelegt.

Die Emissionsfaktoren der Benzinmotoren werden entsprechend den Angaben des Berichtes Nr. 49 (BUWAL 1996) angenommen.

Regulierter Bereich (neuere Motoren)

Die Emissionsfaktoren neuerer Motoren für Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM) orientieren sich an den in Abschnitt 4.3.1 beschriebenen europäischen Emissionsgrenzwerten (EC 1997). Für die Emissionsberechnung kommen bis Stufe EU-IIIa in den meisten Fällen die Grenzwerte unter Abzug einer Toleranz von 10 % zur Anwendung. Einen Spezialfall stellen Kohlenwasserstoffe und Stickoxide in Stufe EU-IIIa dar: Die Stufe EU-IIIa kennt nur einen Summengrenzwert aus spezifischem Stickoxid- und Kohlenwasserstoffausstoss (HC + NO_x). Die Emissionsfaktoren für Stickoxide und Kohlenwasserstoffe wurden folgendermassen aus dem Summenwert abgeleitet: Der Emissionsfaktor der Stufe EU-IIIa für Kohlenwasserstoffe wurde aus den Emissionsfaktoren der Stufen EU-I und EU-II

berechnet unter der Annahme, dass die Absenkrate von EU-II zu EU IIIA mit derjenigen von EU-I zu EU-II identisch ist. Der Emissionsfaktor der Stufe EU-III A für Stickoxide ergibt sich dann aus dem um 10 % verminderten Grenzwert für HC + NO_x abzüglich des vorgängig bestimmten Emissionsfaktors für Kohlenwasserstoffe.

Ab Stufe EU-III B wurden die Emissionsfaktoren gemäss folgenden Regeln aus den Grenzwerten hergeleitet:

- > Wo Summengrenzwerte aus Stickoxid- und Kohlenwasserstoffausstoss (HC + NO_x) gelten, wurden diese zu 90 % auf NO_x und 10 % auf HC aufgeteilt (in Anlehnung an IFEU 2009)
- > Für Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM) werden die Grenzwerte ohne Abzug angewendet, da die Maschinenhersteller die strengen Grenzwerte ab Stufe EU-III B kaum mehr unterschreiten können.
- > Für Kohlenwasserstoffe (HC) werden die Grenzwerte unter Abzug einer Toleranz von 30 % angewendet (s. auch IFEU 2009).
- > Für Kohlenmonoxid (CO) werden die bereits auf Stufe III A angewendeten Abzüge auf die Grenzwerte der Stufen III B bis V appliziert.
- > Liegt gemäss diesen Regeln ein Emissionsfaktor einer bestimmten Stufe höher als ein früherer Emissionsfaktor der gleichen Maschinengruppe und Grössenklasse, wird der später in Kraft gesetzte Emissionsfaktor auf das Niveau des früheren gesenkt, falls der frühere durch Messungen abgestützt ist; andernfalls wird der frühere Emissionsfaktor auf das Niveau des späteren angehoben.

Liegen die Messwerte der Typenprüfung deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten, so wird anstelle des Grenzwertes entweder der Mittelwert dieser Messwerte und des Grenzwertes oder der Mittelwert dieser Messwerte zuzüglich einer Fertigungstoleranz von 20 % angewendet. Ein Beispiel dafür ist der Emissionsfaktor für Partikelmasse (PM) der Stufe EU-V für die Grössenklassen 18–560 kW sowie für mit Partikelfilter ausgerüstete Maschinen der Stufen EU-III B und EU-IV derselben Grössenklassen (vgl. Tab. 28, Seite 154).

In Abb. 8 (NO_x) und Abb. 9 (PM) sind die Emissionsgrenzwerte und die im Emissionsberechnungsmodell verwendeten Emissionsfaktoren übereinander dargestellt und können so verglichen werden.

In Tab. 28 und Tab. 29 (Seiten 154 und 156) sind die Emissionsfaktoren (regulierter und nicht regulierter Bereich) für Dieselmotoren aufgeführt und die Herkunft jedes einzelnen Wertes angegeben. Abb. 8 und Abb. 9 zeigen die Emissionsfaktoren graphisch.

Abb. 8 > Vergleich der Emissionsgrenzwerte mit den Emissionsfaktoren: Stickoxide (NO_x)

Die Emissionsgrenzwerte und Emissionsfaktoren entsprechend den Werten in Tab. 6, S. 31 und Tab. 28, Seite 154.
Bei der Stufe IIIA handelt es sich um den Summengrenzwert für die NO_x- und HC-Emissionen.

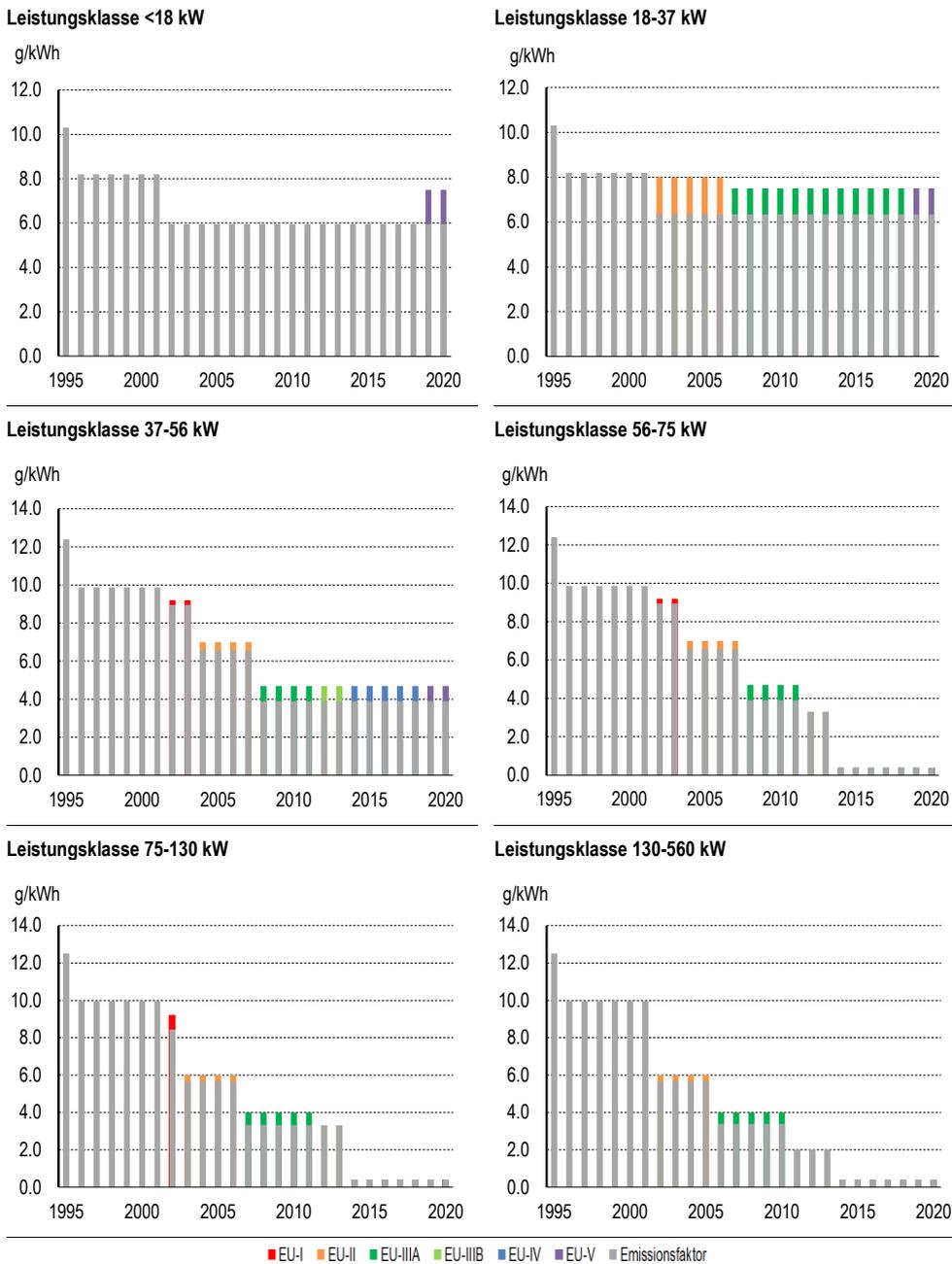
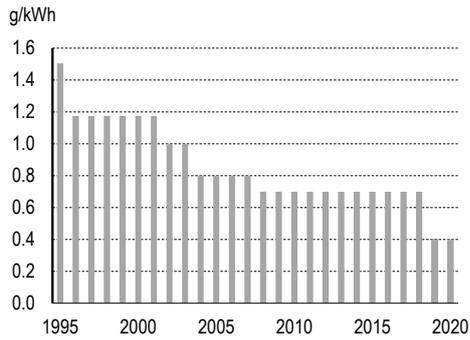


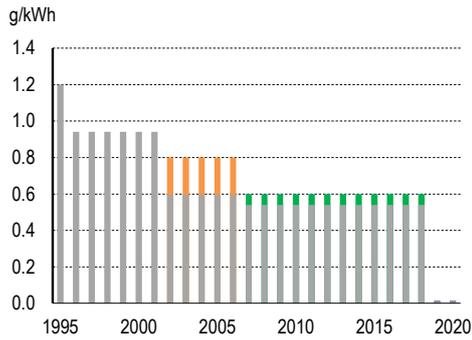
Abb. 9 > Vergleich der Emissionsgrenzwerte mit den Emissionsfaktoren: Partikelmasse (PM)

Die Emissionsgrenzwerte und Emissionsfaktoren entsprechend den Werten in Tab. 6, S. 31 und Tab. 28, Seite 154.

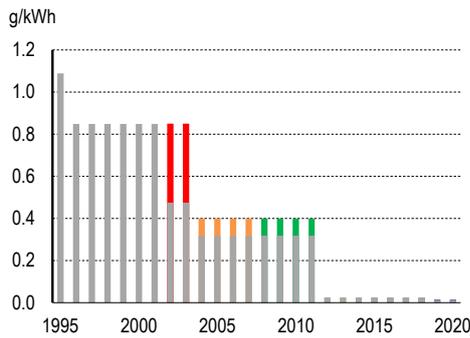
Leistungsklasse <18 kW



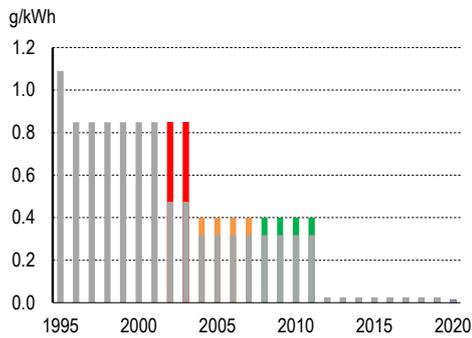
Leistungsklasse 18-37 kW



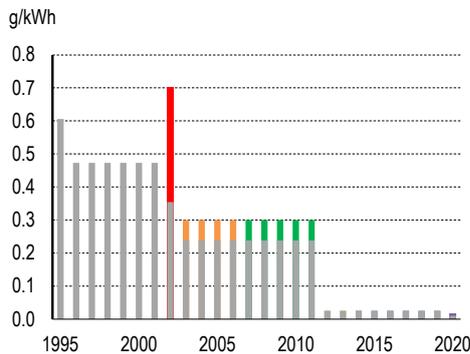
Leistungsklasse 37-56 kW



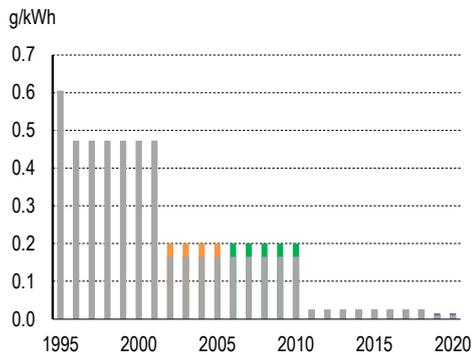
Leistungsklasse 56-75 kW



Leistungsklasse 75-130 kW

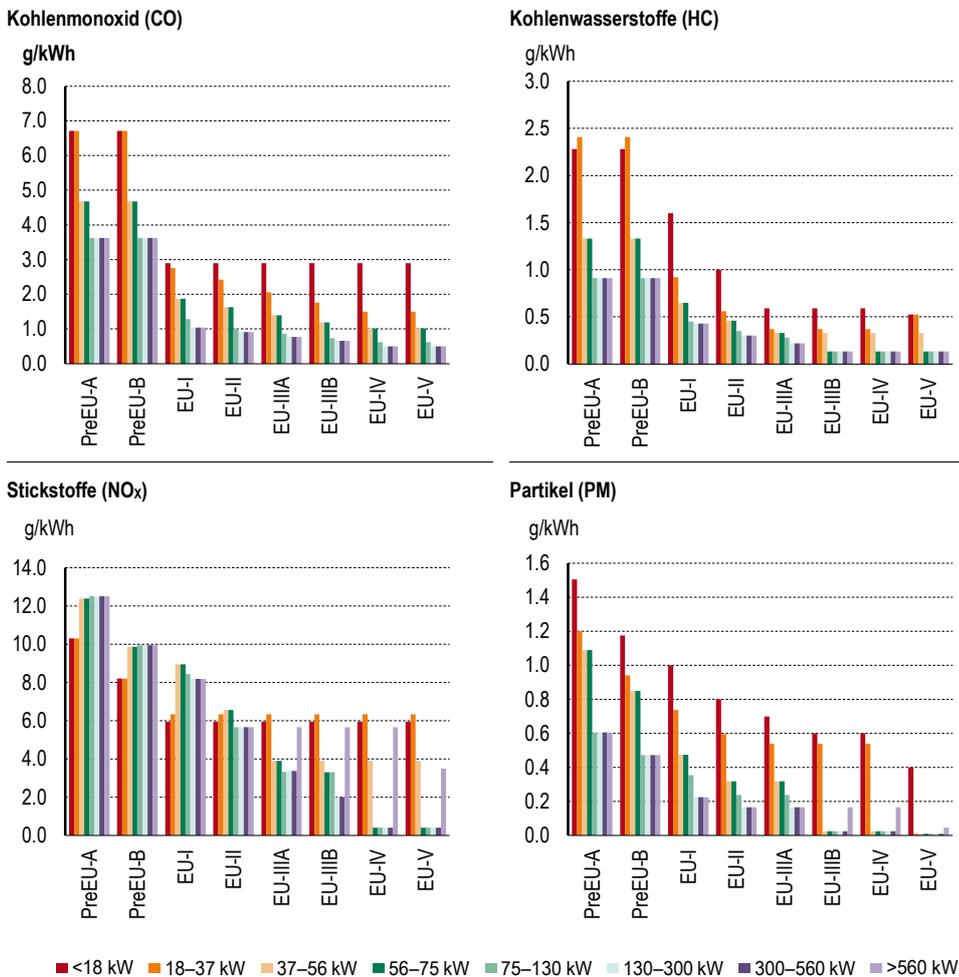


Leistungsklasse 130-560 kW



■ EU-I ■ EU-II ■ EU-III ■ EU-IIIb ■ EU-IV ■ EU-V ■ Emissionsfaktor

Abb. 10 > Emissionsfaktoren der einzelnen Emissionsstufen für Dieselmotoren



Zahlenwerte siehe Tab. 28, Seite 154

Die Emissionsfaktoren für Kleingeräte (2-Takt- und 4-Takt-Motoren) ab Stufe EU-I werden unter Abzug einer Fertigungstoleranz von 10% von den Grenzwerten abgeleitet. Ausnahmen sind bei 2-Takt-Motoren die CO-Grenzwerte der Stufen EU-I und EU-II sowie die HC-Grenzwerte der Stufe EU-I, die deutlich über bekannten Messwerten liegen⁷.

Benzinbetriebene Kleingeräte

Die Emissionsfaktoren für ältere Motoren (Baujahr <2004), die noch keiner Regulierung unterlagen (Stufen PreEU), beruhen auf Annahmen, die sich auf Messwerte (INFRAS 2008) und auf Angaben vergleichbarer Studien (IFEU 2004) abstützen. Die Annahmen wurden zudem mit Vertretern von Euromot abgestimmt.

Die Emissionsfaktoren für Schiffe und Boote orientieren sich weitgehend an den bereits seit 1995 geltenden Grenzwerten der Schweizerischen Schifffahrtsverordnung

Schiffe

⁷ Gemäss der Messresultate BNM-Research (BNM 2000) stossen 2-Takt-Kleingeräte rund 450 g/kWh CO aus. Der Grenzwert für CO liegt bei 805 g/kWh.

(SAV). Grundsätzlich werden die Emissionsgrenzwerte bis Stufe Euro-IIIa abzüglich einer Fertigungstoleranz von 10 % übernommen; für die Stufe Euro-V wird die Fertigungstoleranz von 10 % nur für HC und CO angewendet, für NO_x und PM werden die Grenzwerte ohne Abzug verwendet. Für die Boote liegen von der EMPA detaillierte Angaben zur Grenzwertausschöpfung vor. Die Emissionsfaktoren stützen sich entsprechend auf diese Angaben ab. Die Emissionsfaktoren von Schiffen und Booten, die keiner Emissionsgesetzgebung unterworfen sind (Baujahr vor 1995 resp. kleine Motoren), beruhen auf Annahmen, die sich teilweise an den Werten anderer Maschinengattungen orientieren.

Die Emissionsfaktoren für den nicht regulierten Bereich entsprechen den Grenzwertvorgaben der UIC. Die Emissionsfaktoren sehr alter Motoren (Baujahr <1982) orientieren sich zusätzlich an den Emissionsfaktoren dieselbetriebener Maschinen gleichen Alters. Die Emissionsfaktoren der Motoren ab Baujahr 2006 entsprechen den EU-Grenzwerten der Stufen EU-IIIa und EU-IIIb unter Abzug einer Toleranz von 10 %. Für die Stufe Euro-V wird die Fertigungstoleranz von 10 % nur für HC und CO angewendet, für NO_x und PM kommen die Grenzwerte ohne Abzug zur Anwendung.

Schiene

In Tab. 9 sind die Emissionen zweier bedeutender Schienenfahrzeugtypen der SBB aufgelistet, für die Messergebnisse vorliegen. Die Klammer enthält die entsprechenden Emissionsfaktoren gemäss UIC. Eine vergleichsweise gute Übereinstimmung besteht nur hinsichtlich der Stickoxide. Bezüglich der HC- und CO-Emissionen hat die Lokomotive Am 843 einen deutlich tieferen Wert als die UIC-Vorgabe (auch deutlich tiefer als die EU-Emissionsgrenzwerte, die erst seit 2006 gültig sind). Weil für alle anderen Schienenfahrzeugtypen entsprechende Angaben fehlen, werden der Emissionsberechnung trotzdem die UIC-Emissionsfaktoren zugrunde gelegt, zumal Auswertungen von Fahrzeugen der DB (IFEU 2003) zeigen, dass die Streuung zwischen den Fahrzeugen beträchtlich ist.

Tab. 9 > Emissionen zweier bedeutender Schienenfahrzeugtypen der SBB

Fahrzeugtyp	Kategorie	Nennleistung	EM-Stufe	Anzahl	Emissionsfaktoren (g/kWh)			
					HC	CO	NO _x	PM
Tm 234	Traktoren Schiene	550 kW	UIC-I	98	1,1 (0,8)	4,0 (3,0)	7,0 (12,0)	0,15 (0,5)
Am 843	Lokomotive	1500 kW	UIC-II	73	0,2 (0,8)	0,7 (3,0)	8,9 (9,5)	0,1 (0,25)

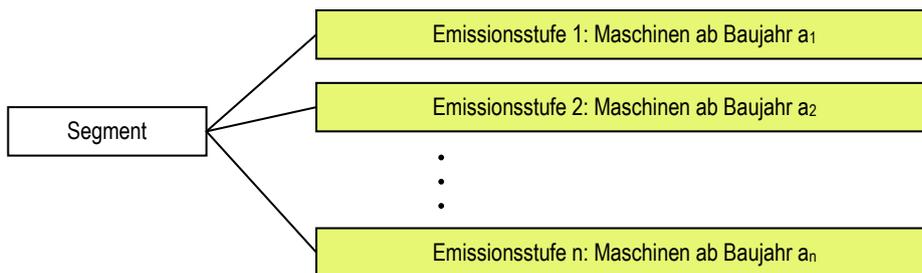
In Klammern stehen die UIC-Emissionsfaktoren (gemäss Tab. 41, Seite 169)

4.3.4 Subsegmente

Für die Zuordnung der Maschinen zu Emissionsstufen werden die Segmente (Maschinen, differenziert nach Kategorie, Motortyp und Leistungsklasse) in Subsegmente unterteilt, die Maschinen der gleichen Emissionsstufe umfassen. Die Subsegmente subsumieren somit Maschinen all jener Baujahre, in denen eine bestimmte Emissionsstufe Gültigkeit hatte.

Abb. 11 > Herleitung eines Subsegments aus Segment und Emissionsstufe

Die Emissionsstufe i ist nach dieser vereinfachenden Abbildung ab dem Jahr a_i für alle Neumaschinen bindend. Aufgrund der Bestimmungen der «Sell-Off Periods» und des Flexibilitätsschemas verzögert sich die Einführung einer neuen Emissionsstufe jeweils für einen bestimmten Prozentsatz der Maschinen, was im Modell ebenfalls abgebildet wird.



Die genaue Festlegung, ab welchem Jahr welche Emissionsstufe gilt, orientiert sich an den Inkrafttretenszeitpunkten der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte einer Emissionsstufe. In Anhang A4 ab Seite 154 sind die Annahmen zu den Einführungszeitpunkten zusammen mit den Emissionsfaktoren aufgeführt. Für den Zeitraum nach 2014 ist der Einführungszeitpunkt weiterer Emissionsstufen noch unsicher.

Aufgrund der Bestimmungen der «Sell-Off Period» und des Flexibilitätsschemas in den EU-Richtlinien (EC 1997, EC 2014) müssen nicht alle ab dem Einführungszeitpunkt einer Emissionsstufe neu in Verkehr gebrachten Maschinen dieser Emissionsstufe entsprechen:

- > Die «Sell-Off Period» erlaubt es Maschinenherstellern, bis zu zwei Jahre nach dem Einführungszeitpunkt Maschinen zu verkaufen, welche bereits vor dem Einführungszeitpunkt hergestellt wurden. Dies gilt ohne Mengenbeschränkung.
- > Das Flexibilitätsschema erlaubt auf Antrag die Inverkehrsetzung von Maschinen der vorherigen Emissionsstufe in beschränkten Mengen. Die Mengenbeschränkung beträgt 20 % der verkauften Maschinen bis zur Einführung der nächsten Emissionsstufe. Für die Stufe IIIB (Einführung in den Jahren 2011–2013) wurde die Mengenlimite auf 37.5 % und für landwirtschaftliche Traktoren sogar auf 40 % erhöht.

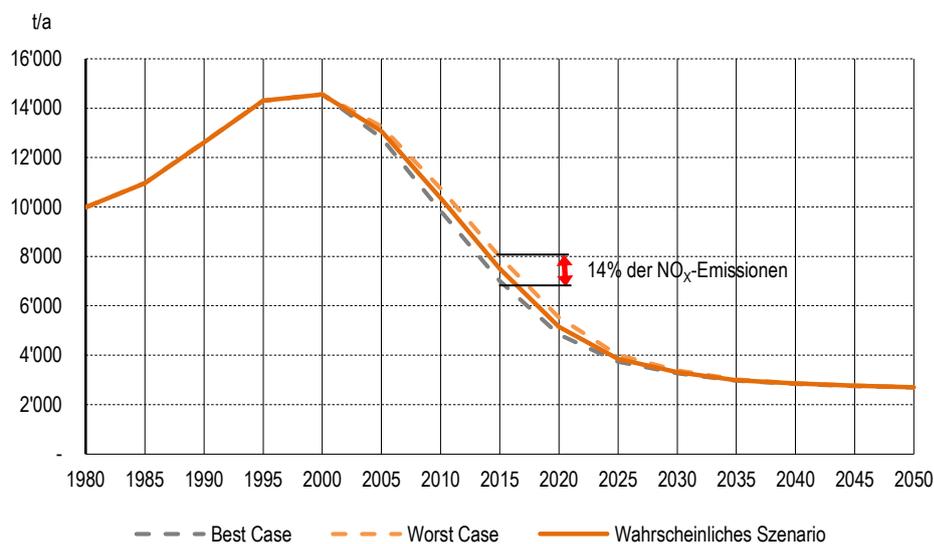
Theoretisch ist es so möglich, dass auf Basis der «Sell-Off Period» vor der Einführung einer neuen Emissionsstufe auf Vorrat Maschinen hergestellt werden und während der ersten zwei Jahre der Inkraftsetzung der neuen Stufe ausschliesslich diese Maschinen der älteren Stufe verkauft werden. Danach kann bis zum Eintreten der nächsten Emissionsstufe auch das Flexibilitätsschema voll ausgenützt werden. Somit kann sich die Einführung von Maschinen einer neuen Emissionsstufe um mehrere Jahre verzögern.

Wie stark sich in der Realität die Einführung neuer Stufen verzögert, ist unbekannt. Daher wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der ein «Best Case»-Szenario, ein «Worst Case»-Szenario und ein «wahrscheinliches» Szenario modelliert wurden (Abb. 12). Im «Best Case»-Szenario entsprechen ab dem Einführungsdatum neuer Emissionsstufen alle neuen Maschinen der aktuellen Emissionsstufe. Im «Worst Case»-Szenario werden «Sell-Off Period» und Flexibilitätsschema voll ausgenützt,

d. h. erst mit zwei Jahren Verspätung kommen die ersten Maschinen der aktuellen Emissionsstufe auf den Markt, und bis zur Einführung der nächsten Emissionsstufe werden so viele alte Maschinen wie gemäss Flexibilitätsschema maximal erlaubt in Verkehr gesetzt. Das «wahrscheinliche» Szenario stützt sich auf Aussagen von Maschinenherstellern und geht im ersten Jahr einer neuen Emissionsstufe von 25 % neuen Maschinen aus, im zweiten Jahr 50 % und ab dem dritten Jahr 100 %. Die Einführung der Stufe IIIB verzögert sich etwas stärker, dafür wird die Stufe IV schneller eingeführt (die Tatsache, dass viele Maschinenhersteller für die Stufe IIIB nicht bereit waren, ist auch der Grund, warum die Mengengrenzen des Flexibilitätsschemas für diese Stufe erhöht wurde). Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass sich die NO_x-Emissionen zwischen dem Best- und dem Worst-Case-Szenario in den Jahren 2015–2020 um rund 14 % unterscheiden. Die Emissionen des «wahrscheinlichen» Szenarios liegen 2015 um 7 % über denjenigen des Best-Case-Szenarios und damit ziemlich genau zwischen den beiden Extremen.

Abb. 12 > Sensitivität der NO_x-Emissionen auf die verzögerte Einführung von Emissionsstufen

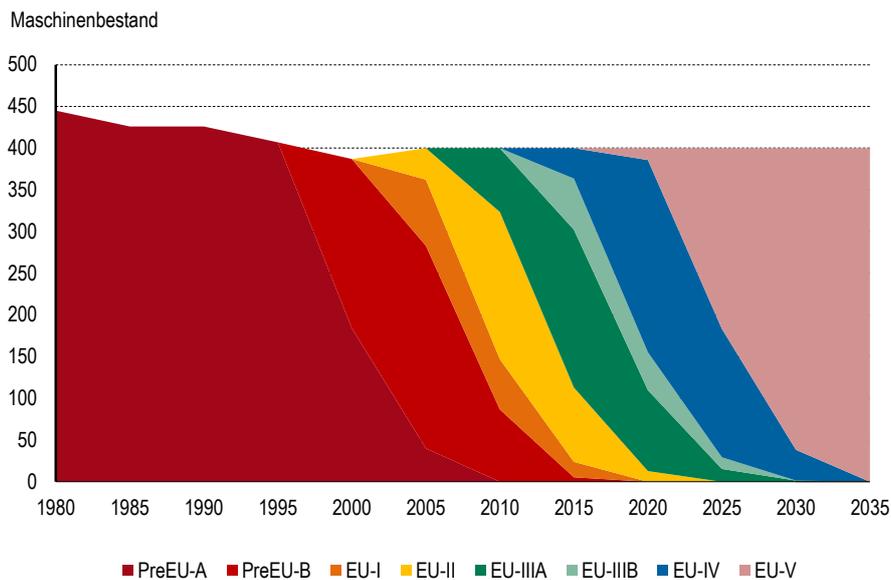
Im «Best Case»-Szenario entsprechen ab dem Einführungsdatum neuer Emissionsstufen alle neuen Maschinen der aktuellen Emissionsstufe. Im «Worst Case»-Szenario werden «Sell-Off Period» und Flexibilitätsschema voll ausgenutzt. Das «wahrscheinliche» Szenario stützt sich auf Aussagen von Maschinenherstellern und versucht, der Realität so nahe wie möglich zu kommen.



Wie schnell Motoren, die entsprechende Grenzwerte einhalten, den gesamten Bestand einer Maschinenkategorie durchdringen, ist abhängig von den jeweiligen Altersverteilungen. Am Beispiel der Strassenfertiger ist dies aus Abb. 13 ersichtlich.

Abb. 13 > Illustration der Emissionsstufen für Strassenfertiger (Baumaschinen)

Strassenfertiger, die ab 2001 in der EU und gemäss Annahme auch in der Schweiz in Betrieb gesetzt werden, erfüllen mindestens die Emissionsstufe EU-I. Ältere Geräte sind – so die Annahme – spätestens bis zum Jahr 2015 ausser Betrieb gesetzt. Das Bestandesmodell wurde entsprechend den Angaben aus der Non-road-Datenbank in 5-Jahres-Intervallen berechnet, was einen kantigen Kurvenverlauf zur Folge hat.



4.3.5 Treibstoffverbrauch

Der Treibstoffverbrauch des Non-road-Sektors wird nach derselben Methodik berechnet wie die Schadstoffemissionen. Die Treibstoffverbrauchsfaktoren für die einzelnen Maschinengattungen sind tabellarisch in Anhang A4 ab Seite 154 aufgelistet.

Die verwendeten Verbrauchsfaktoren für dieselbetriebene Maschinen basieren auf den Angaben der EPA (2004). Auf eine zeitliche Differenzierung der Verbrauchsfaktoren gemäss den Emissionsstufen wird in Anlehnung an EPA (2004) und IFEU (2013) verzichtet.

Dieselbetriebene Maschinen

Die Verbrauchsfaktoren benzinbetriebener Geräte beruhen auf Angaben in Prüfberichten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft (DLG 2008). Die Absenkung des Verbrauchs in Abhängigkeit von der Emissionsstufe wurde so gewählt, dass sie mit den HC-Emissionen parallel verläuft.

Benzinbetriebene Geräte

Die Verbrauchsfaktoren der Schiffe wurden aus dem Bericht Nr. 49 (BUWAL 1996) übernommen. Die Verbrauchsfaktoren der Dampfschiffe sind aufgrund des geringeren Wirkungsgrades deutlich höher als jene der Motorschiffe.

Schiffe

Die Verbrauchsfaktoren für Schienenfahrzeuge basieren auf Messungen des IFEU (IFEU 2003) und auf Herstellerangaben der bei der SBB verwendeten Lokomotiven.

Schienenfahrzeuge

4.3.6 Elektrizitätsverbrauch

Der Stromverbrauch von Elektrogeräten wird nach ebenfalls nach derselben Methodik berechnet wie Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen. Anstelle eines Verbrauchsfaktors in g/kWh tritt jedoch der Kehrwert des Wirkungsgrades. Die unterstellten Wirkungsgrade sind in Tab. 42 auf Seite 170 aufgelistet.

Grundsätzlich verbessern sich die Wirkungsgrade aufgrund Verbesserungen in der Technologie und aufgrund der Einführung strengerer Effizienzstandards über die Zeit. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt des Wirkungsgrades von Motor, Akku und Ladegerät.

Die in der Industrie eingesetzten Elektro-Non-road-Maschinen (vorwiegend Gabelstapler) werden mit Akku betrieben. In Anlehnung an de Haan und Zah (2013) wird der Wirkungsgrad eines 100 kW-Motors im Jahr 2010 mit 85 % angenommen, und eine Verbesserung um 0.67 % alle 10 Jahre wird unterstellt. Kleinere Motoren haben einen geringeren Wirkungsgrad; die Abzüge für niedrigere Leistungsklassen beruhen auf Wirkungsgrad-Tabellen von Elektromotoren in Abhängigkeit von der Leistung (Nipkow 1989, Dolder 2014). Die in Staplern eingesetzten Akkus sind auch heute noch meist Blei-Akkus mit niedrigem Wirkungsgrad (ca. 70 % gemäss Angaben des Schweizerischen Staplerverbandes swisslifter). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich bis 2050 Li-Ionen-Akkus mit einem Wirkungsgrad von 96 % (de Haan und Zah 2013) bei den Staplern durchsetzen. Der Wirkungsgrad der Ladegeräte – wiederum in Anlehnung an de Haan und Zah (2013) – wird mit 87 % im Jahr 1980, kontinuierlich steigend auf 95 % im Jahr 2050 angenommen.

Elektromotoren in der Industrie

Bei den im Bereich Gartenpflege/Hobby eingesetzten Klein-Elektrogeräten kommen sowohl mit Kabel als auch mit Akku betriebene Geräte vor. Die kabelbetriebenen Geräte haben einen höheren Wirkungsgrad, weil hier die Verluste des Akkus und des Ladegerätes wegfallen. Je nach Gerätekategorie und Anwender (Professionelle/Hobby-Anwender) werden daher unterschiedliche Annahmen zum Mix von Kabel- und Akkugeräten getroffen:

Elektromotoren in Kleingeräten

- > Im professionellen Bereich der Gartenpflege wird angenommen, dass die verwendeten Elektrogeräte mit Akku betrieben werden.
- > Im Hobby-Bereich wird ein Mix aus Kabel- und Akkugeräten angenommen, wobei der Anteil von Elektrogeräten im Jahr 2010 bei 33 % der Elektrogeräte liegt und über die Zeit zunimmt – von 3 % im Jahr 1980 auf 75 % im Jahr 2050 (Dieterich 2012, TASPO 2013).
- > Für vorwiegend stationär verwendete Geräte wie Häcksler und Holzspalter wird (im Hobby- wie auch im professionellen Bereich) ausschliesslich Kabelbetrieb unterstellt.
- > Rasenroboter werden ausschliesslich mit Akku betrieben.

Der Akku-Effizienzgrad im Jahr 1980 wird mit 70 % beziffert, im Jahr 2010 mit 90 % und im Jahr 2050 mit 95 %. Für die Ladegeräte gelten die gleichen Annahmen wie für die Elektrogeräte in der Industrie.

4.3.7 Einflussfaktoren

Die Emissionen und der Treibstoffverbrauch von Maschinen können durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst werden, so dass die tatsächlichen Emissionen und Verbräuche von den Basiswerten abweichen. Solche Einflüsse werden – soweit bekannt – durch Korrekturfaktoren (CF) korrigiert.

In aller Regel werden Maschinen im Teillastbereich betrieben. Entsprechend muss für die Berechnung der Emissionen die Nennleistung um einen Lastfaktor auf die effektive Leistung reduziert werden. Die Lastfaktoren sind je nach Maschinentyp und Alter⁸ einer Maschine unterschiedlich. In Anhang A5 ab Seite 174 sind die Lastfaktoren für die einzelnen Maschinenkategorien aufgelistet.

Last (CF₁)

Die Emissionsfaktoren und Verbrauchsfaktoren beziehen sich bei Dieselmotoren auf den Einsatz im Bereich von 48 % der Volllast. Dies entspricht der mittleren Last des Non-road-Messzyklus ISO 8178 C1. Tatsächlich werden aber einige Maschinen bei einer anderen mittleren Last betrieben (z. B. werden dieselmotorenbetriebene Schienenfahrzeuge in der Schweiz vorwiegend für Rangierarbeiten bei niedriger Motorauslastung eingesetzt). Deshalb ist für diese Maschinenkategorien der Norm-Lastfaktor gemäss ISO-Messzyklus entsprechend anzupassen. Die effektiv den einzelnen Maschinenkategorien hinterlegten Lastfaktoren können der Tabelle Anhang A5 ab Seite 174 entnommen werden.

Weil insbesondere der spezifische Verbrauch stark abhängig ist vom Lastpunkt, wird für Dieselmotoren, die bei einer vom ISO-Messzyklus abweichenden mittleren Last betrieben werden, eine durch den Lastfaktor bedingte Korrektur des Verbrauchsfaktors vorgenommen. Diese Korrektur berechnet sich nach folgender Formel:

$$CF_1 = 2.0095 - 2.1981 \cdot \Delta_{LF} + 1.886 \cdot \Delta_{LF}^2$$

mit: CF_1 = Korrekturfaktor für den Verbrauch bei Abweichung der effektiven Last von der Normlast gemäss ISO-Zyklus 8178 C1
 Δ_{LF} = Verhältnis der effektiven Last zur Normlast gemäss ISO-Zyklus 8178 C1

Diese Korrektur bewirkt, dass der spezifische Verbrauch bei einem effektiven Lastfaktor von 20 % rund 30 % höher ist als beim ISO-Lastfaktor von 48 %.

Mangels Datengrundlage wird diese Korrektur nur hinsichtlich des Verbrauchs, nicht aber bezüglich des Schadstoffausstosses berücksichtigt.

⁸ Eine Abhängigkeit des Lastfaktors vom Maschinenalter ist nur den landwirtschaftlichen Traktoren hinterlegt, denn im Gegensatz zu anderen Maschinenkategorien bleiben alte Traktoren lange in Betrieb, sie werden aber nur noch für leichte Arbeiten mit geringer Motorauslastung eingesetzt.

Die Emissionsfaktoren sind aus stationären Messungen abgeleitet (Messzyklus ISO 8178 C1). Werden Maschinen in der Praxis sehr dynamisch betrieben (häufig wechselnde Last), so hat dies einen Einfluss auf die Schadstoffemissionen. Dies wird in der Emissionsberechnung mit entsprechenden Dynamikfaktoren für die einzelnen Maschinenkategorien berücksichtigt. Eine Auflistung der Maschinenkategorien mit dynamischem Schadstoffausstoss findet sich in Anhang A6 auf Seite 178. Die verwendeten Dynamikfaktoren stützen sich auf Angaben der EPA ab (EPA 2004) und werden differenziert nach Emissionsstufe angewendet, weil je nach Motorentechnologie der Einfluss des dynamischen Betriebs grösser oder kleiner resp. vernachlässigbar (Saugmotoren) ist. Die Dynamikfaktoren für CO und PM werden nur bei Dieselmotoren einzelner Maschinenkategorien in Abhängigkeit von Emissionsstufe, Grössenklasse und verwendeten Lastfaktoren für die Schadstoffe CO, PM und NO_x hinterlegt (Tab. 10). Die Dynamikfaktoren >1,00 für alle Maschinen mit Leistungen zwischen 56 und 560 kW bei den Stickoxiden (NO_x) ab Stufe IV kommen zur Anwendung, weil die SCR-Technologie (Selective Catalytic Reduction) zur Einhaltung der Grenzwerte dieser Maschinen eingesetzt wird und dies im niedrigen Teillastbereich zu höheren NO_x-Emissionen führt.

Dynamik (CF₂)

Tab. 10 > Verwendete Dynamikfaktoren bestimmter Maschinenkategorien

Dynamik (CF₂).

Emissionsstufe	CO	HC	NO _x	PM
PreEU-A (vor 1995, Saugmotoren)	1,53	1,00	1,00	1,00
ab 1996 bis EU-Stufe II	1,53	1,00	1,00	1,23
EU-Stufe IIIA	1,53	1,00	1,00	1,47
EU-Stufe IIIB	1,00	1,00	1,00	1,00
ab EU-Stufe IV	1,00	1,00	Leistungsklassen 56–560 kW: 1,20 für Lastfaktoren >0,35 1,50 für Lastfaktoren ≤0,35 Leistungen <56 und >560 kW: 1,00 für alle Lastfaktoren	1,00

Der Schadstoffausstoss sowie der Treibstoffverbrauch der Motoren sind von deren Alter abhängig. Dies wird im Emissionsmodell durch den Verschleiss berücksichtigt. Je nach Schadstoffart werden unterschiedliche Annahmen zum Verschleiss verwendet. Der Einfluss des Verschleisses wird bis Stufe EU-II aus den in Tab. 11 aufgeführten Verschlechterungsfaktoren berechnet. Ab Stufe EU-IIIa haften die Motorenhersteller für die Langzeitstabilitäten der Emissionen und müssen diese durch Dauerläufe nachweisen (EC 1997). Daher gilt ab Stufe EU-IIIa CF₃ = 1,0.

Verschleiss (CF₃)

Tab. 11 > Verschlechterungsfaktoren (bis Emissionsstufe EU-IIIa)*Verschleiss (CF₃).*

Motortyp	Periode der Verschlechterung (P _h)	CO		HC		NO _x		PM		Verbrauch	
		Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.		
Benzin 2-Takt-	100 h	1,1	1,1	1,3	1,3	1,0	1,0			1,2	1,2
Benzin 4-Takt-	500 h	1,1	1,1	1,5	1,5	1,0	1,0			1,2	1,2
Diesel	2'000 h	1,1	1,2	1,15	1,3	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0

Mit den Verschlechterungsfaktoren und den bisher geleisteten Betriebsstunden lässt sich der Korrekturfaktor für den Verschleiss einer Maschine berechnen: Bei Dieselmotoren wird z. B. der PM-Emissionsfaktor pro 2000 h um 10 % erhöht, die maximale Erhöhung beträgt 20 %, d. h. auch wenn die Betriebsstunden über 4000 h liegen, wird der Emissionsfaktor nur um 20 % erhöht.

$$CF_3(\text{Alter}) = \text{Verschlechterungsfaktor} \left(\frac{\sum_{n=\text{Alter}}^{\text{Refjahr}} H(n)}{P_h} \right)$$

Wobei

CF₃ = Korrekturfaktor für den Verschleiss (dimensionslos)

H = Jährliche Betriebsstunden bei einem bestimmten Maschinenalter (h/a)

P_h = Periode der Verschlechterung (h)

Der maximale Korrekturfaktor für den Verschleiss einer Maschine wird im Modell bei Dieselmotoren nach rund 3800 Betriebsstunden erreicht. Danach wird von keiner weiteren Verschlechterung ausgegangen.

4.3.8 Partikelfilter

Partikelfilter sind eine spezielle Einrichtung zur effizienten Reduktion der Partikelemissionen von Dieselmotoren. Die Partikelemissionsgrenzwerte ab Stufe EU-IIIb können (entgegen früheren Erwartungen, vgl. BAFU 2008) zwar auch ohne Partikelfilter eingehalten werden; trotzdem werden je nach Hersteller auch schon in Maschinen ab Stufe EU-IIIb Partikelfilter ab Werk eingebaut (Integer 2013). Für die Einhaltung der Grenzwerte der Stufe EU-V wird heute davon ausgegangen, dass Partikelfilter notwendig sein werden, da mit dieser Stufe nicht nur ein Grenzwert für die Partikelmasse, sondern auch für die Partikelanzahl in Kraft tritt. Bereits heute müssen aber gemäss der Luftreinhalteverordnung Baumaschinen >18 kW auf Baustellen mit Partikelfilter betrieben werden, wobei es Übergangsfristen zu beachten gilt. Diese schweizerische Verordnung hat zur Folge, dass Maschinen, welche nicht ab Werk mit Partikelfilter ausgestattet sind, mit einem Partikelfiltersystem nachgerüstet werden müssen (BAFU 2009).

Im Emissionsberechnungsmodell wird die Partikelfilterausstattung speziell berücksichtigt:

- > Für die Bestände der einzelnen Segmente wird bei Dieselmotoren der Anteil der Maschinen angegeben bzw. abgeschätzt, die mit Partikelfilter nachgerüstet sind (siehe Kap. 5.5, Seite 58).
- > Da vor allem jüngere Maschinen mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet werden⁹, beruht die Modellrechnung auf der Annahme, dass jeweils die neusten Maschinen des Bestandes an nachrüstbaren Maschinen tatsächlich nachgerüstet sind.
- > Die Partikelemissionen sowie der Treibstoffverbrauch der Maschinen, die mit Partikelfilter nachgerüstet sind, werden durch einen Korrekturfaktor auf die entsprechenden Emissionswerte korrigiert. Die Korrekturfaktoren für den Treibstoffverbrauch betragen +3 % und für die Partikelanzahl: -99 %; für die Partikelmasse sind sie abhängig vom Emissionsfaktor ohne Partikelfilter und damit von Emissionsstufe und Leistungsklasse; diese Korrekturfaktoren sind in Tab. 45 (Seite 173) aufgelistet.

⁹ Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen werden in der Regel nur neuere Maschinen mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet. Bei älteren Maschinen kann das Risiko technischer Komplikationen infolge des höheren Rauchausstosses höher sein. Zudem ist die Restlebensdauer älterer Maschinen geringer, was die Wirtschaftlichkeit der Nachrüstung mindert.

5 > Bestände und Betriebsstunden

5.1 Bestände im Jahr 2010

In Abb. 14 ist die Verteilung der Bestände (Anzahl Maschinen und Geräte) des Non-road-Sektors für das Jahr 2010 dargestellt. Von den rund 2,89 Mio. Maschinen und Geräten gehören 80 % zur Maschinengattung «Gartenpflege/Hobby». Den zweitgrössten Anteil haben die Bestände der landwirtschaftlichen Maschinen. Baumaschinen haben lediglich einen Anteil von 2 % am Gesamtbestand. Damit zeigt sich, dass die Bestände des Non-road-Sektors anzahlmässig von Kleingeräten mit Leistungen im Bereich weniger Kilowatt dominiert werden, obwohl diese einen relativ kleinen Anteil an Energieverbrauch und Schadstoffemissionen ausmachen. Über die Hälfte dieser Geräte sind Elektrogeräte, welche keine direkten Luftschadstoff-Emissionen verursachen.

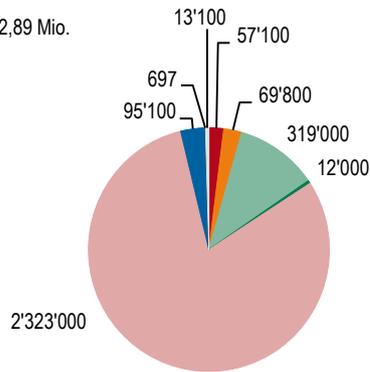
Der «klassische» Non-road-Sektor (also die Maschinen und Geräte mit Verbrennungsmotoren) ist von Benzinmotoren dominiert, wobei die 4-Takt-Motoren etwas stärker vertreten sind als die kleineren 2-Takt-Motoren. Die meisten 2- wie auch 4-Takt-Benzingeräte sind weisen eine geringe Leistung (<18 kW, meist um 1 bis 5 kW) auf. Die Dieselmotoren sind dagegen typischerweise grösser und ungleich leistungsfähiger.

Neben den diesel- und benzinbetriebenen Maschinen existiert ein kleiner Bestand an gasbetriebenen Maschinen (v. a. Gabelstapler) sowie an dampfbetriebenen Schiffen. Die Dampferzeugung erfolgt dabei ausschliesslich mit extraleichtem Heizöl. Bei den Betrachtungen zum Treibstoffverbrauch wird dieses – wenn nicht separat ausgewiesen – zum Dieserverbrauch hinzuaddiert.

Abb. 14 > Bestände nach Maschinengattungen und Motortyp im Jahr 2010

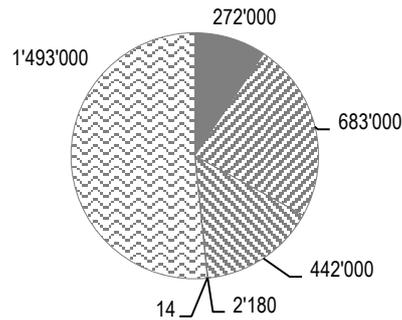
nach Gattungen

Total: 2,89 Mio.



- Baumaschinen
- Industrie
- Landwirtschaft
- Forstwirtschaft
- Gartenpflege/Hobby
- Schiffe
- Schiene
- Militär

nach Motortyp



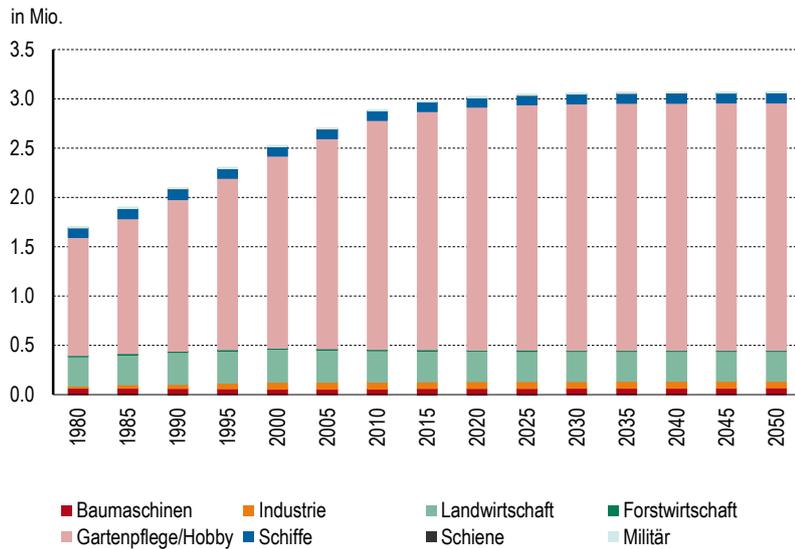
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)
- Flüssiggas
- Dampf (Heizöl)
- Elektrizität

Zahlenwerte siehe Abb. 12 auf Seite 43

5.2 Zeitliche Entwicklung der Bestände

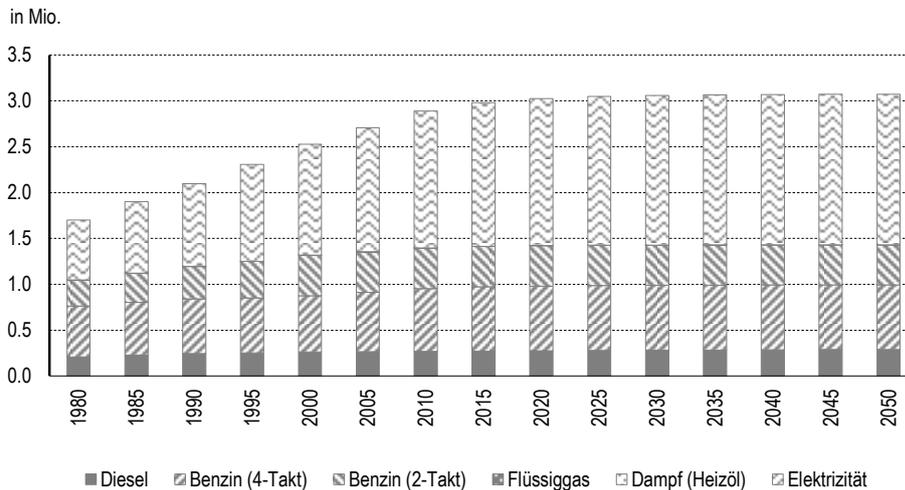
Der Gesamtbestand hat im Non-road-Sektor in den vergangenen Jahren aufgrund der Entwicklung im Bereich Gartenpflege/Hobby wie auch in der Bauwirtschaft zugenommen. Zukünftig wird mit einer Fortsetzung dieses Trends gerechnet, wenn auch abgeschwächt. Dabei ist zu beachten, dass die Zuverlässigkeit der Prognosen abnimmt, je weiter in die Zukunft sie reichen (vgl. Kap. 4.2.2). Dass der Rückgang bei den landwirtschaftlichen Maschinen trotz der deutlich sinkenden Zahl landwirtschaftlicher Betriebe¹⁰ nicht deutlicher ausfällt, hängt einerseits damit zusammen, dass in der Landwirtschaft alte Maschinen lange nicht entsorgt werden (das Einlösen eines Traktors ist nur mit geringen Kosten verbunden und deshalb besteht kein Anreiz, alte Traktoren nicht mehr einzulösen). Zudem herrscht auf (ehemaligen) landwirtschaftlichen Betrieben in der Regel kaum Platzmangel, so dass alte Maschinen nicht entsorgt werden müssen. Ein weiterer Grund für den eher langsamen Rückgang des landwirtschaftlichen Maschinenparks ist wohl, dass trotz des Rückgangs der Anzahl Betriebe die landwirtschaftliche Nutzfläche nur geringfügig abgenommen hat (um knapp 2 % seit 1990), was auch zu einer Zunahme der durchschnittlichen Betriebsgröße um 55 % geführt hat.

¹⁰ Zwischen 1990 und 2010 hat die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe um 36 % abgenommen (BfS 2012).

Abb. 15 > Entwicklung der Bestände nach Maschinengattungen (1980–2050)

Zahlenwerte siehe Tab. 48, Seite 179

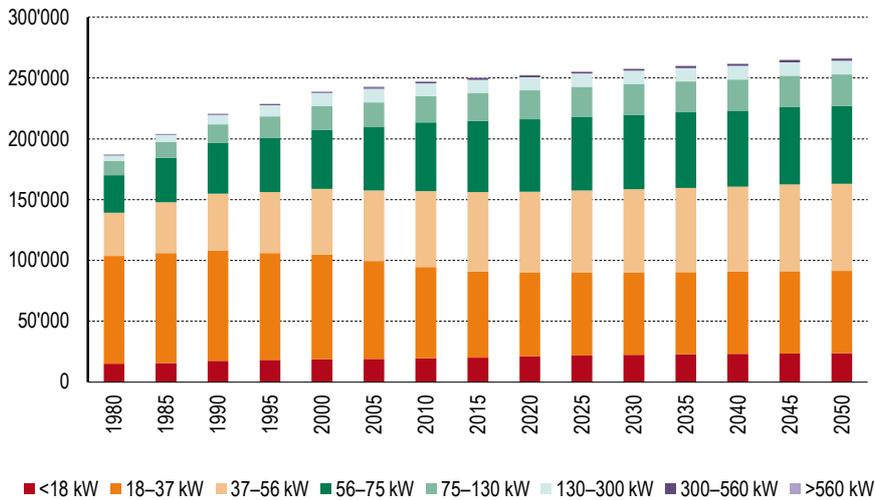
Wird die Entwicklung der Bestände motortypenspezifisch betrachtet (Abb. 16), so zeigt sich, dass die Bestände der Elektrogeräte am stärksten zunehmen. Dazu trägt beispielsweise die stark wachsende Beliebtheit der Rasenroboter bei, aber auch die zunehmende Substitution von 2- oder 4-Takt-Benzingeräten mit akkubetriebenen Elektrogeräten dank der Verbesserungen der Akku-Technologie in den letzten Jahren. Bei den Verbrennungsmotoren nimmt der Bestand der 4-Takt-Benzingeräte am stärksten zu, gefolgt von den Dieselmotoren. Von einer Fortsetzung dieser Trends wird, wenn auch in geringerem Masse, für die Zukunft ausgegangen. Die Verbreitung der 2-Takt-Motoren hat hingegen in den letzten zehn Jahren stagniert, und in der Zukunft wird sogar ein leichter Rückgang erwartet.

Abb. 16 > Entwicklung der Bestände nach Motortyp (1980–2050)

Die grössenklassenspezifische Betrachtung der Entwicklung der Bestände an Dieselmotoren zeigt weiter, dass der Bestand an grossen Motoren im Wachstum begriffen ist, während der Bestand an kleinen Motoren eher zurück geht (Abb. 17). In besonderem Masse gilt dies für die Maschinen mit einer Leistung zwischen 300 und 560 kW; ihr Bestand hat sich zwischen 1980 und 2010 fast verdreifacht und wächst gemäss den Prognosen bis 2050 auf ein Vierfaches des Bestandes von 1980 an.

Entgegen diesem generellen Trend zu grösseren Maschinen nimmt aber auch die kleinste Grössenklasse, diejenige der Maschinen unter 18 kW, zu. Dies ist vor allem auf die wachsende Beliebtheit der Minibagger zurückzuführen, welche in den letzten Jahren auf dem Bau, aber auch im Bereich Landschaftsgärtnerei, immer stärker eingesetzt worden sind.

Abb. 17 > Entwicklung der Bestände mit Dieselmotoren nach Leistungsklassen (1980–2050, ohne Schiffe und Strassenfahrzeuge des Flughafenvorfeldes)

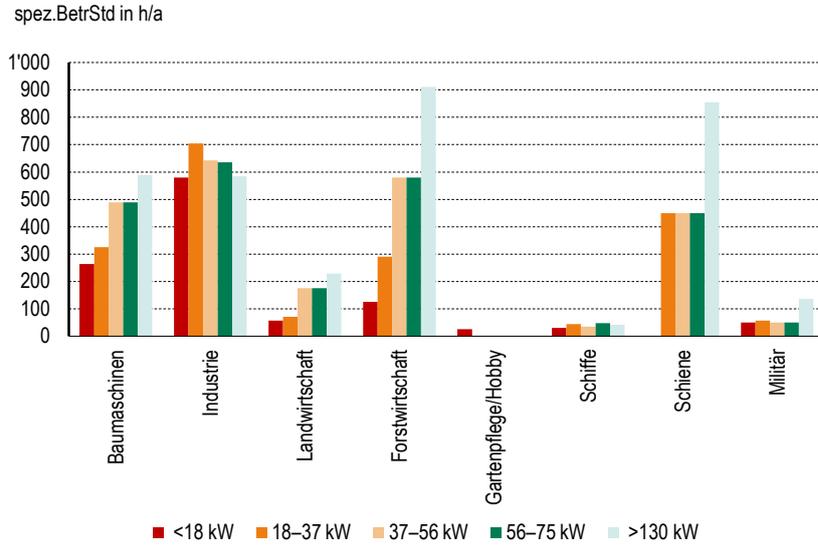


5.3 Betriebsstunden im Jahr 2010

Bezüglich der Betriebsstunden ergibt sich ein anderes Bild als bei den Beständen, da sich die spezifischen Betriebsstunden zwischen den Maschinengattungen stark unterscheiden (Abb. 18). Maschinen im professionellen Einsatz weisen tendenziell hohe spezifische Betriebsstunden auf, während Hobbygeräte nur selten zum Einsatz gelangen. Im Bezugsjahr 2010 waren die spezifischen Betriebsstunden der Baumaschinen (Betriebsstunden pro Gerät und Jahr) rund 6-mal höher als jene der Gartengeräte. Entsprechend haben Baumaschinen einen deutlich höheren Anteil an der Summe der Betriebsstunden als an den Beständen (vergleiche Abb. 19 links mit Abb. 14 links). Benzinbetriebene Motoren hingegen haben einen deutlich kleineren Anteil an den Betriebsstunden als an den Beständen (vergleiche Abb. 19 rechts mit Abb. 14 rechts).

In der Vorgängerstudie (BAFU 2008) war der Unterschied zwischen den durchschnittlichen Betriebsstunden der Gartengeräte und den Bau- und Industriemaschinen noch ausgeprägter als aktuell. Die durchschnittlichen Betriebsstunden der Gartengeräte sind jedoch auf das Doppelte des damaligen Wertes (30 h/a) auf rund 60 h/a gestiegen (vgl. auch Tab. 12). Dies liegt vor allem an der rasanten Zunahme der Rasenroboter: Diese sind, wenn auch mit sehr niedriger Leistung und entsprechend geringem spezifischem Energieverbrauch, im Sommerhalbjahr fast ständig in Betrieb und kommen so auf rund 1200 Betriebsstunden pro Gerät und Jahr. Deswegen haben sie, obwohl sie 2010 nur 4 % des Bestandes der Gartengeräte ausmachen, einen Anteil von 70 % an den gesamten Betriebsstunden dieser Maschinengattung.

Abb. 18 > Durchschnittliche Betriebsstunden pro Gerät und Jahr

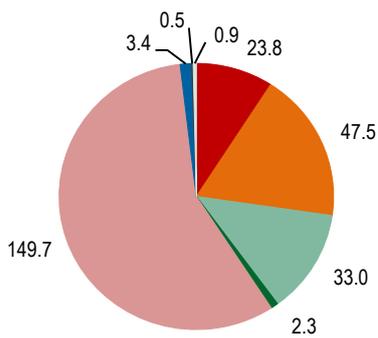


Zahlenwerte siehe Tab. 12, Seite 56

Abb. 19 > Summe der Betriebsstunden nach Maschinengattungen und Motortyp im Jahr 2010

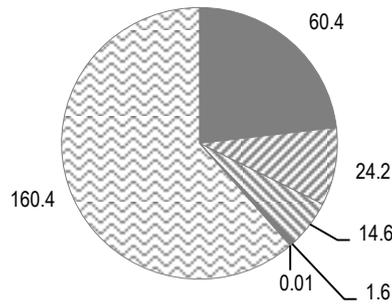
nach Gattungen

Total: 261.14 Mio. h/a



- Baumaschinen
- Industrie
- Landwirtschaft
- Forstwirtschaft
- Gartenpflege/Hobby
- Schiffe
- Schiene
- Militär

nach Motortyp



- Diesel
- ▨ Benzin (4-Takt)
- ▨ Benzin (2-Takt)
- Flüssiggas
- Dampf (Heizöl)
- ▨ Elektrizität

Zahlenwerte siehe Tab. 12 (unten)

Tab. 12 > Mengengerüst des Non-road-Sektors für das Jahr 2010*Bezugsjahr 2010; Zahlen gerundet.*

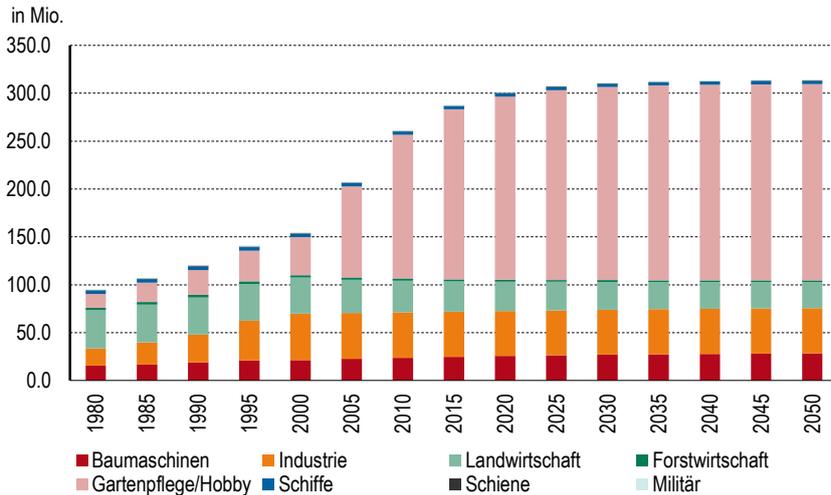
Gattung	Bestand	Betriebsstunden (in Mio. h/a)	spezifische Betriebsstunden				
			<18 kW	18–37 kW	37–56 kW	56–75 kW	>130 kW
Baumaschinen	57'100	23.8	330	330	490	490	590
Industrie	69'800	47.5	690	700	640	640	580
Landwirtschaft	319'000	33.0	60	70	180	180	230
Forstwirtschaft	11'900	2.3	130	290	580	580	910
Gartenpflege/Hobby	2'323'000	149.7	60	-	-	-	-
Schiffe	95'100	3.4	30	40	40	50	40
Schiene	697	0.5	-	450	450	450	850
Militär	13'100	0.9	50	60	50	50	140
Summe	2'890'000	261.1					

5.4 Zeitliche Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

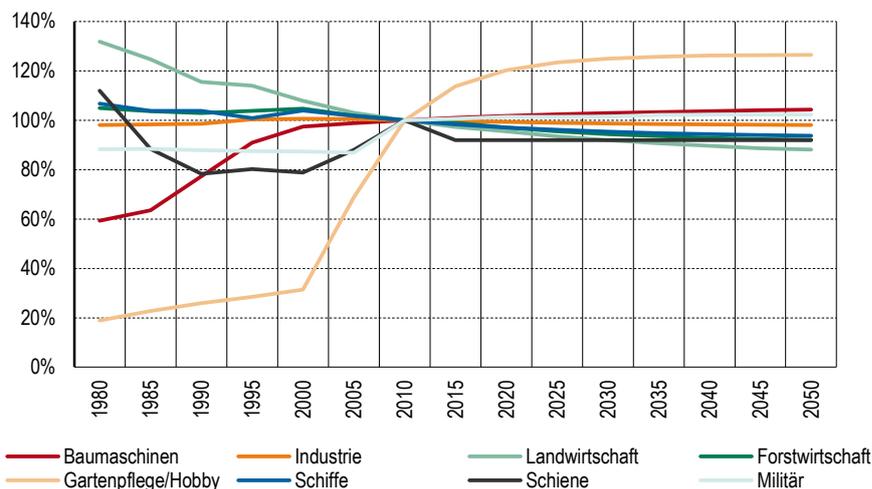
Die zeitliche Entwicklung der Betriebsstunden des Non-road-Sektors zeigt zwischen 1980 und 2000 eine deutliche Zunahme bei allen Gattungen, insbesondere bei den Maschinengattungen Industrie sowie Gartenpflege/Hobby (Abb. 20).

Zwischen 2000 und 2010 zeigt sich eine sprunghafte Zunahme der Betriebsstunden, welche zum grössten Teil auf die Zunahme der Rasenroboter mit ihren langen Betriebszeiten bei sehr niedriger Leistung (vgl. vorangehendes Kapitel) zurückgeht. Auch die Betriebsstunden der Baumaschinen nehmen weiterhin zu. Die Betriebsstunden der anderen Gattungen nehmen ab 2000 leicht ab.

Zukünftig wird mit einer Fortsetzung dieses Trends gerechnet, auch wenn sich die Zunahme bei den Rasenrobotern und den Baumaschinen langsam abflachen wird.

Abb. 20 > Entwicklung der gesamten Betriebsstunden nach Maschinengattungen (1980–2050)**Abb. 21** > Entwicklung der spezifischen Betriebsstunden pro Gerät und Jahr (1980–2050)

Relative Veränderung gegenüber dem Basisjahr 2010

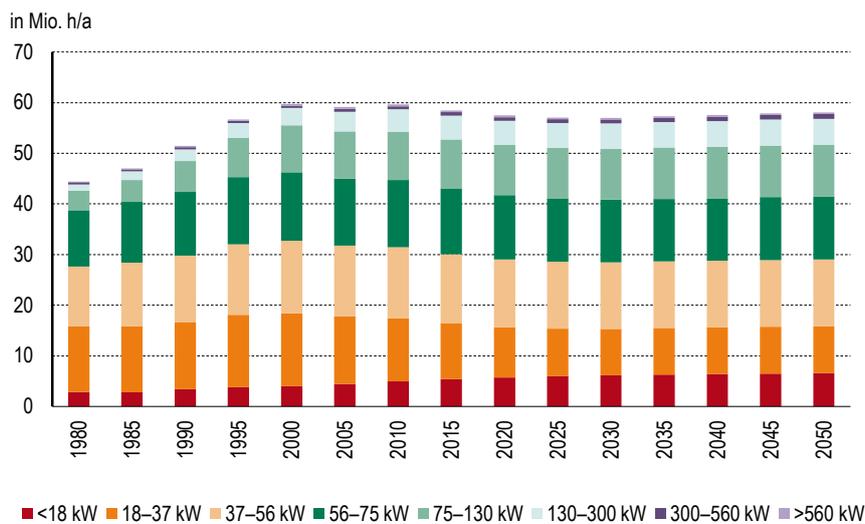


Bezüglich der Entwicklung der spezifischen Betriebsstunden (Betriebsstunden pro Gerät und Jahr, Abb. 21) zeigt sich ein deutlicher Anstieg der durchschnittlichen Betriebsstunden der Baumaschinen um 76 % (von 240 h/a im Jahr 1980 auf 430 h/a im Jahr 2050). Bei den Geräten in der Landwirtschaft wird hingegen mit einem Rückgang der durchschnittlichen Betriebsstunden um 33 % gerechnet (von 140 h/a 1980 auf 90 h/a 2050). Die grösste Veränderung der spezifischen Betriebsstunden zeigt wiederum der Bereich Garten/Hobby (+570 %, von rund 12 h/a im Jahr 1980 auf 80 h/a 2050), mit einem sprunghaften Anstieg ab 2000, welcher durch den Boom der

Rasenroboter ausgelöst wird, sich aber gemäss den Erwartungen in Zukunft auch wieder abflacht.

In Abb. 22 ist die Entwicklung der gesamten Betriebsstunden nach Maschinengrössenklassen für die dieselbetriebenen Maschinen des Non-road-Sektors (ohne Schiffe und Strassenfahrzeuge des Flughafenvorfeldes) dargestellt. Sie zeigt, auch wenn die gesamten Betriebsstunden der Dieselmotoren in Zukunft tendenziell abnehmen, ein ähnliches Bild wie die Entwicklung der Bestände nach Maschinengrössenklassen (Abb. 17). Die strukturellen Veränderungen (Trend zu leistungsstärkeren Maschinen) kommen bei den Betriebsstunden ebenfalls zum Vorschein. Wie die Bestände nehmen auch die Betriebsstunden der kleinsten Maschinen (<18 kW) zu, was wiederum vor allem auf den zunehmenden Einsatz von Minibaggern zurückzuführen ist.

Abb. 22 > Entwicklung der gesamten Betriebsstunden von Dieselmotoren nach Leistungsklassen (1980–2050, ohne Schiffe und Strassenfahrzeuge des Flughafenvorfeldes)



5.5 Entwicklung des Bestandes an Maschinen mit Partikelfiltersystemen

Der Bestand an Maschinen mit Dieselmotoren, die mit Partikelfilter aus- oder nachgerüstet sind, hat in den letzten Jahren stark zugenommen (Abb. 23). Wegen der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) müssen seit 2010 Baumaschinen mit Baujahr 2010 und jünger auf Baustellen mit Partikelfiltern ausgestattet sein (Ausnahmen: Maschinen <18 kW. Für Baumaschinen mit einer Leistung >37 kW gibt es Baujahr abhängige Übergangsfristen. Ab 1. Mai 2015 müssen alle Maschinen >37 kW über einen Partikelfilter verfügen; s. BAFU 2009). Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Baumaschinen auf Baustellen gemäss LRV eingesetzt werden – Anwendungen in Industrie oder Land- und Forstwirtschaft sind von den Bestimmungen bislang ausgenommen. Aus diesem Grund ist auch der Anteil von Land- und Forstmaschinen sowie Schiffen mit Partikelfiltern noch relativ gering. Bei dieselbetriebenen Schienenfahrzeugen beträgt der Partikelfilter-Anteil im Jahr 2010 rund 67 %. Baumaschinen und Schiffe des Mili-

tärs haben ähnliche Ausstattungsgrade wie ihre zivilen Pendanten; Raupenfahrzeuge sind generell nicht mit Partikelfiltern ausgestattet. Die Zahlen bis 2010 beruhen auf Annahmen aufgrund der Einführungszeitpunkte der LRV, Angaben der Partikelfilterhersteller zu Verkaufszahlen von Partikelfiltersystemen, Angaben in der Vernehmlassung zur Revision der SAV (Schiffe), sowie auf Angaben der Bahnunternehmen (BLS 2012, SBB 2012) und der Logistikbasis der Armee (LBA).

Die Entwicklung für die Periode 2010 bis 2020 wurde (ausser für Baumaschinen auf Baustellen, da hier die Partikelfilterpflicht durch die LRV vorgegeben ist) geschätzt basierend auf den Emissionsreduktionsstrategien der Maschinenhersteller für die Emissionsstufen EU-IIIb und EU-IV (Integer 2013, s. Tab. 13) sowie deren Marktanteile in der Schweiz im Jahr 2010 (Off-Highway Research 2005, 2012). Die Partikel-Grenzwerte für diese Stufen können mit oder ohne Partikelfilter eingehalten werden, deswegen verfolgen unterschiedliche Hersteller unterschiedliche Strategien (Tab. 13). Die Emissionen sind mit Partikelfilter aber geringer (vgl. Tab. 45, Seite 173). Für die Emissionsstufe EU-V wird davon ausgegangen, dass die Partikelanzahl-Grenzwerte nur mit Partikelfilter eingehalten werden können. Daher wird der Anteil an mit Partikelfilter ausgestatteten Maschinen am Gesamtbestand ab 2019 in allen Maschinengattungen rascher zunehmen – je länger die durchschnittlichen Lebensdauern der jeweiligen Maschinen, desto langsamer.

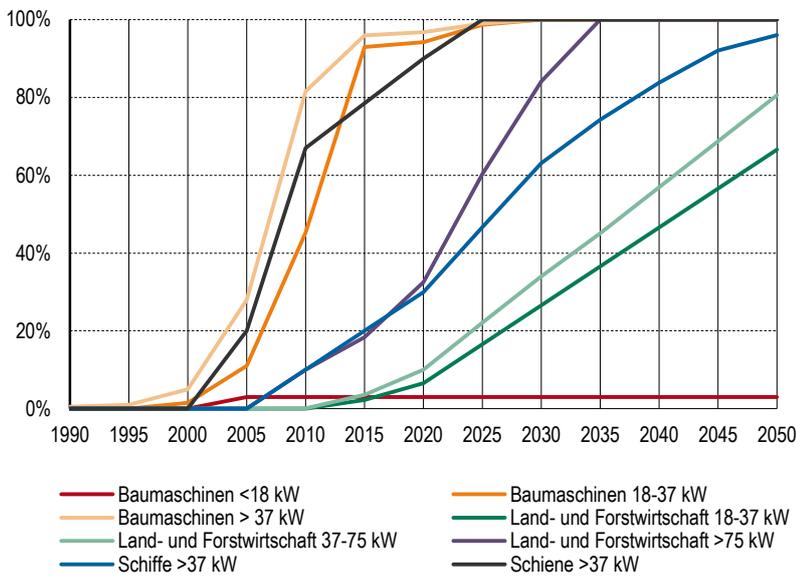
Tab. 13 > Geplanter Einbau von Partikelfiltern in Motoren ab 18 kW der Stufen EU-IIIb und EU-IV nach Hersteller

Quelle: Integer 2013. «Teilweise» bedeutet in den meisten Fällen, dass die Motoren höherer Leistungsklassen mit Partikelfilter ausgestattet werden.

Hersteller	Stufe EU-IIIb / US Tier 4 Interim	Stufe EU-IV / US Tier 4 Final
AGCO	Nein	Nein
Caterpillar	Teilweise	Ja
CNH	Nein	Nein
Cummins	Teilweise	Teilweise
Deutz	Teilweise	Ja
IHI	Nein	Nein
Isuzu	Teilweise	Nein
John Deere	Teilweise	Ja
Komatsu	Teilweise	Teilweise
Kubota	Teilweise	Ja
Liebherr	Teilweise	Nein
Takeuchi	Nein	Nein
Volvo CE	Teilweise	Noch nicht bekannt
Volvo Penta	Nein	Nein
Weichai	Nein	Nein

Abb. 23 > Entwicklung des Bestandes an Dieselmotoren, die mit Partikelfilter aus- oder nachgerüstet sind

Die Entwicklung bis 2010 entspricht den Verkaufszahlen von Partikelfiltersystemen in der Schweiz. Für 2010 bis 2020 basieren die Schätzungen auf den Emissionsreduktionsstrategien der Maschinenhersteller für die EU-Stufen IIIB und IV (Integer 2013) und ihren jeweiligen Marktanteilen in der Schweiz im Jahr 2010 (Off-Highway Research 2005, 2012). Für die Zeit ab 2020 wird angenommen, dass aufgrund der Partikelgrenzwerte der Stufe EU-V alle neuen Maschinen mit Leistungen über 18 kW mit Partikelfilter ausgerüstet sein müssen.



6 > Bestände und Betriebsstunden der einzelnen Maschinengattungen

6.1 Baumaschinen

Die Unterteilung der Baumaschinen nach Maschinenkategorien orientiert sich im Wesentlichen an der Untergliederung von CORINAIR. Die Bestände wurden aufgrund der Angaben der MOFIS-Datenbank (mittels Korrekturfaktoren für nicht registrierte Maschinen, vgl. BAFU 2008), aufgrund Marktstudien (Off-Highway Research 2005, 2008, 2012) und aufgrund den Angaben der Experten der Expertengruppe geschätzt. Die Aufteilung nach Leistungsklassen erfolgte auf Basis der Vorgängerstudie (BAFU 2008), auf den Angaben der Maschinenhersteller zur Entwicklung der Leistungsklassenverteilung sowie aufgrund leistungsklassen-spezifischer Verkaufszahlen in den genannten Marktstudien. Die Schätzung der spezifischen Betriebsstunden der einzelnen Maschinen basiert ebenfalls auf der Vorgängerstudie, den Erfahrungen der Experten der Expertengruppe sowie den Inventargrunddaten des Schweizerischen Baumeisterverbandes (SBV 2013). Für deren zeitliche Entwicklung wurde unterstellt, dass Baumaschinen je nach Marktsituation mehr oder weniger genutzt werden.

6.1.1 Bestände

In Abb. 24 sind die Baumaschinenbestände nach Maschinenkategorie (oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >1000 Maschinen) und Leistungsklasse (oben rechts) dargestellt. Die grösste Kategorie bilden Stampfer/Vibratoren (10'500 Stück¹¹), gefolgt von Kompressoren (7650 Stück) und Minibaggern (d.h. Hydraulikbagger <37 kW, 7400 Stück). 80 % der Baumaschinen verfügen über Dieselmotoren, nur Stampfer/Vibratoren und Notstromaggregate haben mehrheitlich Benzinmotoren. Die Baumaschinen verteilen sich relativ gleichmässig über alle Grössenklassen bis 300 kW, nur wenige erreichen Leistungen bis 560 kW.

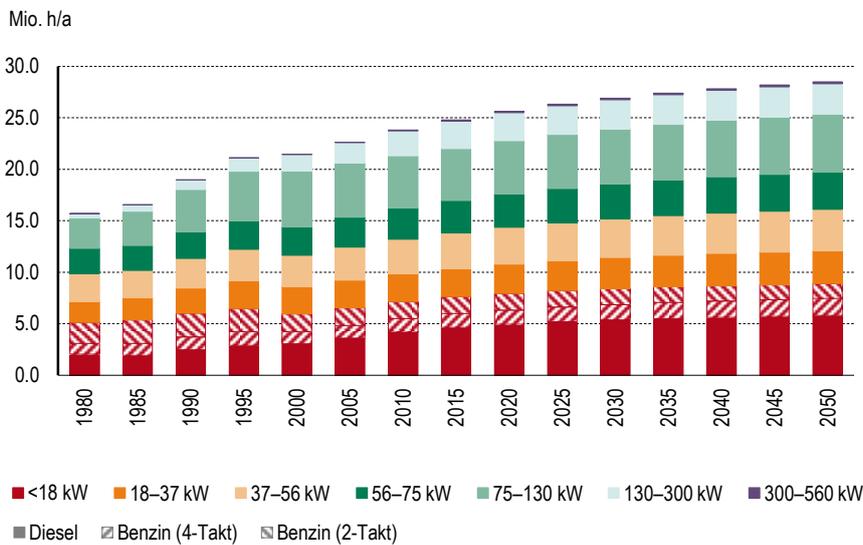
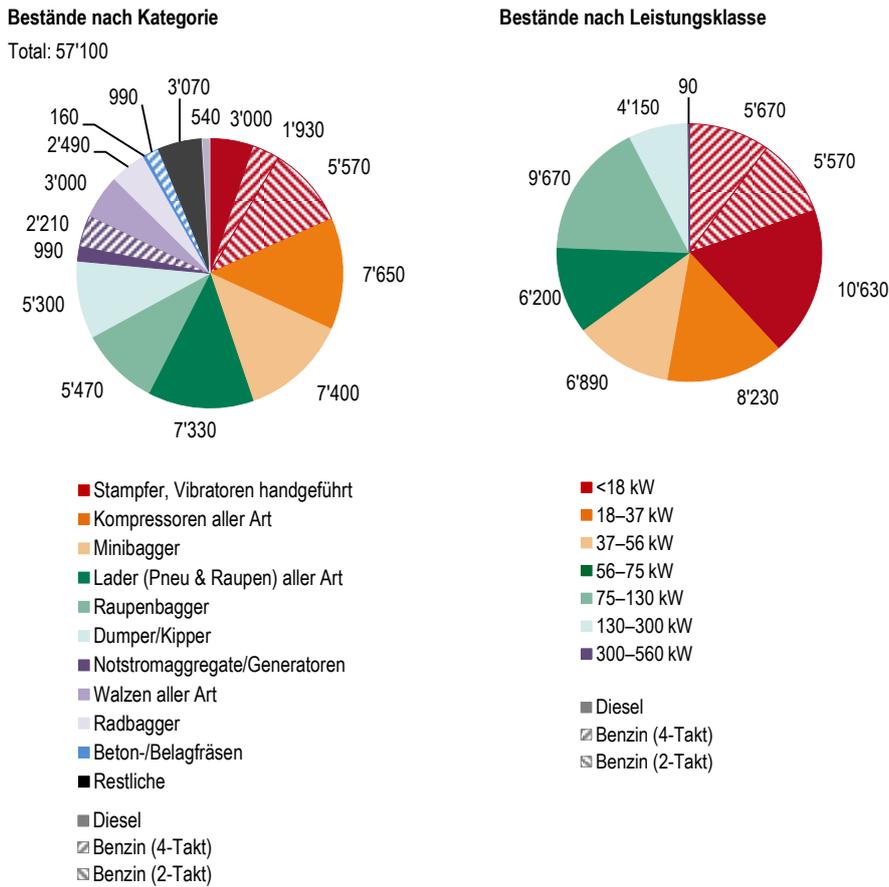
6.1.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

In Abb. 24 (unten) ist die Entwicklung der Betriebsstunden der Baumaschinen nach Grössenklassen und Motortyp dargestellt. Demnach hat die Aktivität der Baumaschinen im Zeitraum 2000–2010 weiter zugenommen; mit einer weiteren, wenn auch weniger raschen Zunahme in der Zukunft ist zu rechnen. Gleichzeitig hat 1980–2010 eine Verlagerung von kleinen (benzinbetriebenen) Maschinen zu grossen (Diesel-)maschinen stattgefunden. Es lässt sich jedoch ab 2000 eine Abschwächung des bis anhin beobachteten stabilen Trends zu grösseren Maschinen feststellen, weswegen ab 2015 eine konstante Leistungsklassenverteilung unterstellt wurde.

¹¹ 10'500 = 5570 + 1930 + 3000 (Benzin 2-Takt und 4-Takt sowie Diesel)

Abb. 24 > Baumaschinen: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >1000 Maschinen.
 Bezugsjahr Bestände: 2010.



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.2 Industrie

Das Mengengerüst der mobilen Industriemaschinen basiert auf der MOFIS-Datenbank, den Angaben der Verbände swisslifter (Schweizerischer Hubstaplerverband) SIK (Schweizerische Interessensgemeinschaft der Fabrikanten und Händler von Kommunal-Maschinen und Geräten) und SBS (Seilbahnen Schweiz, für Pistenfahrzeuge), den Mineralölsteuer-Rückerstattungsanträgen von Betreibern von Generatoren und Notstromaggregaten an die Oberzolldirektion (OZD) sowie auf Angaben der Flughäfen Zürich und Genf.

In der Maschinengattung Industrie sind nur die relativ grossen mobilen Maschinen aufgeführt. Kleingeräte wie Bohrgeräte oder Fräsen sind vor allem unter der Maschinengattung Gartenpflege/Hobby zusammengefasst. Neu seit der Vorgängerstudie (BAFU 2008) unter der Gattung Industrie im Inventar geführt werden neben den elektrischen Geräten die mobilen Maschinen des Flughafenvorfeldes (Airside-Bereich) sowie Generatoren in Industrie, Gewerbe und öffentlicher Hand. Die Frage der Abgrenzung der mobilen Generatoren zu den stationären Motoren wird so gehandhabt, dass alle dieselbetriebenen Aggregate als mobil betrachtet und daher im Non-road-Inventar geführt werden – im Gegensatz zu den Heizöl-betriebenen, bei denen unterstellt wird, dass sie stationär sind. Dies ist eine vereinfachende Annahme, entspricht jedoch im Grossen und Ganzen in etwa der Realität.

6.2.1 Bestände

Wie Abb. 25 (oben links) zeigt, wird diese Maschinengattung von den Gabelstaplern dominiert. Gabelstapler, die in geschlossenen Hallen zum Einsatz kommen, werden in der Regel mit Elektrizität oder Flüssiggas (mehrheitlich Propangas) betrieben (79 % aller Stapler). Die Leistung dieser Maschinen liegt mehrheitlich unter 75 kW.

Sehr leistungsstarke Maschinen werden im Pistendienst eingesetzt (bis zu 340 kW). Der Bestand der Pistenfahrzeuge liegt deutlich über denjenigen der Vorgängerstudie (BAFU 2008), da erstmals ein Auszug aus der MOFIS-Datenbank vom Winter zur Verfügung stand, welcher auch die während der Sommermonate exmatrikulierten Fahrzeuge enthält (die Standard-MOFIS-Auszüge stammen jeweils von Ende September).

6.2.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Gemäss den Angaben von swisslifter ist der Gabelstaplerbestand zwischen 2000 und 2010 aufgrund der zunehmenden Automation in der Logistik um rund 4 % zurückgegangen. Zukünftig wird mit einer allmählichen Stabilisierung des Bestandes gerechnet. Dies wird auch aus der Entwicklung der Betriebsstunden ersichtlich (Abb. 25, unten).

Aufgrund der hohen spezifischen Betriebsstunden vieler Maschinenkategorien (z. T. 700–1200 h/a) ergeben sich für die Maschinengattung Industrie gesamthaft insgesamt 47,5 Mio. Betriebsstunden im Jahr 2005¹².

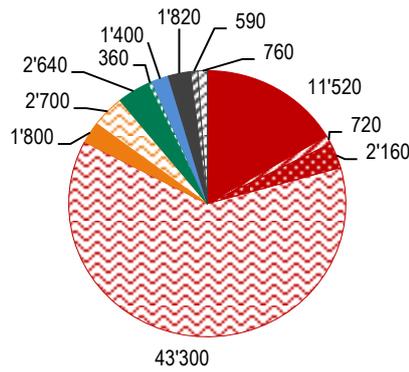
¹² Zum Vergleich: Baumaschinen waren im Jahr 2010 insgesamt 23,8 Mio. Stunden im Einsatz.

Abb. 25 > Industrie: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >1000 Maschinen.
 Bezugsjahr Bestände: 2010.

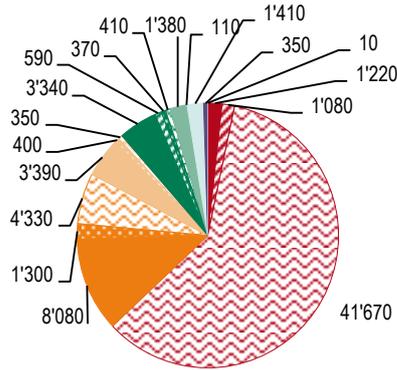
Bestände nach Kategorie

Total: 69'800



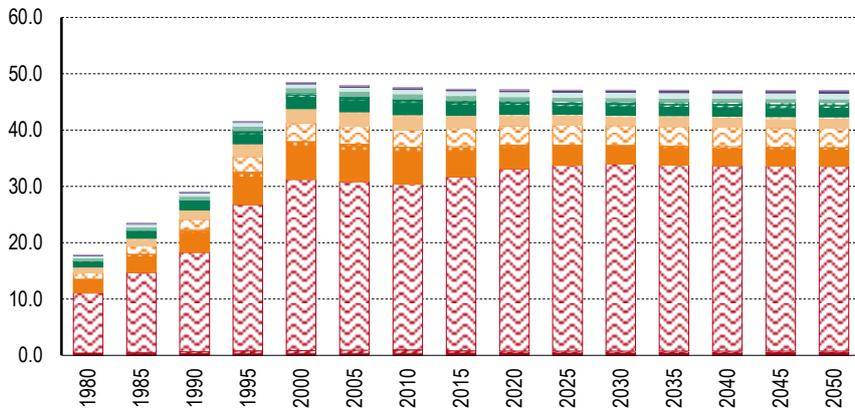
- Gabelstapler aller Art
- Hubarbeitsbühnen (Ind)
- Traktoren Ind
- Pistenfahrzeuge
- Restliche
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Flüssiggas
- Elektrizität

Bestände nach Leistungsklasse



- <18 kW
- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Flüssiggas
- Elektrizität

Mio. h/a



- <18 kW
- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Flüssiggas
- Elektrizität

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.3 Landwirtschaft

Das Mengengerüst der landwirtschaftlichen Maschinen wurde hauptsächlich basierend auf den Landwirtschaftlichen Betriebszählungen (1996, 2003, 2005 und 2010) hochgerechnet. Die Datengrundlage der MOFIS-Datenbank wurde auch herangezogen, konnte aber nur bedingt verwendet werden. Einerseits ist nur ein Teil der Maschinen immatrikuliert (insbesondere bei den kleinen Maschinen wie Einachsmähern und Einachstraktoren). Andererseits wird ein Teil der immatrikulierten Traktoren nicht für landwirtschaftliche Zwecke genutzt. Dies sind vor allem alte Oldtimertraktoren, aber auch Traktoren, die in der Forstwirtschaft und zur Bewirtschaftung öffentlicher Flächen (Wälder, Parkanlagen) eingesetzt werden. Letztere sind in der Kategorie «Seil- und Zangenschlepper» der Gattung Forstwirtschaft erfasst, die Oldtimertraktoren in der Kategorie «Traktoren (Hobby)».

6.3.1 Bestände

Wie Abb. 26 (oben links) zeigt, sind knapp die Hälfte der landwirtschaftlichen Maschinen benzinbetrieben. Vorwiegend sind dies Motorsägen (90'100) und Einachsmäher/Motoreinachser (55'700). Der Bestand an dieselbetriebenen Maschinen setzt sich zu 62 % aus Traktoren zusammen (105'000 Stück im Jahr 2010). Der Grossteil der Traktoren (65 %) hat eine Nennleistung zwischen 37–75 kW (Durchschnittswert über alle Leistungsklassen: 52 kW). Die Leistungsklassenverteilung verschiebt sich weiterhin Richtung grössere Traktoren, wegen der langen Lebensdauern allerdings recht langsam.

6.3.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

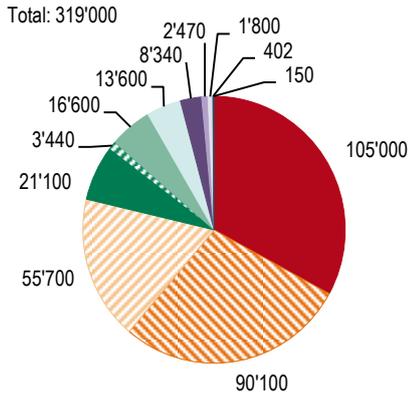
Ausgehend von den Einsatzstunden der landwirtschaftlichen Zugfahrzeuge bezogen auf die Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Kulturlächen (Ammann 2007), beziffert Agroscope die durchschnittliche jährliche Betriebsdauer der Traktoren mit 200 h/a (vgl. auch BAFU 2008). Diese Betriebsstunden stellen einen Mittelwert über die gesamte Traktorenflotte dar. Dabei sind auch die anzahlmässig stark verbreiteten alten Traktoren mit sehr wenigen Betriebsstunden berücksichtigt.

Insgesamt ist ein Rückgang der Betriebsstunden der landwirtschaftlichen Maschinen über die Zeit zu beobachten. Der wahrscheinliche Hauptgrund dafür ist der Trend zu mehr Lohnarbeit und damit zu grösseren Maschinen und einer Rationalisierung des Maschineneinsatzes. Weiter nimmt die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche langsam, aber kontinuierlich ab (2 % Abnahme zwischen 1990 und 2012, BfS 2012), was ebenfalls zum Rückgang der Aktivitäten beiträgt. Der Anteil der Fläche unter minimaler Bodenbearbeitung hingegen betrug im Jahr 2006 nur 1,1 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. 3 % der Ackerfläche (Ledermann und Schneider 2008) und hat daher nur einen geringen Einfluss auf die Aktivität landwirtschaftlicher Maschinen.

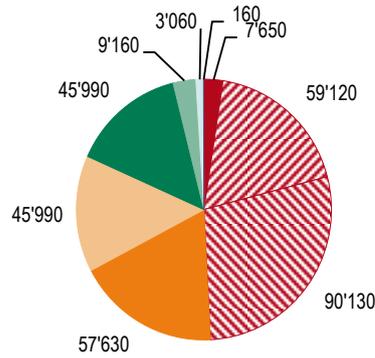
Abb. 26 > Landwirtschaft: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Bezugsjahr Bestände: 2010.

Bestände nach Kategorie

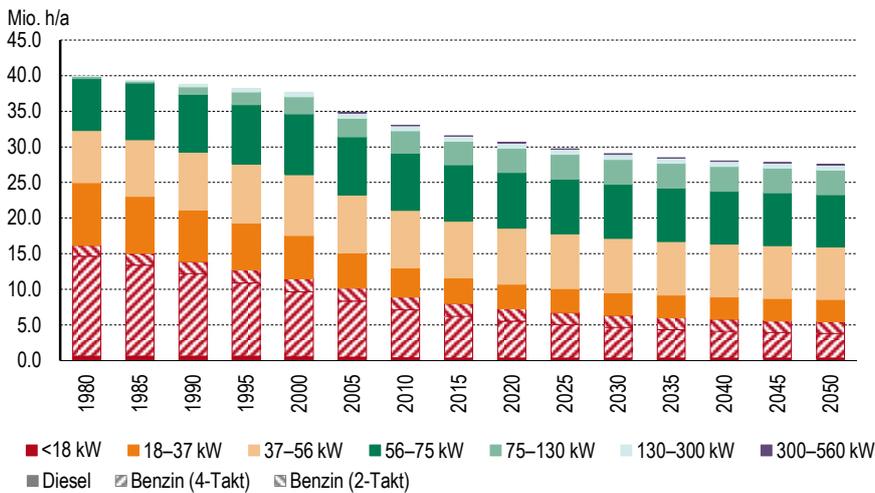


Bestände nach Leistungsklasse



- Traktoren LW
- Motorsägen LW
- Einachsmäher/Motoreinachsler
- Traktoren (hobby)
- Transporter & Ladewagen
- Zweiachsmäher
- Hoflader
- Mähdrescher
- Spritzenmaschinen
- Feldhäcksler
- Zuckerrübenvollernter
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

- <18 kW
- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.4 Forstwirtschaft

Zum Mengengerüst der forstwirtschaftlichen Maschinen gibt es in den Statistiken des BFS und der MOFIS-Datenbank nur vereinzelt Informationen. Das Mengengerüst beruht deshalb hauptsächlich auf Schätzungen der Experten der Expertengruppe sowie auf Angaben der Maschinenhersteller. Für grössere Maschinenkategorien sind aus den Statistiken des deutschen KWF (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.) Verkaufszahlen für die CH ab 2009 erhältlich (KWF 2012). Im Mengengerüst der forstwirtschaftlichen Maschinen sind Traktoren als Seil- und Zangenschlepper bezeichnet.

6.4.1 Bestände

Wie Abb. 27 (oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >100 Maschinen) zeigt, besteht der Grossteil der Maschinen in der Forstwirtschaft aus handgeführten, benzinbetriebenen Geräten (vorwiegend Motorsägen und Freischneidegeräte). Dieselbetriebene Maschinen kommen vor allem als Seil- und Zangenschlepper (= Traktoren) zum Einsatz.

6.4.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

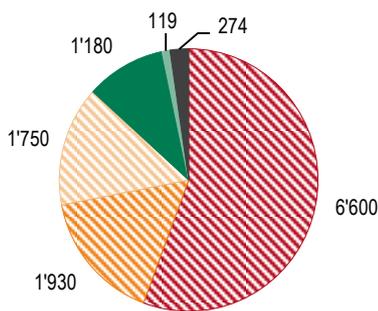
In Folge einer Rationalisierung der Arbeiten in der Forstwirtschaft kann seit 1990 eine deutliche Abnahme der gesamten Betriebsstunden festgestellt werden, wobei der Anteil der leistungsstarken Maschinen zunimmt (Abb. 27, unten). Ein weiterer Trend ist die zunehmende Verarbeitung von Holz zu Energieholz, was sich jedoch weniger bei den Betriebsstunden als beim Energiebedarf niederschlägt (vgl. Kap. 8.4).

Abb. 27 > Forstwirtschaft: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

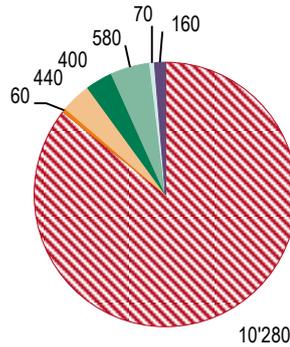
Darstellung oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >100 Maschinen.
 Bezugsjahr Bestände: 2010.

Bestände nach Kategorie

Total: 11'900



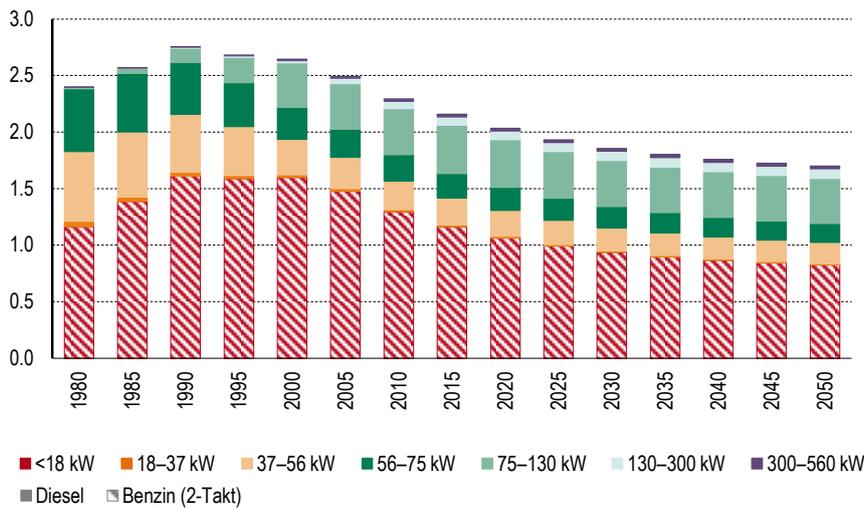
Bestände nach Leistungsklasse



- Motorsägen FW
- Freischneidegeräte
- Andere Kleingeräte
- Seil- und Zangenschlepper
- Tragschlepper und Klemmbankschlepper
- Restliche
- Diesel
- Benzin (2-Takt)

- <18 kW
- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- Diesel
- Benzin (2-Takt)

Mio. h/a



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.5 Gartenpflege/Hobby

Die Maschinengattung «Gartenpflege/Hobby» umfasst alle Kleingeräte, die sowohl im professionellen als auch im privaten (Hobby-) Bereich zum Einsatz gelangen. Neben Geräten für den Gartenunterhalt sind dies auch Motorschlitten, Schneefräsen, Reinigungsgeräte, Schleifgeräte und Bohrgeräte.

Das Mengengerüst dieser Maschinengattung wurde aufgrund der Angaben von Herstellern, Importeuren und Händlern von Kleingeräten und der Schätzung der Experten der Expertengruppe erstellt. Der mittlere Bestand ergab sich dabei aus dem Produkt der geschätzten Verkaufszahl und der mittleren Lebensdauer der Geräte. Die Betriebsstunden wurden mehrheitlich aus der Vorgängerstudie (BAFU 2008) übernommen und in Zusammenarbeit mit den Experten der Expertengruppe überprüft.

Für die Aufteilung der Bestände der Geräte mit Verbrennungsmotoren (vorwiegend benzinbetriebene Geräte) nach Motorentyp und Leistungsklasse diente die Unterscheidung in handgehaltene und nicht handgehaltene Geräte. Es wurde dabei angenommen, dass die handgehaltenen Geräte mit 2-Takt-Benzinmotoren betrieben werden und die nicht handgehaltenen Geräte mit 4-Takt-Benzinmotoren. Als Grundlage hierfür dienten die technischen Angaben der Hersteller und Importeure.

6.5.1 Bestände

Abb. 28 (oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >50'000 Maschinen) zeigt, dass Kleingeräte grossmehrheitlich für die Gartenpflege im Privatbereich angeschafft werden (Rasenmäher, Motorsensen etc.).

Die Motoren der Geräte sind mit Leistungen von weniger als 10 kW bzw. 20–50 ccm (2-Takt-Motoren) und 50–225 ccm (4-Takt-Motoren) sehr klein (Abb. 28, oben rechts). Ungefähr 60 % der Geräte werden elektrisch betrieben. Der Bestand der Geräte mit Verbrennungsmotor teilt sich etwa zu zwei Dritteln in 4-Takt- und zu einem Drittel in 2-Takt-Benzinmotoren.

6.5.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

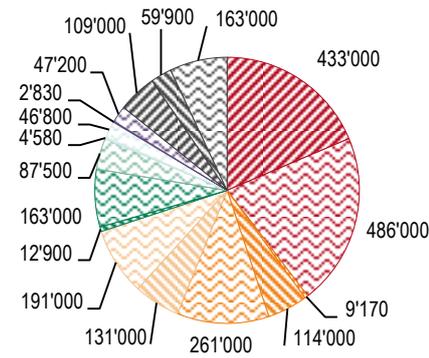
Die Entwicklung des Bestandes und der Betriebsstunden basiert auf der Schätzung der Experten der Expertengruppe. Demnach wurde zwischen 1980 und 2000 ein deutliches Wachstum der Bestände angenommen. Dieses Wachstum hat sich im Zeitraum 2000–2010 abgeschwächt. Die spezifischen Betriebsstunden der Geräte haben sich kaum verändert. Allerdings setzte ab dem Jahr 2000 der Boom der Rasenroboter ein, welche sehr hohe Betriebsdauern aufweisen und daher das Total der Betriebsstunden stark ansteigen liessen (Abb. 28, unten). Zukünftig wird als Folge strengerer Emissionsgrenzwerte und gesundheitlicher Überlegungen von einer weiteren Verschiebung der Bestandeseile Richtung Akku-betriebene Elektrogeräte, v. a. im professionellen Bereich, ausgegangen. Während die Zunahme der Akkugeräte im professionellen Bereich auf Kosten der Benzinmotoren geht, sind im Hobby-Bereich kabelbetriebene Elektrogeräte schon lange verbreitet; hier findet eher eine Verschiebung von Kabel- zu Akku-betriebenen Geräten statt.

Abb. 28 > Gartenpflege: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit einem Bestand >50'000 Maschinen.
 Bezugsjahr Bestände: 2010.

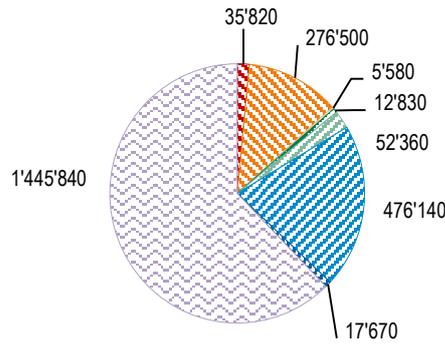
Bestände nach Kategorie

Total: 2'320'000



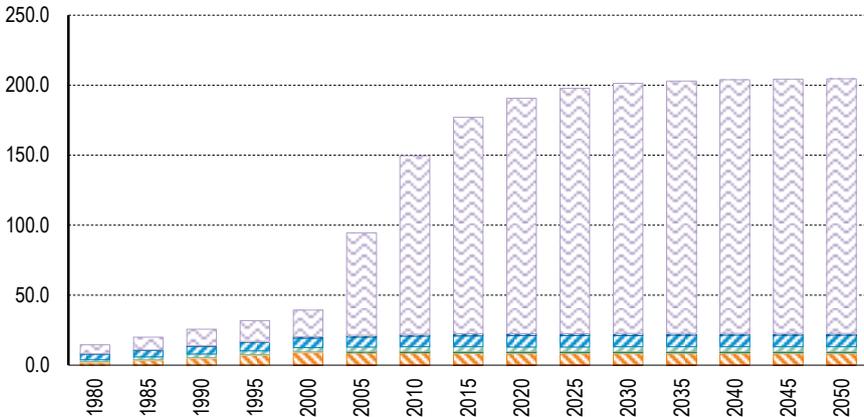
- Rasenmäher (hobby)
- Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)
- Motorsägen (hobby)
- Heckenscheren (hobby)
- Rasenroboter
- Vertikutierer (hobby)
- Häcksler (hobby)
- Restliche Kategorien (<50'000)
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)
- Elektrizität

Bestände nach Leistungsklasse



- <20 ccm
- 20-50 ccm
- >50 ccm
- <66 ccm
- 66-100 ccm
- 100-225 ccm
- >225 ccm
- Elektro-Geräte
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)
- Elektrizität

Mio. h/a



- <20 ccm
- 20-50 ccm
- >50 ccm
- <66 ccm
- 66-100 ccm
- 100-225 ccm
- >225 ccm
- Elektro-Geräte
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)
- Elektrizität

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.6 Schiffe

Die Bestände der Schiffe und Boote in der Schweiz sind dank der Statistiken des BFS, der kantonalen Ämter und des Landes Vorarlberg gut dokumentiert. In der Statistik des Landes Vorarlberg sind die Bootsbestände der gesamten Bodensee-Region differenziert nach Leistungsklassen erfasst. Weil keine entsprechende Statistik für Schweizer Seen besteht, wird die Grössenklassenverteilung am Bodensee als repräsentativ für Schweizer Seen angenommen. Die Aufteilung der Fahrgast-, Fähr- und Lastschiffe nach Grössenklassen erfolgte aufgrund der Angaben der Schifffahrtsunternehmen. Die Tatsache, dass viele Schiffe über mehrere Motoren verfügen, wurde über die Leistungsklassenzuteilung berücksichtigt. Bei den Rheingüterschiffen (in dieser Aktualisierung des Non-road-Inventars neu berücksichtigt) wird jedoch zwischen Haupt- und Hilfsmotoren unterschieden, indem sie als separate Maschinenkategorien ausgewiesen werden. Als Datengrundlage zu den Rheingüterschiffen dient eine Studie zu deren Emissionen (INFRAS 2012).

Die Betriebsstunden der Boote wurden durch die Experten der Expertengruppe geschätzt. Die Nutzung der Fahrgastschiffe basiert auf Angaben der Betreiber, die der Lastschiffe und Rheingüterschiffe auf den Angaben der Kantone Baselland und Baselstadt sowie INFRAS (2012).

6.6.1 Bestände

Wie Abb. 29 (oben links) zeigt, wird der Bestand der Schiffe dominiert von Miet- und Privatbooten sowie Segelbooten (85 %). Daneben waren im Jahr 2010 146 Fahrgastschiffe, 8 Fährschiffe und 244 Lastschiffe (ohne Rheingüterschiffe) und knapp 1000 Berufsfischerboote im Einsatz. Nicht aufgeführt in dieser Maschinengattung sind die militärischen Boote. Diese sind der Maschinengattung Militär zugeteilt (siehe Abschnitt 6.8) Der Bestand der Rheingüterschiffe lässt sich nicht beziffern, nur die Anzahl Fahrten (vgl. INFRAS 2012). Diese werden hier dem Bestand gleichgesetzt, was fast sicher zu einer Überschätzung des Bestandes, nicht aber der schlussendlich relevanten Gesamtbetriebsstunden führt.

6.6.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

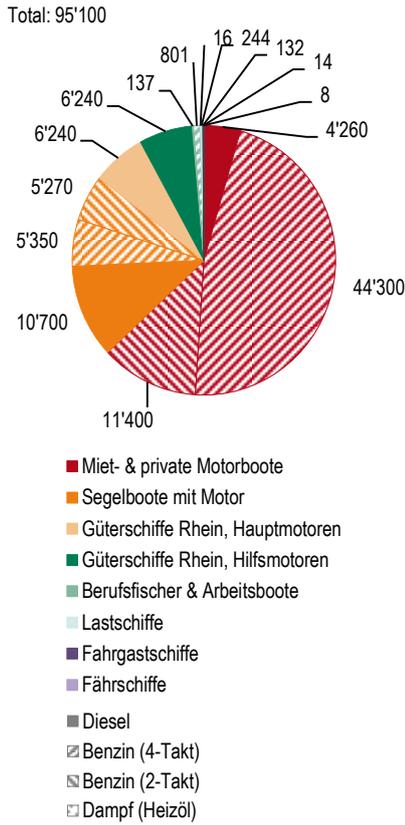
Innerhalb der Gattung Schiffe gibt es sehr grosse Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen jährlichen Betriebsstunden. Während Freizeitboote (Segelboote, Miet- und private Motorboote) nur selten zum Einsatz gelangen (durchschnittlich 30 h/a), haben professionelle Schiffe und Boote sehr hohe durchschnittliche Betriebsstunden: Berufsfischer und Arbeitsboote sowie Lastschiffe 500 h/a, Fahrgastschiffe 1200 h/a und Fährschiffe 3500 h/a. Für die Hauptmotoren der Rheingüterschiffe wird pro Fahrt auf dem Schweizer Abschnitt des Rheins von einer Fahrzeit von 1,5 Stunden ausgegangen; die Hilfsmotoren bleiben aber auch während dem Anlegen als Generatoren in Betrieb und werden pro Fahrt ca. 33 h benutzt (Zahlenwerte aus Tab. 51, Seite 180).

Wie Abb. 29 (unten) zeigt, ging der Anteil der Boote mit Benzinmotor in der Vergangenheit leicht zurück. Zukünftig werden keine grossen Veränderungen im Boots- und Schiffbestand erwartet.

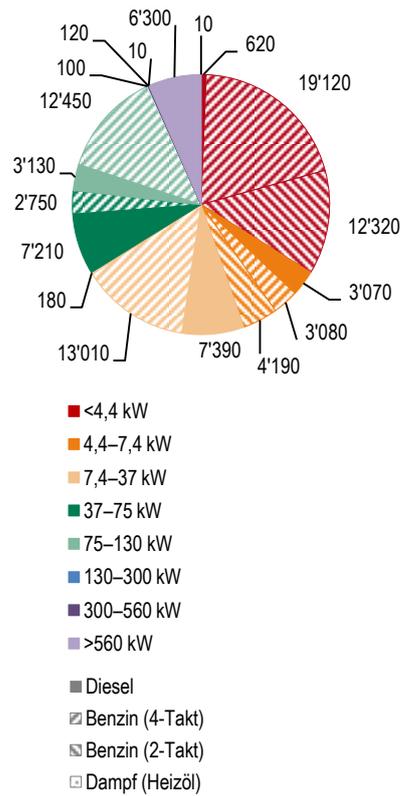
Abb. 29 > Schiffe: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Bezugsjahr Bestände: 2010.

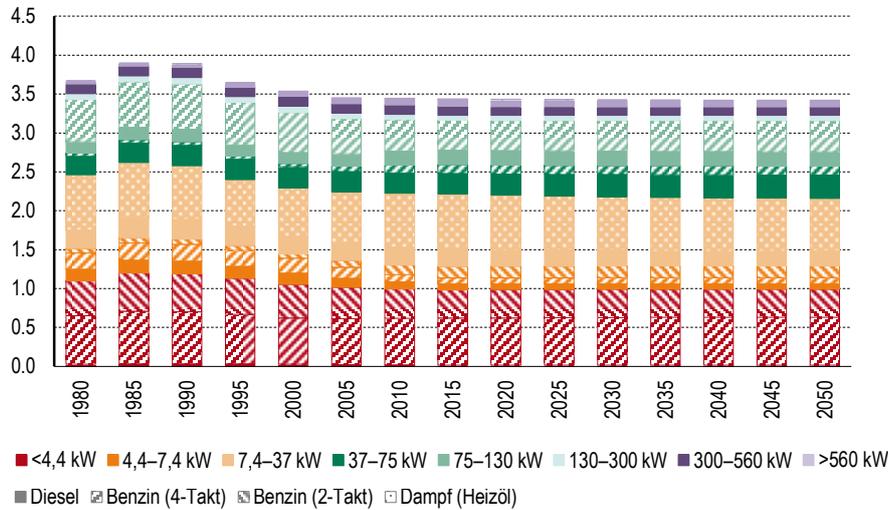
Bestände nach Kategorie



Bestände nach Leistungsklasse



Mio. h/a



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.7 Schiene

Die Schienenfahrzeuge mit Verbrennungsmotor umfassen in der Schweiz im Wesentlichen Rangierlokomotiven, Schienentraktoren und Zweikrafttraktoren (letztere lassen sich mit Diesel wie auch mit Elektrizität betreiben). Das Mengengerüst basiert auf den Geschäftsberichten (BLS 2012, SBB 2012) sowie weiteren Angaben von SBB und BLS.

Die im bisherigen Inventar (BAFU 2008) geführten Dienstwagen werden in der Statistik der Bahnunternehmen nicht mehr unterschieden und wurden in die Schienentraktoren integriert.

6.7.1 Bestände

Abb. 30 (oben links) zeigt, dass es sich bei den Schienenfahrzeugen mit Verbrennungsmotor im Schweizer Bahnsystem vorwiegend um Schienentraktoren handelt. Die Zahl der dieselbetriebenen Lokomotiven ist im Vergleich dazu relativ klein. Die Leistungen der dieselbetriebenen Schienenfahrzeuge sind verglichen mit den Leistungen von dieselbetriebenen Maschinen anderer Gattungen relativ hoch.

6.7.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

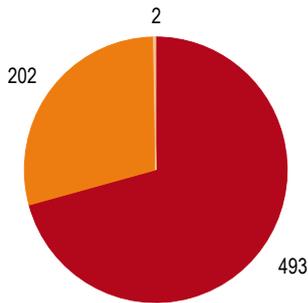
Der Bestand und die gesamten Betriebsstunden der dieselbetriebenen Schienenfahrzeuge haben in den letzten Jahren gemäss den Angaben der Betreiber stark abgenommen. Dafür wurden leistungsfähigere Fahrzeuge angeschafft. Dies zeigt sich auch an der Grössenklassenverteilung der dieselbetriebenen Schienenfahrzeuge (Abb. 30 unten).

Abb. 30 > Schiene: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

Bezugsjahr Bestände: 2010.

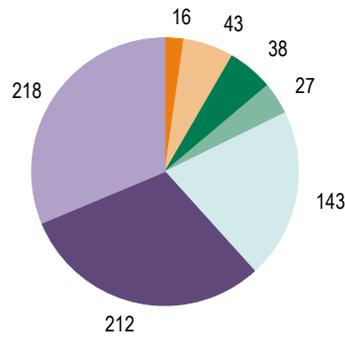
Bestände nach Kategorie

Total: 700



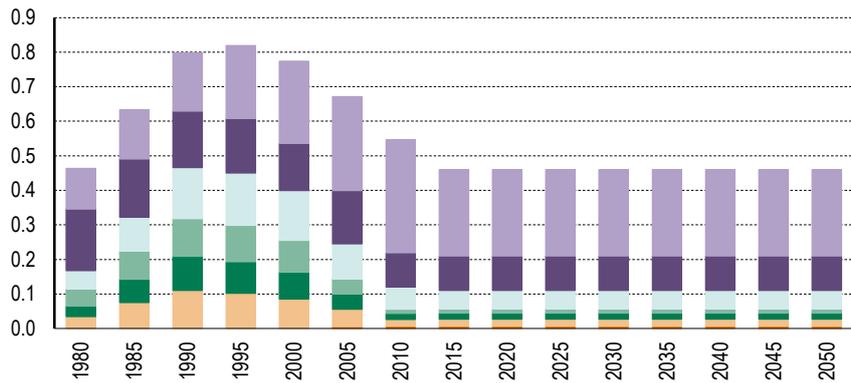
- Traktoren Schiene
- Rangierlokomotive
- Zweikrafttraktoren

Bestände nach Leistungsklasse



- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW

Mio. h/a



- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

6.8 Militär

Das Mengengerüst der Non-road-Kategorie Militär beruht auf den Angaben der militärischen Behörde (Logistikbasis der Armee, LBA). Der berücksichtigte Bestand entspricht dem gesamten Maschinenbestand des Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS); die spezifischen Betriebsstunden entsprechen dem Durchschnitt aller (genutzter und nicht genutzter) Fahrzeuge und Geräte. Die Betriebsstunden und Bestände liegen v. a. bei den Panzern und Baumaschinen um ein Mehrfaches über den Angaben im bisherigen Inventar (BAFU 2008). Die Werte wurden auch rückwirkend für die Jahre vor 2000 korrigiert. Die Ursachen der Diskrepanzen sind nicht bekannt, die aktuellen Zahlen wurden jedoch von der LBA bestätigt.

Gegenüber dem bisherigen Offroad-Inventar (BAFU 2008) werden neu die Generatoren des Militärs mitberücksichtigt. Zudem sind einige neue Maschinenkategorien (Unterstützungsbrücke 45m, Sortiment Lenzeinsatz, Sortiment Wassertransport) im aktuellen Inventar enthalten, welche aber nur kleine Bestände aufweisen.

6.8.1 Bestände

Die Maschinenbestände des Militärs werden zahlenmässig von den Generatoren dominiert (Abb. 31, oben links). Danach folgen die Panzerfahrzeuge, die sehr grosse Leistungen aufweisen (teilweise >560 kW). Mit Ausnahme von rund 80 % der Generatoren und einiger Boote sind alle Maschinen mit Dieselmotoren ausgestattet.

6.8.2 Betriebsstunden und deren zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Auch hinsichtlich der Betriebsstunden dominieren bei den militärischen Maschinen die Generatoren, gefolgt von den Panzerfahrzeugen. Bei letzteren wurden in den letzten zehn Jahren die Schützenpanzer fast vollumfänglich durch diverse Typen von Radpanzern ersetzt. Neu kamen seit 2000 die Aufklärfahrzeuge der Eagle-Familie hinzu.

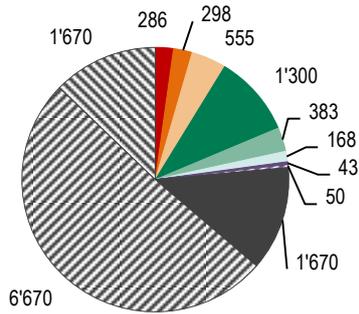
Gemäss den Angaben des Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) ist zukünftig mit einer leichten Abnahme der Aktivitäten der militärischen Maschinen zu rechnen.

Abb. 31 > Militär: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)

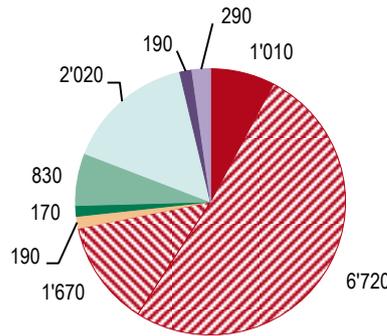
Darstellung oben links: Kategorien der Baumaschinen und Boote/Geräte zum Wassertransport zusammengefasst. Bezugsjahr Bestände: 2010.

Bestände nach Kategorie

Total: 13'100



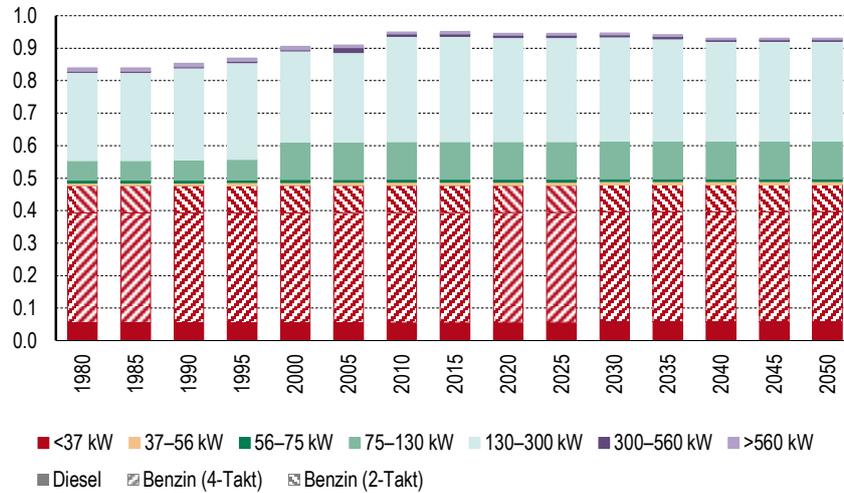
Bestände nach Leistungsklasse



- Leo Familie
- Pz Haubitze
- Schützenpanzer
- andere Panzer
- Aufklärfahrzeuge
- Baumaschinen Mil.
- Boote/Geräte Wassertransport
- Stromerzeugungsaggregate
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

- <37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

Mio. h/a



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 51, Seite 180

7 > Energieverbrauch und Schadstoffemissionen

7.1 Energieverbrauch im Jahr 2010

In Abb. 32 ist der Treibstoff- und Elektrizitätsverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010 gemäss Modellrechnung dargestellt. Es zeigt sich, dass Dieselöl der dominierende Energieträger im Non-road-Sektor ist (14,8 PJ im Jahr 2010). Der Verbrauch an Dieselöl ist mehr als siebenmal höher als der Benzinverbrauch. Vom Gesamtabsatz an Dieselöl in der Schweiz gemäss Energiestatistik (97,8 PJ, BFE 2011) entfallen demnach gut 15 % auf den Non-road-Sektor. Die verbleibenden 1,4 Mio. Tonnen werden vor allem durch den Strassenverkehr konsumiert (BAFU 2010).

Trotz der hohen Bestände und Betriebsstunden konsumieren Elektrogeräte mit 0,92 PJ/a nur rund 5 % der gesamten im Non-road-Sektor verbrauchten Energie. Dies liegt daran, dass die meisten Elektrogeräte im Gartenbereich eingesetzte Kleingeräte mit geringer Leistung sind. Die übrigen Non-road-Elektromotoren, die in der Industrie eingesetzten grösseren Elektrostapler und -Hubarbeitsbühnen, verbrauchen denn auch trotz ungleich kleinerer Bestände und geringerer Gesamtbetriebsstunden rund 87 % der im Non-road-Sektor konsumierten Elektrizität.

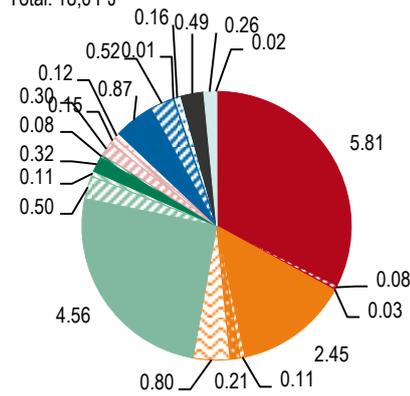
Innerhalb des Non-road-Sektors wird am meisten Energie durch Baumaschinen und landwirtschaftliche Maschinen verbraucht, nämlich 33 % resp. 29 % des gesamten Energieverbrauchs des Non-road-Sektors. Die Baumaschinen haben somit die Landwirtschaft seit der letzten Aktualisierung des Inventars (BAFU 2008) diesbezüglich überholt.

Abb. 32 > Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010 in PJ/a

Referenzjahr 2010.

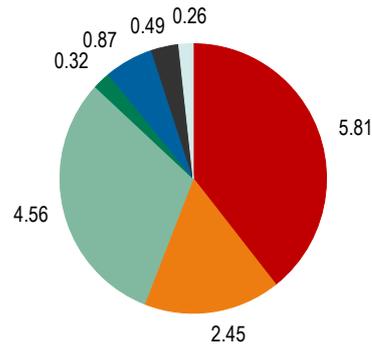
Gesamter Energieverbrauch

Total: 18,0 PJ



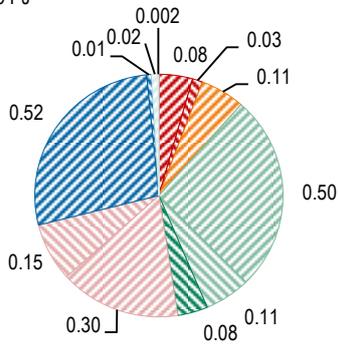
Dieserverbrauch

Total: 14,8 PJ



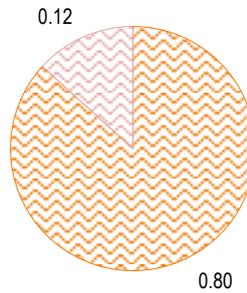
Benzinverbrauch

Total: 1,9 PJ



Elektrizitätsverbrauch

Total: 0,92 PJ



- | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ■ Baumaschinen | ■ Industrie | ■ Diesel | ■ Benzin (4-Takt) |
| ■ Landwirtschaft | ■ Forstwirtschaft | ■ Benzin (2-Takt) | ■ Flüssiggas |
| ■ Gartenpflege/Hobby | ■ Schiffe | ■ Dampf (Heizöl) | ■ Elektrizität |
| ■ Schiene | ■ Militär | | |

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinengattung, die Muster den Motortyp. Zahlenwerte s. Tab. 14, Seite 79

Tab. 14 > Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010

*Bestände und Betriebsstunden der Non-road-Quellgruppen im Jahr 2010.
Zahlen gerundet.*

Maschinengattung	Treibstoffverbrauch [t/a]			Elektrizitäts- verbrauch [GJ]	Energieverbrauch total [PJ]
	Diesel ¹³	Benzin	Flüssiggas		
Baumaschinen	135'800	2'561	-	-	5.92
Industrie	57'200	2'610	5'840	799	3.57
Landwirtschaft	106'700	14'390	-	-	5.18
Forstwirtschaft	7'460	1'770	-	-	0.39
Gartenpflege/Hobby	-	10'560	-	122	0.57
Schiffe	24'010	12'586	-	-	1.56
Schiene	11'500	-	-	-	0.49
Militär	5'990	426	-	-	0.27
Total Non-road-Sektor	348'700	44'900	5'840	921	18.0

7.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

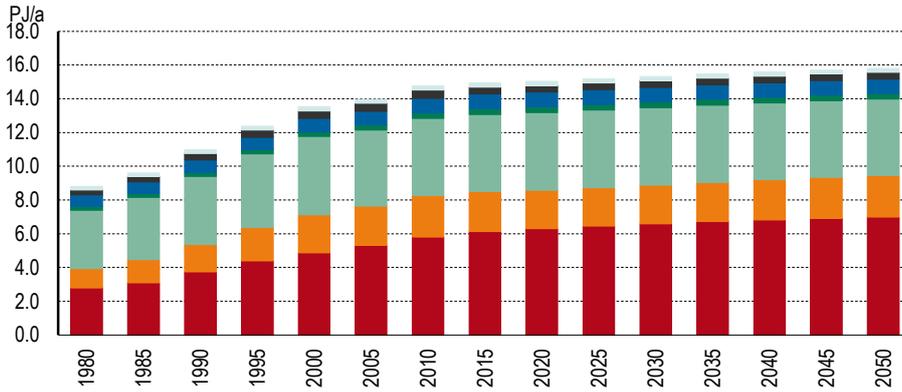
In Abb. 33 ist die Verbrauchsentwicklung für Diesel, Benzin und Elektrizität gemäss Modellrechnung dargestellt. Demnach ist der Dieserverbrauch des Non-road-Sektors zwischen 1980 und 2010 deutlich angestiegen. Für die kommenden Jahre wird ein weiterer, wenn auch langsamerer Anstieg des Verbrauchs prognostiziert. Der Benzinverbrauch wird voraussichtlich weiter rückläufig sein, weil insbesondere in der Landwirtschaft zukünftig weniger benzinbetriebene Maschinen zum Einsatz kommen werden, und im Bereich der Kleingeräte Benzinmotoren zunehmend mit Elektromotoren substituiert werden. Bei den Prognosen ist generell zu beachten, dass ihre Zuverlässigkeit abnimmt, je weiter in die Zukunft sie reichen (vgl. Kap. 4.2.2).

Die Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs hängt v. a. von der weiteren Entwicklung der Stapler ab, da diese den Löwenanteil der Elektrizität im Non-road-Bereich verbrauchen. Hier spielen drei unterschiedliche Entwicklungen zusammen: Der Staplerbestand ist seit 2000 leicht rückläufig – ein Trend, der aufgrund der zunehmenden Automation in der Logistik auch für die Zukunft unterstellt wird. Gleichzeitig nimmt innerhalb der Stapler der Anteil der Elektromotoren zu. Zusätzlich wird aufgrund der technologischen Entwicklung eine Verbesserung des Wirkungsgrades unterstellt (vgl. Tab. 42, Seite 170). Die Kombination dieser drei Trends sorgt insgesamt für einen prognostizierten leichten Rückgang des Elektrizitätsverbrauchs der Stapler bis 2050. Bei den elektrisch betriebenen Gartengeräten ist eine starke Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs zu beobachten; dieser Trend setzt sich in abgeschwächter Form in der Zukunft fort; ab 2020 sorgt überwiegt gemäss den Annahmen auch hier die Verbesserung des Wirkungsgrades die abflachende Aktivität und sorgt im Gesamten für eine ganz leichte Abnahme des Verbrauchs. Insgesamt wird aus diesen Gründen ein Rückgang des Elektrizitätsverbrauchs im Non-road-Sektor ab ca. 2020 erwartet.

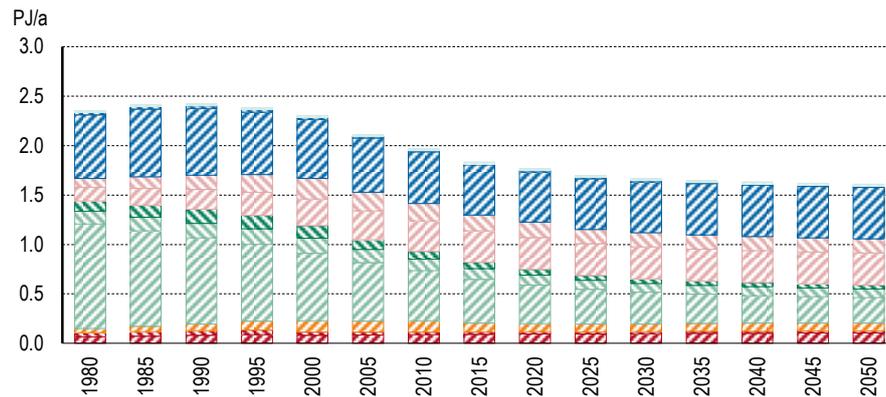
¹³ Bei Schiffen inkl. Heizöl für Dampfschiffe

Abb. 33 > Entwicklung des Energieverbrauch des Non-road-Sektors

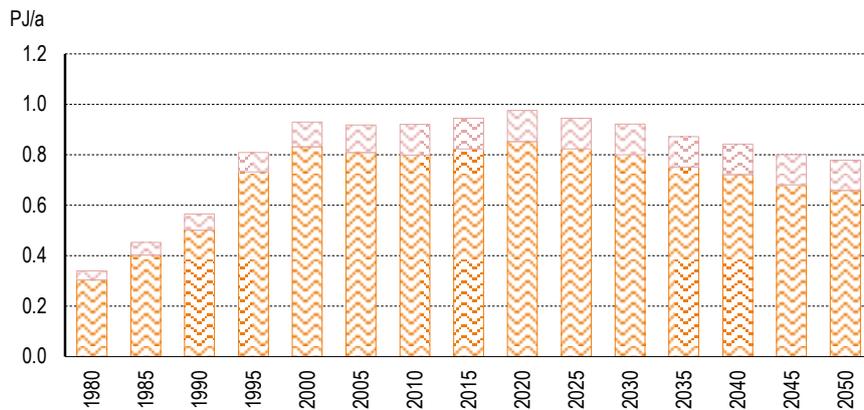
Dieserverbrauch



Benzinverbrauch



Elektrizitätsverbrauch



■ Baumaschinen ■ Industrie ■ Landwirtschaft ■ Forstwirtschaft ■ Gartenpflege/Hobby ■ Schiffe ■ Schiene ■ Militär
■ Diesel ■ Benzin (4-Takt) ■ Benzin (2-Takt) ■ Flüssiggas ■ Dampf (Heizöl) ■ Elektrizität

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinengattung, die Muster den Motortyp. Zahlenwerte s. Tab. 53, Seite 185

7.3 Emissionen im Jahr 2010

Abb. 34 zeigt die Anteile der verschiedenen Emittentengruppen an den Emissionen des Non-road-Sektors für die vier regulierten Luftschadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikelmasse (PM). Je nach Schadstoff sind unterschiedliche Maschinen- und Gerätegattungen die grössten Emissionsverursacher.

Beim Kohlenmonoxid (CO) und bei den Kohlenwasserstoffen (HC) wird der grösste Anteil der Emissionen durch Landwirtschaftsmaschinen verursacht. Zurückzuführen ist dies unter anderem auf die in der Landwirtschaft eingesetzten Einachsmäher, die eine relativ grosse Nennleistung und zudem sehr hohe Lastfaktoren aufweisen. Ferner haben die im Bereich Gartenpflege/Hobby eingesetzten Geräte insgesamt einen massgebenden Anteil an den CO- und HC-Emissionen des Non-road-Sektors. Dies hängt mit der grossen Verbreitung von Benzinmotoren in dieser Gerätegattung zusammen.

Bei den Stickoxiden (NO_x) sind die Baumaschinen und die Landwirtschaftsmaschinen mit Abstand die beiden grössten Emissionsquellen. Allerdings verursachen auch mobile Maschinen in der Industrie und Schiffe, sowie in kleinerem Ausmass die Schiene, einen relevanten Anteil an den NO_x-Emissionen des Non-road-Sektors.

Bei der Partikelmasse ist heute die Landwirtschaft mit Abstand die grösste Emissionsquelle. Noch 2005 verursachten die Baumaschinen ähnlich hohe Partikel-Emissionen wie die Landwirtschaftsmaschinen (BAFU 2008). Dank der in der Luftreinhalteverordnung festgeschriebenen Partikelfilterpflicht (in Kraft seit 2009) betrug die von den Baumaschinen ausgestossene Partikelmasse im Jahr 2010 nur noch rund einen Viertel der PM-Emissionen der Landwirtschaft.

Abb. 35 visualisiert die Anteile der verschiedenen Emittentengruppen an den Emissionen des Non-road-Sektors für nicht-regulierte Schadstoffe: Die Komponenten der Kohlenwasserstoffe Methan (CH₄), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) und Benzol (C₆H₆), sowie Lachgas (N₂O), Ammoniak (NH₃) und die Partikelanzahl (PN).

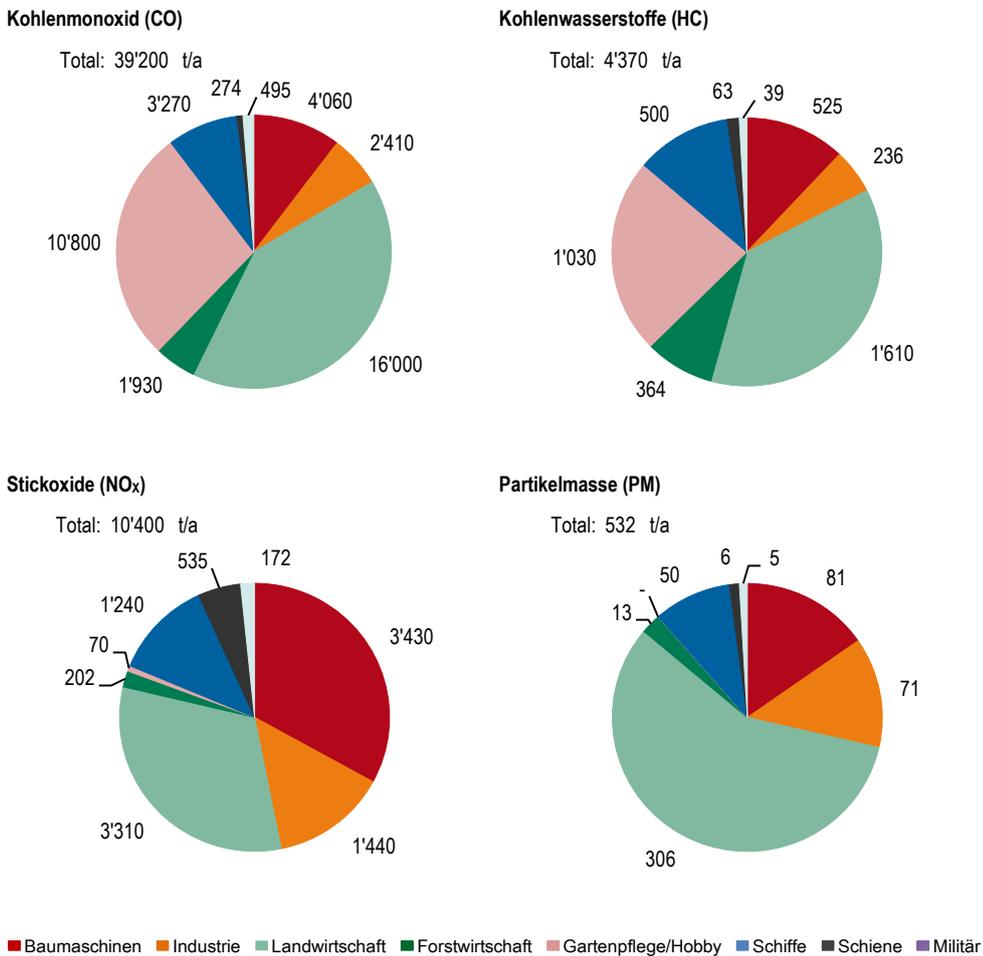
Bei den Komponenten der Kohlenwasserstoffe ist der Anteil der einzelnen Emittentengruppen am Total naturgemäss ähnlich wie bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen. Er unterscheidet sich aber dennoch leicht nach Komponente, da die Anteile einzelner Komponenten an den gesamten Kohlenwasserstoffen je nach Treibstoffart und Motor-technologie unterschiedlich sind. So tragen die Gartengeräte mehr zu den gesamten Methan-Emissionen bei als bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen, da bei den Gartengeräten 2-Takt-Benzinmotoren stark vertreten sind und diese höhere Methan-Konzentrationen in den Gesamt-Kohlenwasserstoff-Emissionen aufweisen (7 %) als 4-Takt-Benzin- und Dieselmotoren (3,4 % respektive 2,4 %). Bei den Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen tritt folglich der umgekehrte Effekt auf.

Beim Benzol tragen Gartengeräte und Landwirtschaft deswegen einen höheren Anteil zu den Gesamtemissionen bei als bei den Gesamt-Kohlenwasserstoffen, weil in diesen Gattungen allgemein viele Benzinmotoren eingesetzt werden, und diese mit 0.8 % Anteil an den Gesamt-Kohlenwasserstoffen auch nach der Einführung des tieferen

Benzol-Grenzwertes im Benzin im Jahr 2000 einen sehr viel höheren spezifischen Benzol-Ausstoss aufweisen als Dieselmotoren mit 0,15 % der Gesamt-Kohlenwasserstoffe.

Beim Lachgas sind die Baumaschinen die grössten Emittenten, gefolgt von Landwirtschaft und Industrie. Dies liegt daran, dass Diesel- und 4-Takt-Benzinmotoren, welche in diesen Gattungen am stärksten vertreten sind, rund dreimal höhere spezifische Emissionen aufweisen als 2-Takt-Benzinmotoren.

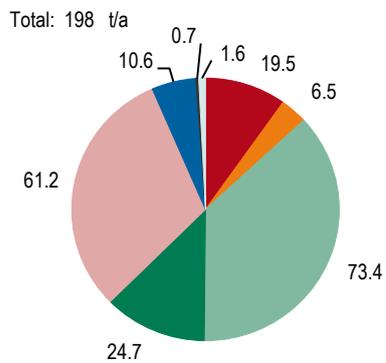
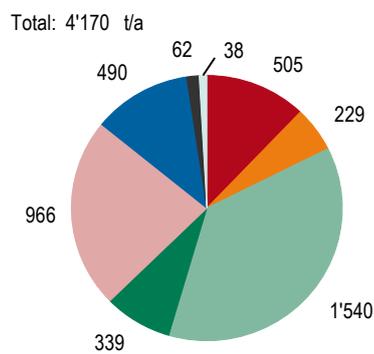
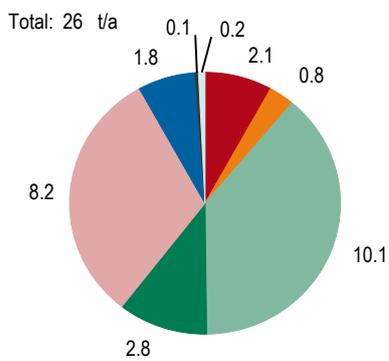
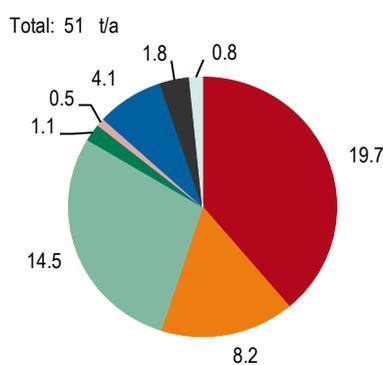
Abb. 34 > Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010



Zahlenwerte siehe Tab. 15

Tab. 15 > Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010*Zahlen gerundet.*

Maschinengattung	Kohlenmonoxid (CO) [t/a]	Kohlenwasserstoffe (HC) [t/a]	Stickoxide (NO _x) [t/a]	Partikelmasse (PM) [t/a]	Kohlendioxid (CO ₂) [t/a]
Baumaschinen	4'060	525	3'430	81	435'800
Industrie	2'410	236	1'440	71	203'200
Landwirtschaft	16'000	1'610	3'310	306	381'300
Forstwirtschaft	1'930	364	202	13	29'000
Gartenpflege/Hobby	10'800	1'030	70	-	33'200
Schiffe	3'270	500	1'240	50	115'000
Schiene	274	63	535	6	36'200
Militär	495	39	172	5	20'200
Total Non-road-Sektor	39'200	4'370	10'400	532	1'254'000

Abb. 35 > Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010**Methan (CH₄)****Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)****Benzol (C₆H₆)****Lachgas (N₂O)**

■ Baumaschinen ■ Industrie ■ Landwirtschaft ■ Forstwirtschaft ■ Gartenpflege/Hobby ■ Schiffe ■ Schiene ■ Militär

Zahlenwerte siehe Tab. 16.

Tab. 16 > Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010*Zahlen gerundet.*

Maschinengattung	Methan (CH ₄) [t/a]	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) [t/a]	Benzol (C ₆ H ₆) [t/a]	Lachgas (N ₂ O) [t/a]
Baumaschinen	20	505	2	20
Industrie	7	229	1	8
Landwirtschaft	73	1'540	10	14
Forstwirtschaft	25	339	3	1
Gartenpflege/Hobby	61	966	8	–
Schiffe	11	490	2	4
Schiene	1	62	–	2
Militär	2	38	–	1
Total Non-road-Sektor	198	4'170	26	51

7.4 Entwicklung der Emissionen

7.4.1 Relative Entwicklung der Emissionen

Die Entwicklung der Gesamtemissionen des Non-road-Sektors über alle Gerätegattungen ist aus Abb. 36 ersichtlich. Demnach fand bis zum Jahr 1995 ein Anstieg der Emissionen nahezu aller betrachteten Schadstoffe statt. Die Benzolemissionen nahmen wegen der Einführung des Benzol-Grenzwertes im Benzin im Jahr 2000 drastisch ab. Ab dem Jahr 2002, d. h. mit dem Inkrafttreten der ersten EU-Emissionsstufen (vgl. Anhang A3 ab Seite 146), stellte sich ein deutlicher Rückgang der Emissionen aller Schadstoffe mit Ausnahme des Kohlendioxids und des Lachgases ein. Am stärksten sind davon die Partikelemissionen betroffen, für die bis zum Jahr 2030 ein Rückgang auf 12 % und bis zum Jahr 2050 ein Rückgang auf 5 % des heutigen Wertes prognostiziert wird. Bezüglich der Partikelemissionen ist der Rückgang sowohl auf die schadstoffärmeren Motoren als auch auf die unterstellte zunehmende Marktdurchdringung von Partikelfiltern zurückzuführen (Annahmen gemäss Abb. 23).

Die Entwicklung der Kohlendioxidemissionen ist im Gegensatz zu den anderen Schadstoffemissionen wenig dynamisch. Im Wesentlichen folgt sie der Entwicklung der Betriebsstunden im Non-road-Sektor (Abb. 20).

Abb. 36 > Relative Entwicklung der Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors im Vergleich zu den Werten des Jahres 2010

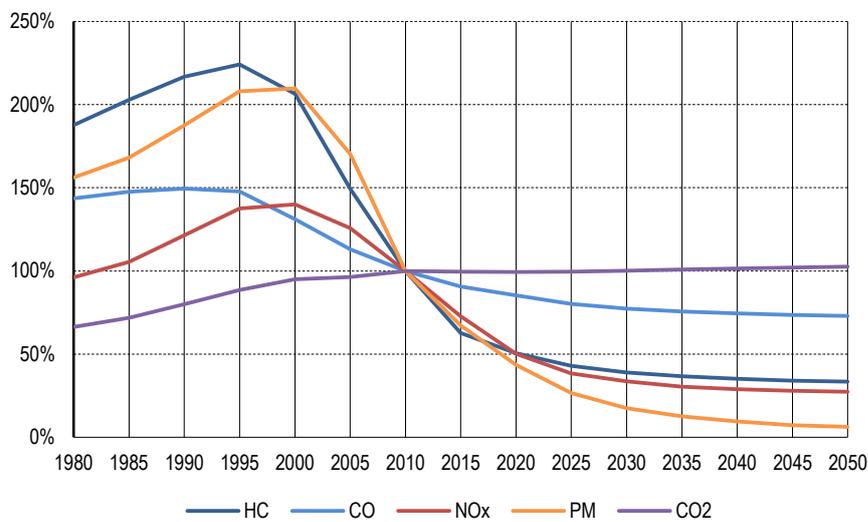
a) Relative Entwicklung der regulierten Luftschadstoffe und CO₂

b) Relative Entwicklung der nicht-regulierten Luftschadstoffe

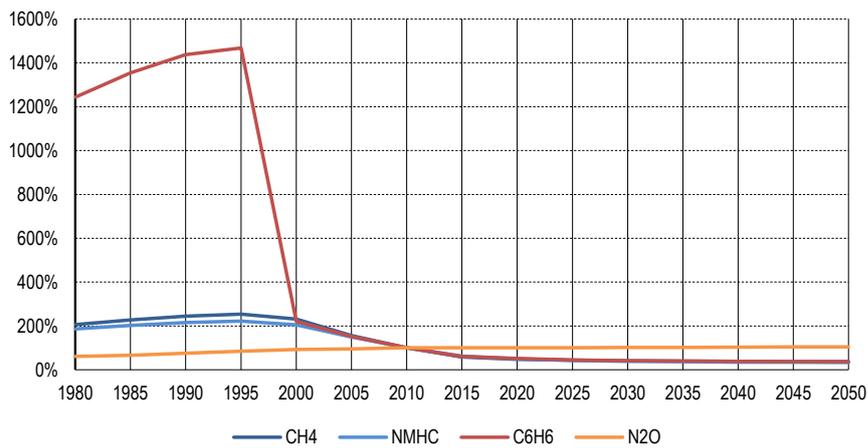
Die Entwicklung der Schadstoffemissionen ist auf das Jahr 2010 indiziert.

Der Entwicklung der Partikelemissionen (PM) ist eine Entwicklung des Bestandes an Maschinen, die mit Partikelfiltern nachgerüstet sind (gemäss Abb. 23), hinterlegt.

a)



b)



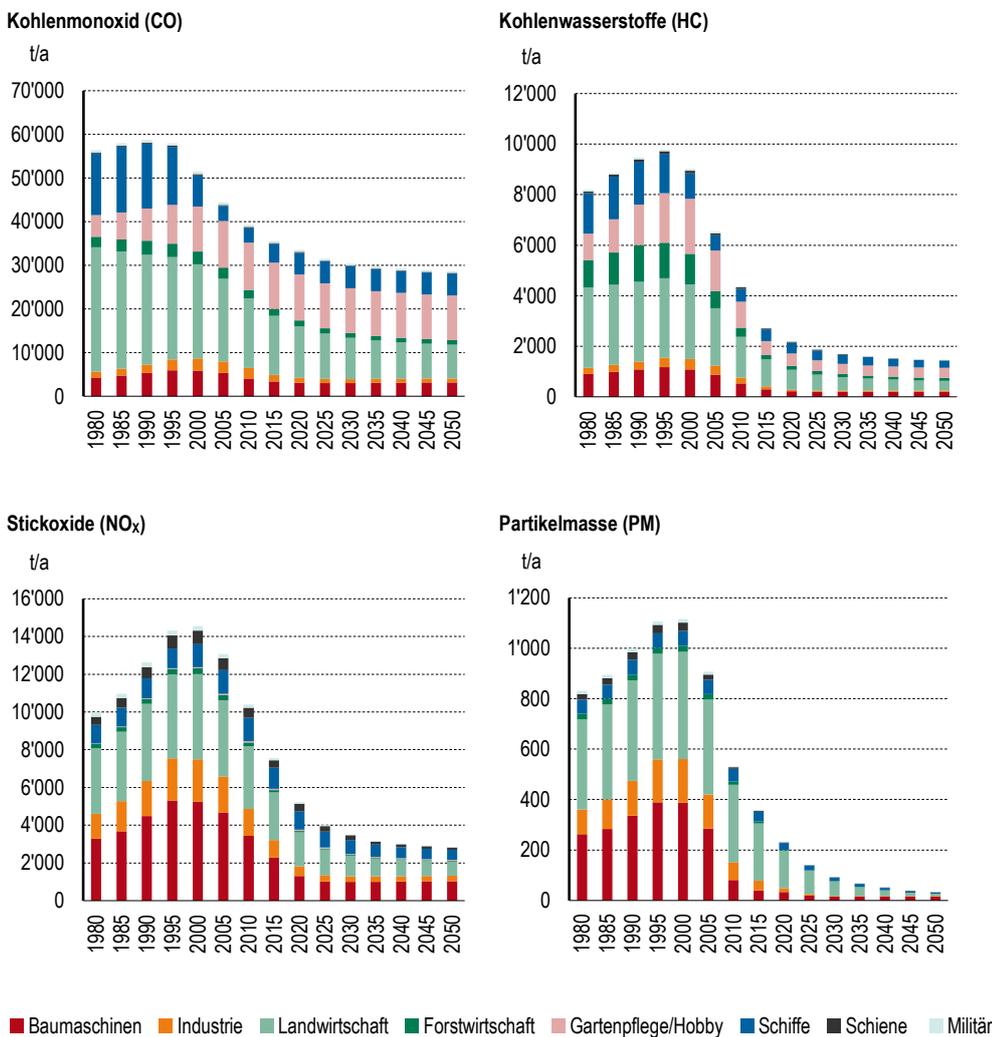
Zahlenwerte siehe Tab. 54 auf Seite 186

7.4.2 Entwicklung der Emissionen nach Gattungen

In Abb. 37 sind die Entwicklung der Schadstoffemissionen für die vier klassischen Schadstoffe (CO, HC, NO_x und PM₁₀) nach deren Verursacher dargestellt.

Abb. 37 > Entwicklung der Schadstoffemissionen

Entwicklung der Emissionen der regulierten Schadstoffe (1980–2050).



Zahlenwerte siehe Tab. 54 auf Seite 186

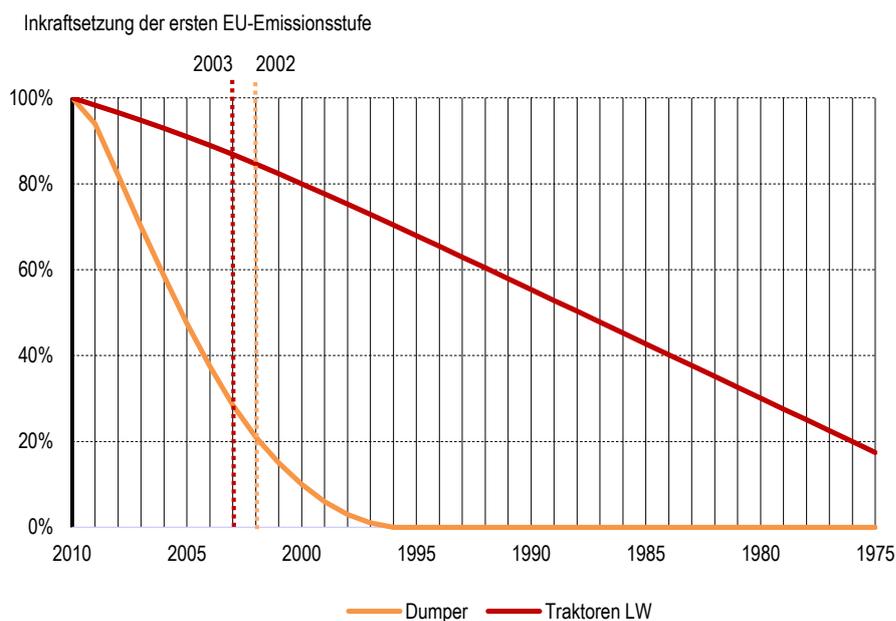
Grundsätzlich kann für alle aufgeführten Schadstoffe ein Rückgang der Emissionen in den kommenden Jahren erwartet werden. Der Rückgang der Kohlenmonoxidemissionen ist jedoch deutlich geringer als der der anderen Schadstoffemissionen. Zudem wird deutlich, dass der Rückgang der Schadstoffemissionen bei den einzelnen Maschinen- und Gerätegattungen unterschiedlich stark ausfällt. So nehmen die Partikelemissionen der Baumaschinen verglichen mit jenen der landwirtschaftlichen Maschinen deutlich stärker ab. Entsprechend wird zukünftig trotz absoluter Abnahme der relative

Anteil der landwirtschaftlichen Maschinen an den PM-Emissionen steigen. Für diese Entwicklung gibt es drei Ursachen:

- > Bei den Baumaschinen waren aufgrund der Bestimmungen der LRV (BAFU 2009) bereits im Jahr 2010 etliche Maschinen mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet (82 % der Maschinen >37 kW, vgl. Abb. 23), während landwirtschaftliche Maschinen bisher noch nicht in nennenswertem Umfang mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet worden sind. Die Nachrüstung landwirtschaftlicher Maschinen wird wahrscheinlich auch zukünftig eher langsam zunehmen, da eine Nachrüstungspflicht zurzeit nicht in Aussicht ist.
- > Der Baumaschinenbestand ist jünger als der Bestand der landwirtschaftlichen Maschinen, wie aus Abb. 38 ersichtlich ist. Entsprechend ist der Anteil an neueren und damit schadstoffärmeren Maschinen im Bausektor grösser als bei den landwirtschaftlichen Maschinen.
- > Die ersten EU-Emissionsgrenzwerte traten für Baumaschinen früher in Kraft als für landwirtschaftliche Maschinen. Zusammen mit der Tatsache, dass der Baumaschinenbestand jünger ist als der Bestand der landwirtschaftlichen Maschinen hatte dies zur Folge, dass im Jahr 2005 40 % meisten Baumaschinen-Kategorien EU-Emissionsgrenzwerte einhielten, während dies nur bei 8 % der Traktoren der Fall war (Abb. 38).

Abb. 38 > Altersverteilung der Baumaschinen und der landwirtschaftlichen Maschinen

Die durchgezogenen Linien stellen die Altersverteilungen dar, die punktierten Linien zeigen das Jahr der Inkraftsetzung der ersten EU-Emissionsstufe (bei den Baumaschinen 1 Jahr früher als bei den landwirtschaftlichen Maschinen). Achtung: Die punktierten Geraden für die Inkraftsetzung der Grenzwerte sind um ein Jahr verschoben (z. B. 2003 → 2002), weil auch der gesamte Bestand des Inkraftsetzungsjahres den Grenzwert erfüllen muss.



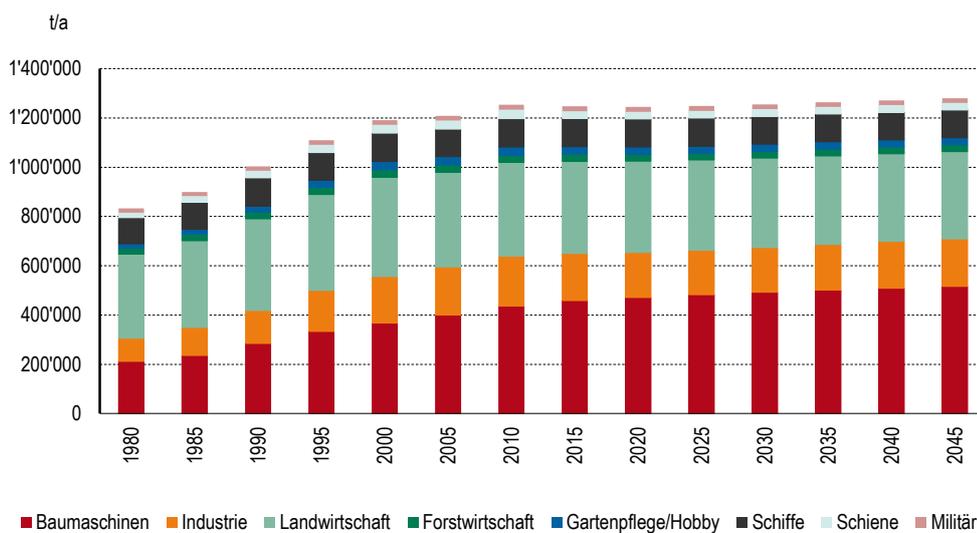
Lesbeispiel: Im Jahr 2010 erfüllten bereits 80 % der Dumper die EU-Stufe I (denn 80 % der Dumper waren weniger als 9 Jahre alt und wurden entsprechend nach Einführung der EU-Stufe I in Verkehr gesetzt)

7.4.3 Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen sind eine direkte Folge des Treibstoffverbrauchs und mit diesem unmittelbar gekoppelt. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren sind in Tab. 44 auf Seite 172 angegeben.

Der Ausstoss von Kohlendioxid (CO₂) des Non-road-Sektors betrug im Jahr 2010 rund 1,3 Mio. Tonnen. Dies entspricht 2,7 % der gesamten schweizerischen CO₂-Emissionen (45,9 Mio. t/a, BAFU 2014). Von 1990 bis 2010 hat der CO₂-Ausstoss des Non-road-Sektors um 25 % zugenommen. Für die kommenden Jahre bis 2050 wird zwar von nur geringem weiteren Wachstum ausgegangen, es ist aber auch kein nennenswerter Trend zu verbrauchsärmeren Maschinen erkennbar, wie dies beim Strassenverkehr der Fall ist (BAFU 2010).

Abb. 39 > Entwicklung der CO₂-Emissionen des Non-road-Sektors



Zahlenwerte siehe Tab. 54 auf Seite 186

8 > Energieverbrauch und Schadstoffemissionen der einzelnen Maschinengattungen

8.1 Baumaschinen

8.1.1 Energieverbrauch

Im Gegensatz zur Zusammensetzung des Baumaschinenbestandes dominieren beim Verbrauch die Raupenbagger sowie die Pneu- und Raupenlader, die zusammen für 54 % des Treibstoffverbrauchs verantwortlich sind (Abb. 40, oben). Die verschiedenen Bagger-Typen (Minibagger, d. h. Bagger <37 kW, sowie die grösseren Raupen- und Radbagger) verbrauchen zusammen 42 % der Energie der mobilen Baumaschinen. Motoren mit Benzinmotor spielen hinsichtlich des Verbrauchs im Bausektor eine untergeordnete Rolle.

8.1.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

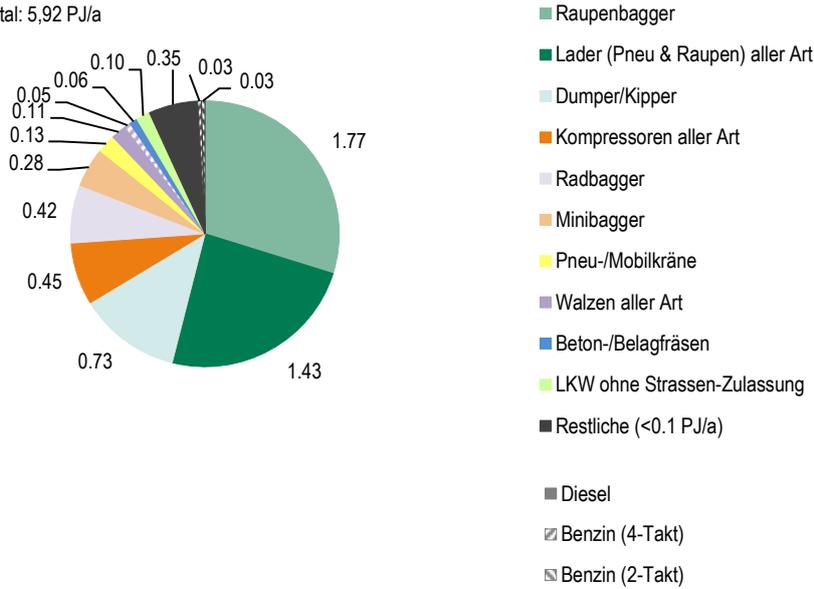
Die Entwicklung des Energieverbrauchs (Abb. 40, unten) zeigt eine deutliche Zunahme der Bedeutung von grossen Maschinen mit einer Leistung von mehr als 130 kW. Ihr Anteil am Gesamtverbrauch hat sich im Zeitraum von 1980 bis 2010 fast verdreifacht und wird bis 2050 voraussichtlich nochmals um 20 % zunehmen.

Abb. 40 > Baumaschinen: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

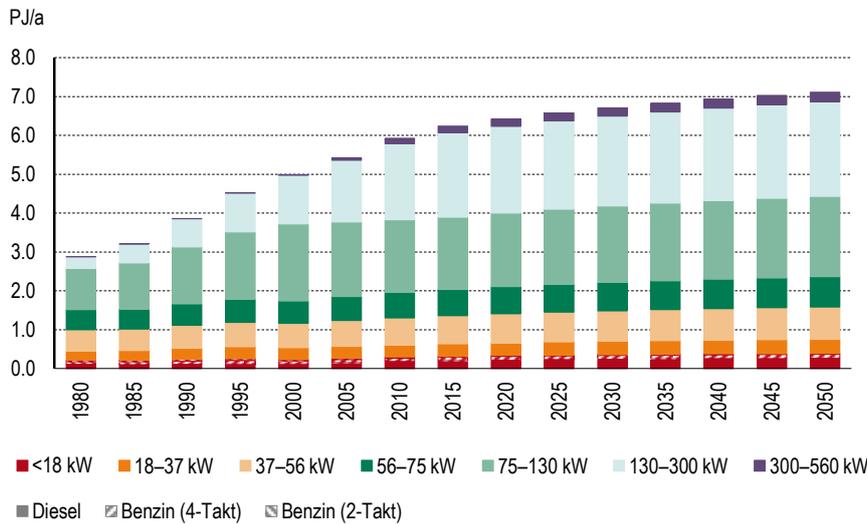
Darstellung oben: nur Kategorien mit einem Energieverbrauch ≥ 0.1 PJ, 2010.

Energieverbrauch (2010)

Total: 5,92 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 55, Seite 188

8.1.3 Emissionen

Auch hinsichtlich der Stickoxidemissionen (Abb. 41 oben links) dominieren die Raupenbagger sowie die Pneu- und Raupenlader. Bei der Partikelmasse liegen jedoch die Raupenbagger erst an dritter Stelle hinter den Ladern und den Minibaggern. Dies liegt daran, dass die Partikelfilterpflicht gemäss Luftreinhalte-Verordnung für grössere Maschinen strenger geregelt ist (Einführung für Maschinen 18–37 kW erst ab 2010, keine Partikelfilterpflicht für Maschinen <18 kW, vgl. BAFU 2009); auch die EU-Partikel-Grenzwerte liegen für kleinere Maschinen höher (vgl. Tab. 28, Seite 154).

8.1.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

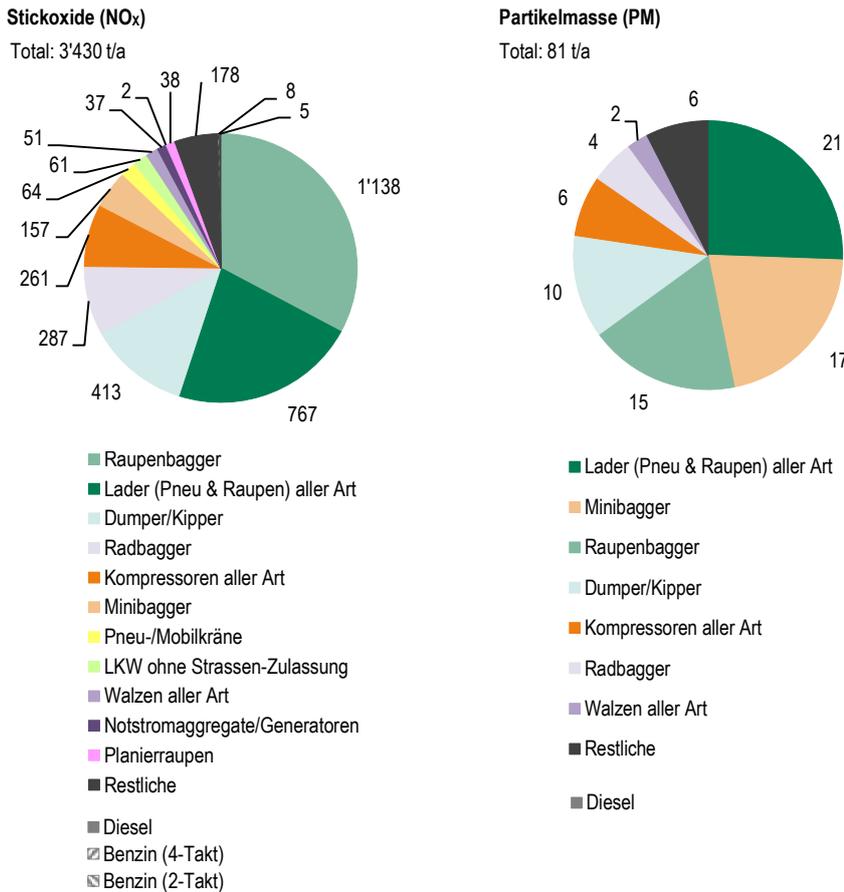
Die Stickoxidemissionen haben dank der europäischen Abgasvorschriften und dem Inkrafttreten der Luftreinhalte-Verordnung in den letzten Jahren deutlich abgenommen und werden in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter abnehmen (Abb. 41, unten links). Der Stickoxid-Ausstoss im Jahr 2050 wird demnach nur noch ein Viertel betragen. Strengen Grenzwerten werden vor allem grosse Maschinen (>75 kW) mit der Einführung der EU-Stufe IV ab dem Jahr 2014 unterliegen.

Noch besser stellt sich die Entwicklung bezüglich der Partikelemissionen dar (Abb. 41, unten rechts). Diese haben dank der Einführung der Luftreinhalte-Verordnung bereits stark abgenommen (allein in der Periode 2005–2010 um 28 %). Bis 2050 soll die ausgestossene Partikelmasse nur noch einen Fünftel des heutigen Wertes betragen. Einerseits statten schon während der Geltungsperiode der EU-Emissionsstufen Euro-III B und -IV viele Hersteller v. a. ihre grösseren Maschinen mit Partikelfiltern aus. Ab 2019/2020 soll die Stufe EU-V in Kraft treten, welche Partikelfilter für alle Maschinen zwischen 18 und 560 kW bedingen wird.

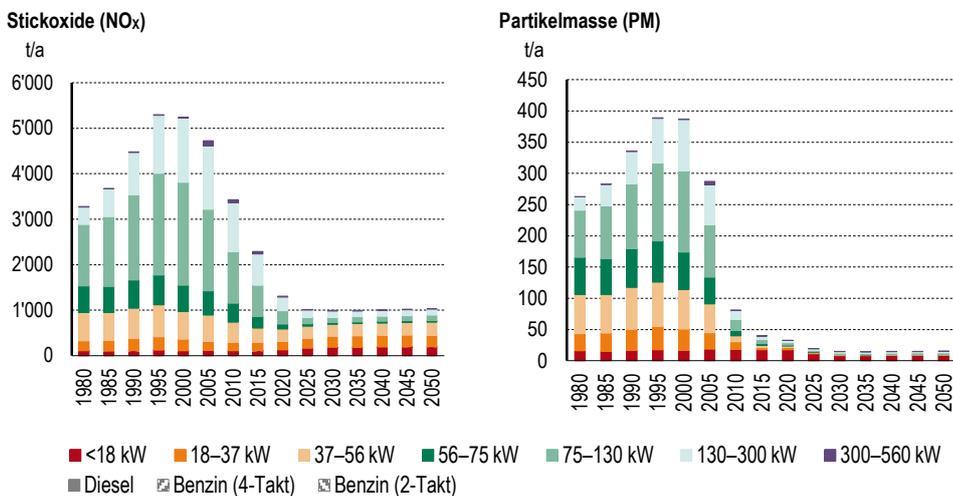
Abb. 41 > Baumaschinen: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit NO_x-Emissionen ≥35 t, 2010.

Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit PM-Emissionen ≥1 t, 2010.



Entwicklung der Emissionen



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 63, Seite 194

8.2 Industrie

8.2.1 Energieverbrauch

Über die Hälfte der von der Maschinengattung Industrie verbrauchten Energie wird für Gabelstapler verwendet (Abb. 42, oben). Für deren Antrieb wird neben Elektrizität, Diesel und Benzin auch Flüssiggas (mehrheitlich Propangas) eingesetzt. Die Pistenfahrzeuge, die nur knapp 4 % des Bestandes ausmachen, haben aufgrund ihrer überdurchschnittlichen Grösse einen hohen Gesamtverbrauch (1,02 PJ/a oder 29 % des Energieverbrauchs der Maschinengattung Industrie).

8.2.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

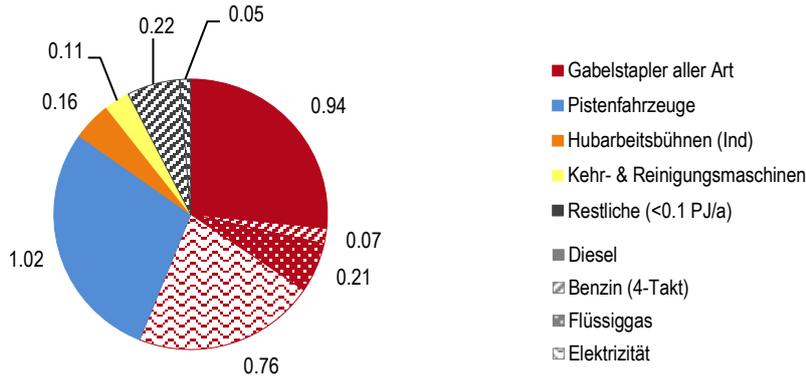
Der Treibstoffverbrauch der Maschinen in Industrie hat sich im Zeitraum zwischen 1980 und 2000 mehr als verdoppelt (Abb. 42, unten). Seit 2000 ist der Energieverbrauch aufgrund des Bestandes- und Betriebsstundenrückgangs der Stapler ebenfalls rückgängig. Dieser Trend wird sich gemäss Erwartungen in der Zukunft stabilisieren. Bei den Pistenfahrzeugen, den Maschinen und Geräten des Flughafenvorfelds und den Generatoren wird mit einer Zunahme des Energiebedarfs gerechnet, was sich in Abb. 42 (unten) v. a. durch die Zunahme bei den Grössenklassen ab 130 kW zeigt.

Abb. 42 > Industrie: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

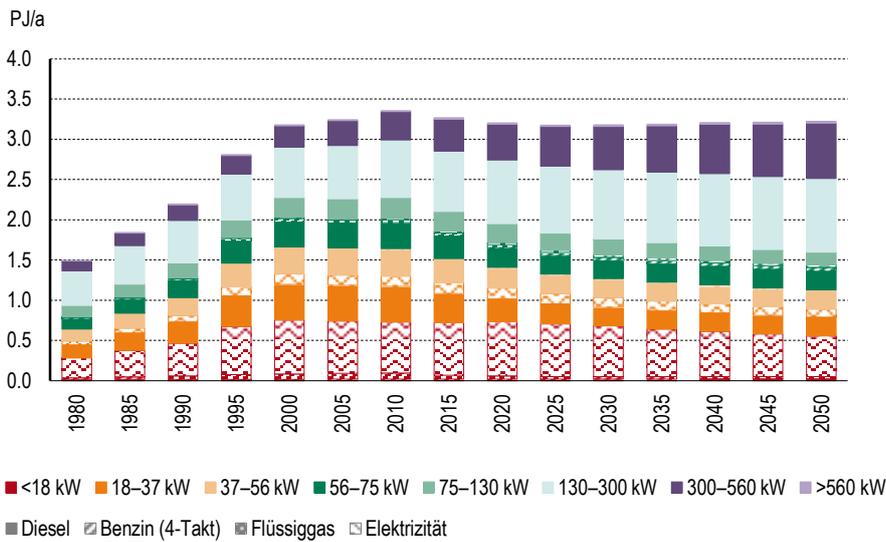
Nur Kategorien mit einem Energieverbrauch ≥ 0.1 PJ, 2010.

Energieverbrauch (2010)

Total: 3,57 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 56, Seite 189

8.2.3 Emissionen

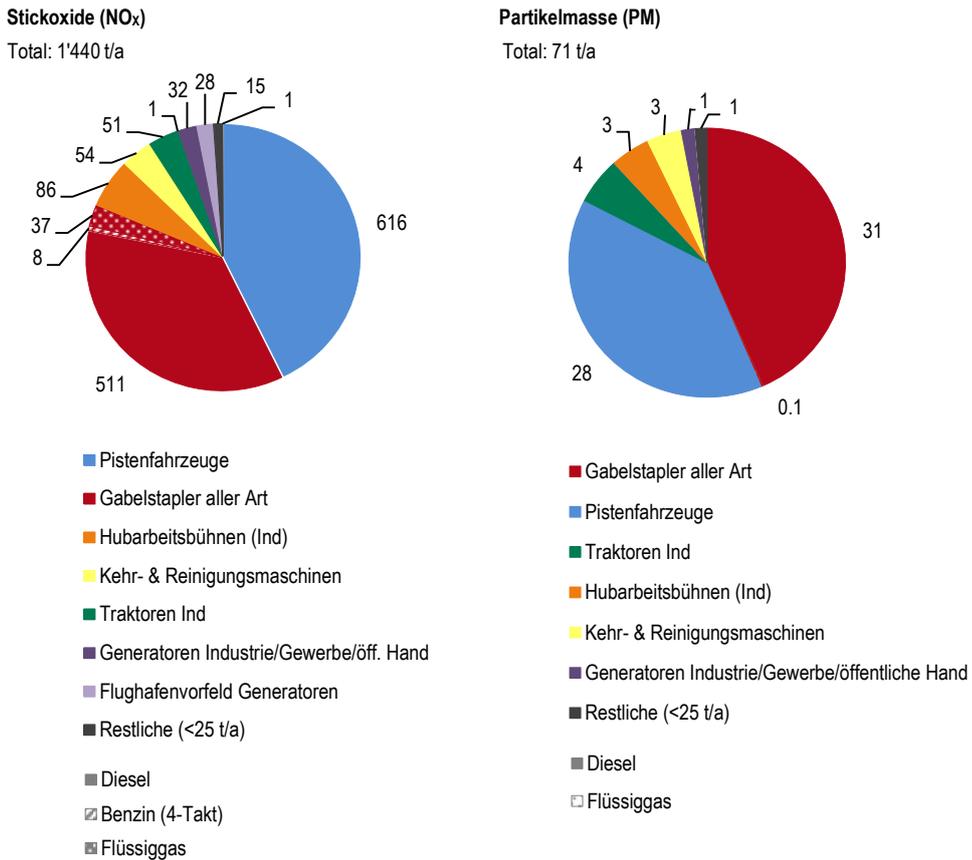
In Abb. 43 (oben) sind die Schadstoffemissionen nach Maschinenkategorie dargestellt. Es fällt auf, dass der Anteil der Gabelstapler an den Partikelemissionen deutlich höher ist als an den Stickoxidemissionen. Dies hat zwei Ursachen: Zum einen ist das durchschnittliche Alter der Gabelstapler relativ hoch (9 Jahre, Pistenfahrzeuge im Vergleich nur 7 Jahre). Zum anderen sind die Motoren der Gabelstapler relativ klein, d. h. die spezifischen Partikelemissionen sind entsprechend hoch, denn die spezifischen Partikelemissionen sind im Gegensatz zu den spezifischen Stickoxidemissionen bei kleinen Motoren deutlich höher als bei grossen Motoren. Hinzu kommt, dass die grossen Maschinen gemäss Modellannahmen im Jahr 2010 bereits zu 60 % mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet waren. Dieser Anteil wurde entsprechend demjenigen der Baumaschinen angenommen. Die einzige Ausnahme sind die Pistenfahrzeuge, von denen 2010 erst rund 2 % mit Partikelfiltern ausgestattet sind (basierend auf der MOFIS-Datenbank sowie SBS 2014).

8.2.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

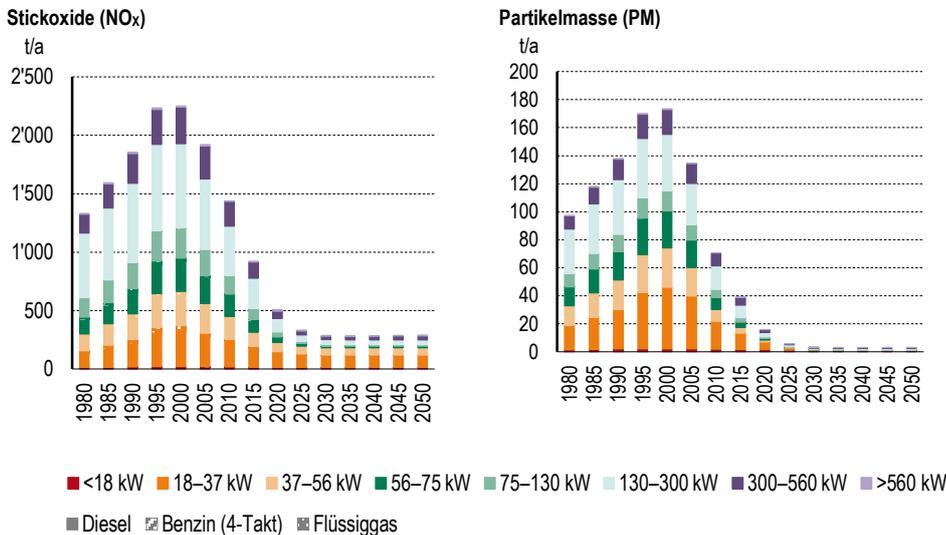
Die Entwicklung der Schadstoffemissionen der industriellen Maschinen verläuft in etwa analog zu den Emissionen der Baumaschinen (Abb. 43 unten). Der Rückgang in den kommenden Jahren ist noch etwas deutlicher, da Aktivitäten und Energieverbrauch nicht wie bei den Baumaschinen zunehmen, sondern im Gesamten ebenfalls leicht zurückgehen.

Abb. 43 > Industrie: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit NO_x-Emissionen ≥ 25 t, 2010.
 Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit PM-Emissionen ≥ 1 t, 2010.



Entwicklung der Emissionen



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 64, Seite 200

8.3 Landwirtschaft

8.3.1 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch landwirtschaftlicher Maschinen belief sich im Jahr 2010 auf ca. 5,19 PJ/a. Davon entfielen 72 % auf Traktoren (Abb. 44 oben). Für 88 % des Energieverbrauchs sind Dieselmotoren verantwortlich. 4-Takt-Benzinmotoren (v. a. Einachsmäher) verursachen etwa 10 % und 2-Takt-Benzinmotoren (Motorsägen) rund 2 % des Energieverbrauchs.

8.3.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

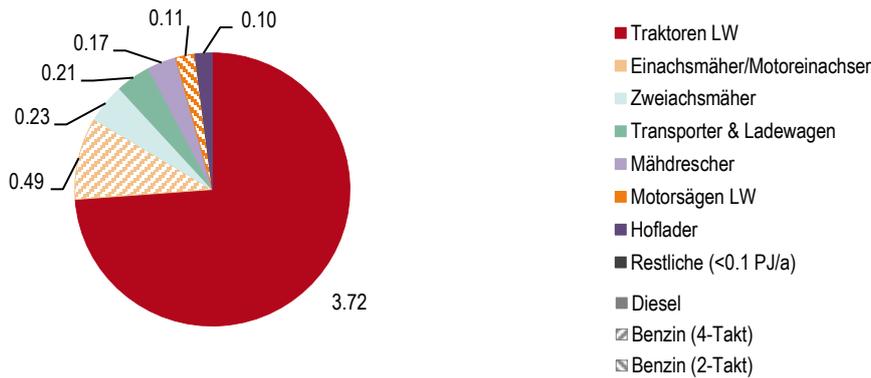
Der Energieverbrauch hat bis zum Jahr 2000 zugenommen und ist seither rückläufig (Abb. 44 unten). Dieser Trend wird sich gemäss den Erwartungen in Zukunft aufgrund Effizienzsteigerungen und dem weiteren Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche fortsetzen. Der Dieserverbrauch nahm bis zum Jahr 2000 noch zu, der Benzinverbrauch ist bereits seit 1980 rückläufig.

Abb. 44 > Landwirtschaft: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

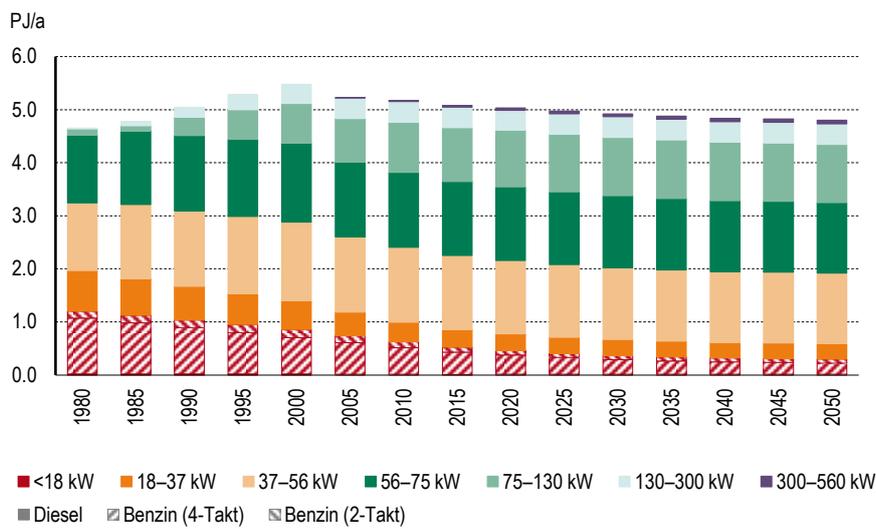
Darstellung oben: nur Kategorien mit einem Energieverbrauch ≥ 0.1 PJ, 2010.

Energieverbrauch (2010)

Total: 5,18 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 57, Seite 190

8.3.3 Emissionen

Die Partikelemissionen landwirtschaftlicher Maschinen beliefen sich im Jahr 2010 auf gut 300 t (Abb. 45, oben rechts). Dies ist mehr als das Vierfache der Partikelemissionen der Baumaschinen, obwohl der Dieseltreibstoffverbrauch der landwirtschaftlichen Maschinen nur 79 % des Verbrauchs der Baumaschinen beträgt. Diese Diskrepanz beruht auf dem hohen durchschnittlichen Alter der landwirtschaftlichen Maschinen, der späteren Einführung von Abgasnormen für landwirtschaftliche Maschinen sowie der bisher fehlenden Nachrüstung landwirtschaftlicher Maschinen mit Partikelfilter.

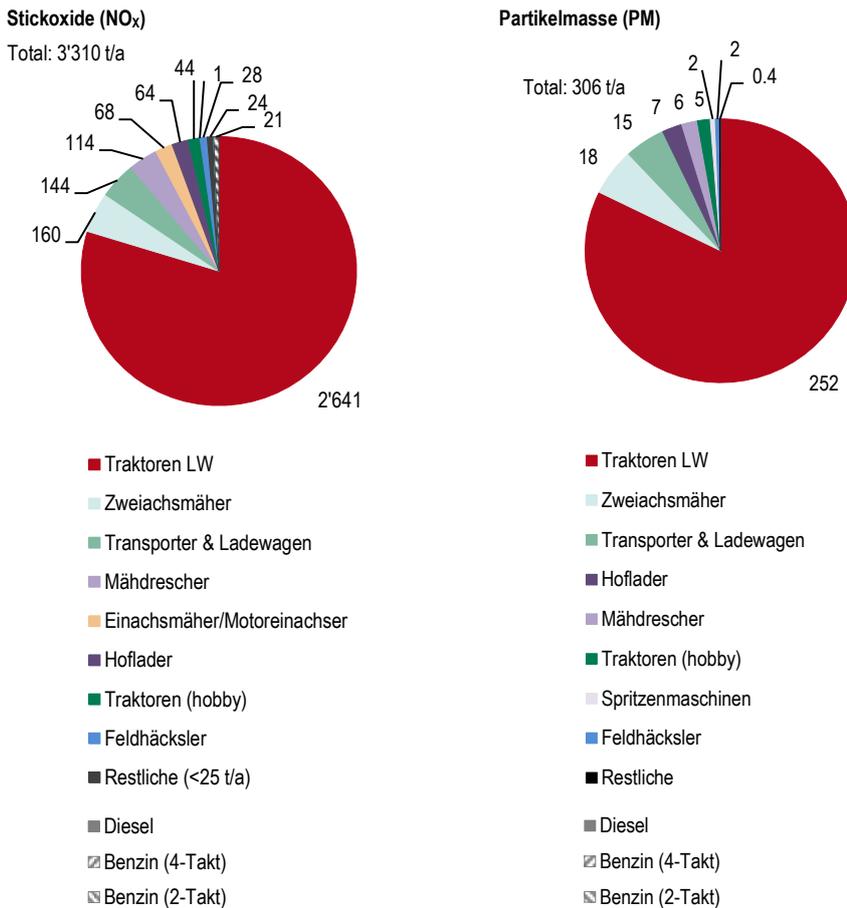
8.3.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

Aus den oben genannten Gründen werden die Schadstoffemissionen landwirtschaftlicher Maschinen in den nächsten Jahren deutlich weniger stark abnehmen als die der anderen Maschinengattungen. Trotzdem wird es zwischen 2010 und 2020 aufgrund der europäischen Abgasvorschriften zu einer Halbierung des Schadstoffausstosses kommen (Abb. 45, unten).

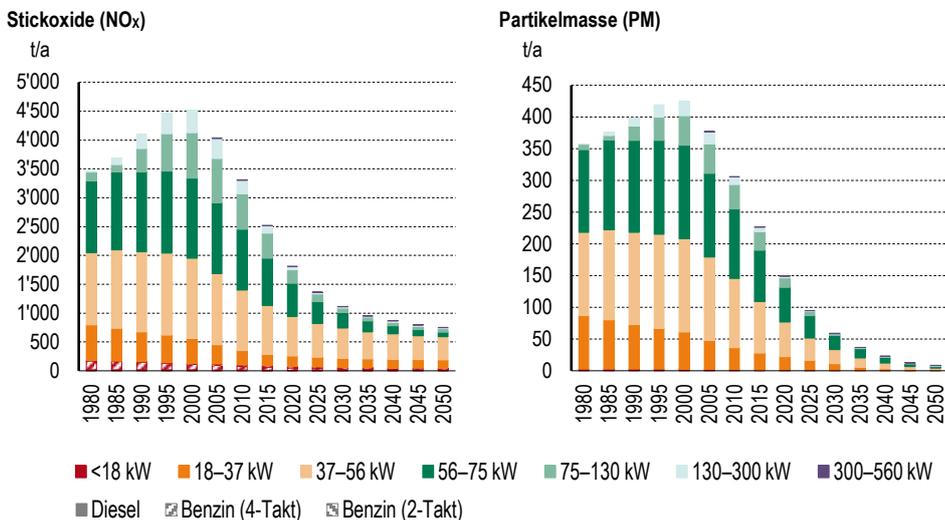
Abb. 45 > Landwirtschaft: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit NO_x-Emissionen ≥35 t, 2010.

Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit PM-Emissionen ≥1 t, 2010.



Entwicklung der Emissionen



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 65, Seite 204

8.4 Forstwirtschaft

8.4.1 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch forstwirtschaftlicher Maschinen belief sich im Jahr 2010 auf 0,39 PJ, wovon ca. ein Fünftel Benzin war (Abb. 46, oben). Wichtigste Kategorie in Hinblick auf den Verbrauch sind Seil- und Zangenschlepper (in der Forstwirtschaft eingesetzte Traktoren) mit 0,16 PJ/a (Diesel), gefolgt von den Motorsägen mit 0,06 PJ/a (Benzin).

8.4.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

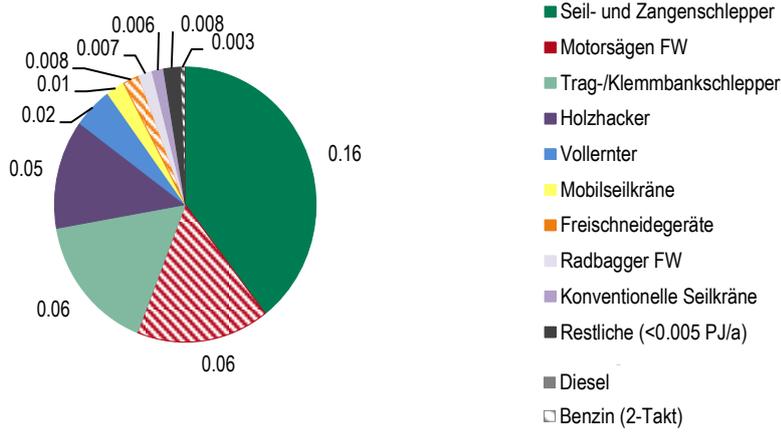
Die Verbrauchsentwicklung (Abb. 46, unten) zeigt einen leichten Rückgang des Energieverbrauchs seit 2000 sowie eine markante Verschiebung von kleinen Motoren hin zu Motoren grosser Leistung. Zu erwähnen ist ebenfalls der Trend zur zunehmenden Verarbeitung von Holz zu Energieholz, was sich beim Energieverbrauch der Holzacker zeigt und signifikant zum Gesamtenergieverbrauch der Maschinengattung Forstwirtschaft beiträgt (Abb. 46 oben, sowie Grössenklassen 75–560 kW unten).

Abb. 46 > Forstwirtschaft: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

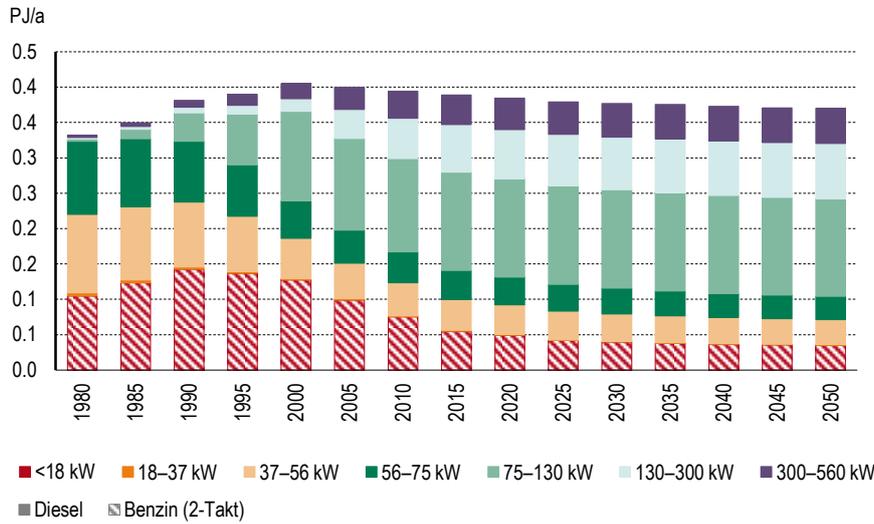
Darstellung oben: nur Kategorien mit einem Energieverbrauch ≥ 0.005 PJ, 2010.

Energieverbrauch (2010)

Total: 0,39 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 58, Seite 190

8.4.3 Emissionen

In Abb. 47, oben sind die Stickoxid- und Partikelemissionen der forstwirtschaftlichen Maschinen im Jahr 2010 dargestellt. Diese werden in erster Linie von Maschinen mit Dieselmotor verursacht. Nicht dargestellt sind die Kohlenwasserstoffemissionen, die bei forstwirtschaftlichen Maschinen aufgrund der vielen Geräte mit 2-Takt-Motor überdurchschnittlich hoch sind (364 t/a). Forstwirtschaftliche Maschinen sind damit (bei 2 % des Energieverbrauchs) zu 9 % für die gesamten Kohlenwasserstoffemissionen des Non-road-Sektors verantwortlich.

8.4.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

Die Verschiebung hin zu grossen Maschinen wirkt sich positiv auf die Entwicklung der Schadstoffemissionen forstwirtschaftlicher Maschinen aus, weil grosse Motoren strenger Grenzwerten unterliegen. Entsprechend werden die Stickoxid- und Partikelemissionen in den nächsten Jahren deutlich rückläufig sein (Abb. 47, unten).

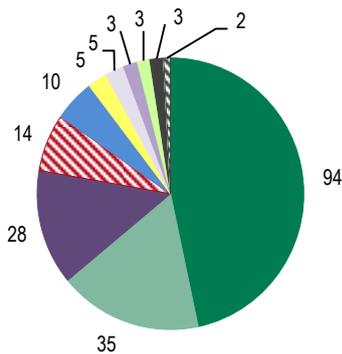
Abb. 47 > Forstwirtschaft: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit NO_x-Emissionen ≥ 3 t, 2010.

Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit PM-Emissionen ≥ 1 t, 2010.

Stickoxide (NO_x)

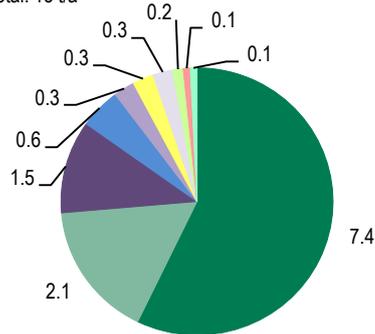
Total: 202 t/a



- Seil- und Zangenschlepper
- Trag-/ Klemmbankschlepper
- Holzhacker
- Motorsägen FW
- Vollernter
- Mobilseilkräne
- Radbagger FW
- Konventionelle Seilkräne
- Entrindungsmaschinen
- Restliche (<3 t/a)
- Diesel
- Benzin (2-Takt)

Partikelmasse (PM)

Total: 13 t/a

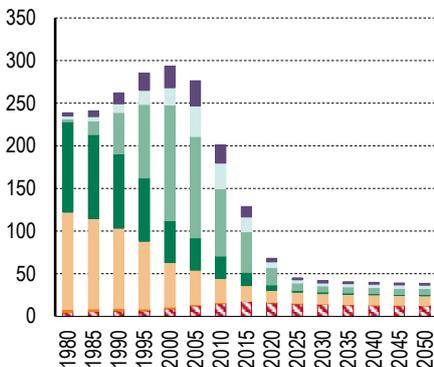


- Seil- und Zangenschlepper
- Trag-/Klemmbankschlepper
- Holzhacker
- Vollernter
- Konventionelle Seilkräne
- Mobilseilkräne
- Radbagger FW
- Entrindungsmaschinen
- Prozessoren
- Kombiseilgeräte
- Diesel

Entwicklung der Emissionen

Stickoxide (NO_x)

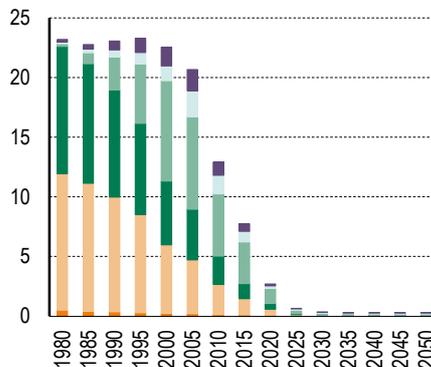
t/a



- <18 kW
- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- Diesel
- Benzin (2-Takt)

Partikelmasse (PM)

t/a



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 66, Seite 207

8.5 Gartenpflege/Hobby

8.5.1 Energieverbrauch

Die Maschinengattung «Gartenpflege/Hobby» umfasst nur elektrische und Benzinbetriebene Geräte. Elektrogeräte verbrauchen trotz ihrer Dominanz in den Beständen nur etwa 20 % der Energie dieser Maschinengattung. Im Vergleich der Maschinenkategorien bilden die Hobbyrasenmäher zusammen mit professionell eingesetzten Motorsensen die wichtigsten Verbraucher. Im Übrigen wird der Energieverbrauch von Geräten dominiert, die in der professionellen Gartenpflege zum Einsatz gelangen (Abb. 48, oben) – im Gegensatz zu den Beständen, wo die Hobby-Geräte dominieren (vgl. Kap. 6.5.1).

8.5.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

Bei der Verbrauchsentwicklung (Abb. 48, unten) zeigt sich im Gegensatz zur Entwicklung der Betriebsstunden (Abb. 28, unten) eine deutliche Abflachung der Zunahme ab dem Jahr 2000. Die Zunahme der Betriebsstunden ist v. a. durch den Boom der Rasenroboter mit sehr langen Betriebsdauern begründet; da die Rasenroboter aber sehr kleine Leistungen aufweisen (um 25 W), schlägt sich dies nicht im Energieverbrauch nieder. Auch die Substitution von Benzin- mit Akkugeräten im Profibereich sorgt für eine langsamere Zunahme des Energiebedarfs, da die Elektrogeräte tendenziell kleinere Leistungen und einen höheren Wirkungsgrad aufweisen. Innerhalb der Benzingeräte verlieren 2-Takt-Motoren weiter an Bedeutung.

8.5.3 Emissionen

Bei Benzinmotoren sind in Bezug auf die Schadstoffemissionen vor allem die Kohlenmonoxid- und die Kohlenwasserstoffemissionen von Bedeutung (Abb. 49, oben). Die Kohlenwasserstoffemissionen werden zu 71 % von 2-Takt-Motoren verursacht, obwohl ihr Anteil am Energieverbrauch der Geräte mit Verbrennungsmotor nur 26 % beträgt. Entsprechend führen die vorwiegend mit 2-Takt-Motoren betriebenen Motorsensen und Motorsägen die Rangliste der Kohlenwasserstoff-Emissionen vor den 4-Takt-betriebenen Rasenmähern, welche die meisten Kohlenmonoxid-Emissionen verursachen.

8.5.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

In den kommenden Jahren ist mit einem deutlichen Rückgang der Kohlenwasserstoffemissionen zu rechnen, weil wegen der strengeren EU-Abgasgrenzwerte von neuen Motoren weniger Kohlenwasserstoffe emittiert werden (Abb. 49, unten rechts). Diese Grenzwertverschärfung, hat zudem zur Folge, dass anstelle von 2-Takt- vermehrt 4-Takt-Motoren produziert werden und infolgedessen der Bestand an 2-Takt-Motoren weiter rückläufig sein wird. Beim Kohlenmonoxid ist bis zur Einführung der Emissionsstufe EU-V kein Rückgang, sondern sogar eine leichte Zunahme zu erwarten; erst mit Einführung der Stufe EU-V um 2019–2020 werden die Emissionen leicht zurückgehen (Abb. 49, unten links).

8.5.5 Benzol-Emissionen und Einfluss des Alkylatbenzins

Die im Bereich Gartenpflege/Hobby eingesetzten Kleingeräte stossen, wenn sie mit herkömmlichem Benzin betrieben werden, verhältnismässig hohe Mengen des toxischen und karzinogenen Luftschadstoffs Benzol aus. Der Benzol-Ausstoss der Maschinengattung Gartenpflege/Hobby beträgt rund 8 t/a im Jahr 2010. Mit dem Einsatz von Alkylatbenzin, auch bekannt als Gerätebenzin, lassen sich diese Emissionen stark vermindern (BUWAL 1997, BUWAL 1999). Eine Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (INFRAS 2008) schätzt, dass Alkylatbenzin den Benzol-Ausstoss um 96 % reduziert.

Wird angenommen, dass 80 % der professionellen Anwender von Kleingeräten (inklusive der Anwender in Land- und Forstwirtschaft) bei 2-Takt-Benzingeräten, welche für die höchsten Benzol-Emissionen verantwortlich sind, Alkylatbenzin einsetzen, so können rund 11,2 t Benzol-Emissionen vermieden werden. Dies entspricht 43 % der gesamten Benzol-Emissionen des Non-road-Sektors (vgl. Tab. 4).

Im Hobby-Sektor ist das Reduktionspotential aufgrund des geringeren Treibstoffverbrauches kleiner: Liessen sich 50 % der Hobby-Nutzer von Kleingeräten überzeugen, bei 2-Takt-Geräten Alkylatbenzin zu verwenden, so würde dies einer Einsparung von rund 0,5 t oder 1,9 % des gesamten Benzol-Ausstosses des Non-road-Sektors entsprechen.

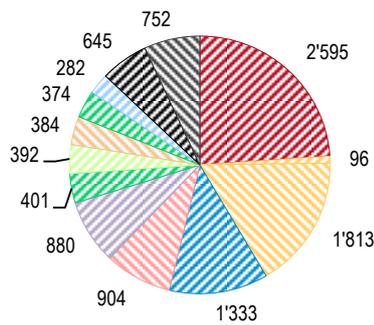
Abb. 49 > Gartenpflege/Hobby: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit CO-Emissionen ≥ 250 t, 2010.

Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit HC-Emissionen ≥ 32 t, 2010.

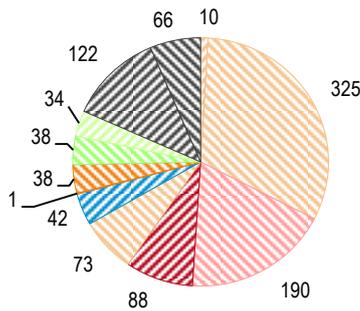
Kohlenmonoxid (CO)

Total: 10'800 t/a



Kohlenwasserstoffe (HC)

Total: 1'030 t/a

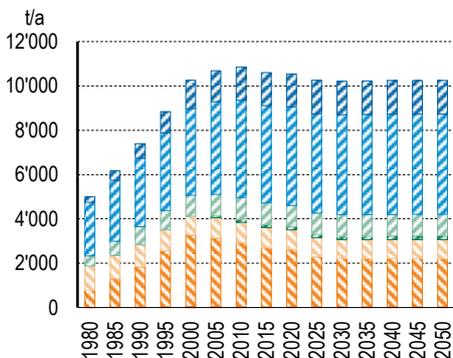


- Rasenmäher (hobby)
- Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)
- Aufsitzmäher (prof)
- Motorsägen (prof)
- Rasenmäher (prof)
- Fräsen/Motorhacken (prof)
- Schneefräsen (hobby)
- Motorsägen (hobby)
- Vertikutierer (prof)
- Reinigungsgeräte (prof)
- Restliche (<250 t/a)
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

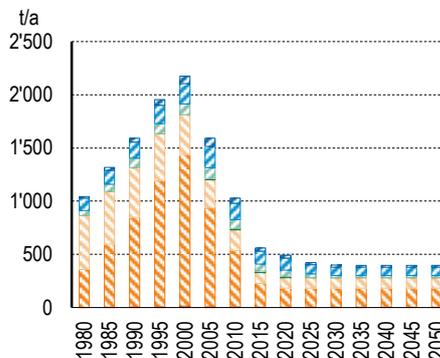
- Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)
- Motorsägen (prof)
- Rasenmäher (hobby)
- Motorsägen (hobby)
- Aufsitzmäher (prof)
- Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)
- Heckenscheren (prof)
- Schneefräsen (hobby)
- Restliche (<32 t/a)
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

Entwicklung der Emissionen

Kohlenmonoxid (CO)



Kohlenwasserstoffe (HC)



- <20 ccm
- 20–50 ccm
- >50 ccm
- <66 ccm
- 66–100 ccm
- 100–225 ccm
- >225 ccm
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 67, Seite 210

8.6 Schiffe

8.6.1 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch der Schiffe und Boote belief sich gemäss Modellrechnung im Jahr 2010 auf 1,56 PJ/a. Davon waren 56 % Dieselöl und 34 % Benzin (Abb. 50, oben). Der Diesel- und Heizölverbrauch wird in erster Linie von der kommerziellen Schifffahrt generiert. Er deckt sich in etwa mit den Verbrauchsangaben der befragten Schifffahrtbetriebe für das Jahr 2010.

Auffallend ist der hohe Verbrauch der Dampfschiffe, deren Anteil an der Betriebsleistung eher gering ist. Dies hängt damit zusammen, dass der spezifische Verbrauch von Dampfschiffen um ein Mehrfaches höher ist als der von konventionellen Motorfahrergastschiffen.

Der Benzinverbrauch von 0,53 PJ ergibt sich zu 84 % durch die Nutzung von Privatbooten. Die verbleibenden 16 % entfallen auf Fischerei- und Arbeitsboote. Der Anteil des Verbrauchs von Booten mit 2-Takt-Motoren ist mit 1 % gering.

8.6.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

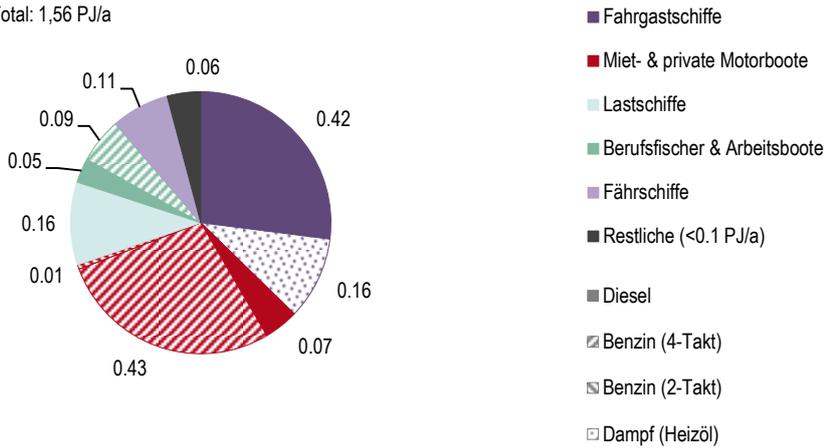
Der Energieverbrauch von Schiffen und Booten hat sich im Betrachtungszeitraum nur geringfügig verändert und dürfte auch in Zukunft etwa gleich bleiben (Abb. 50, unten).

Abb. 50 > Schiffe: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

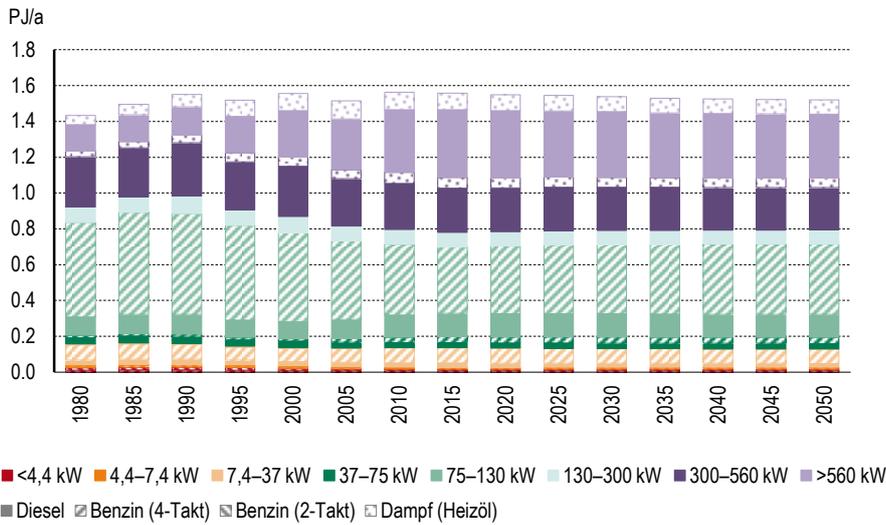
Darstellung oben: nur Kategorien mit einem Energieverbrauch ≥ 0.1 PJ, 2010.

Energieverbrauch (2010)

Total: 1,56 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 60, Seite 192

8.6.3 Emissionen

Der Schadstoffausstoss von Schiffen beeinträchtigt neben der Luft- auch die Wasserqualität. Unverbrannte Kohlenwasserstoffe werden in wesentlichen Teilen vom Wasser gebunden. Dort stören sie die normalen biologischen Funktionen von Fischen und stellen eine Gefährdung des Trinkwassers dar (EMPA 2006). Deshalb ist dem Kohlenwasserstoffausstoss von Schiffen besondere Beachtung zu schenken.

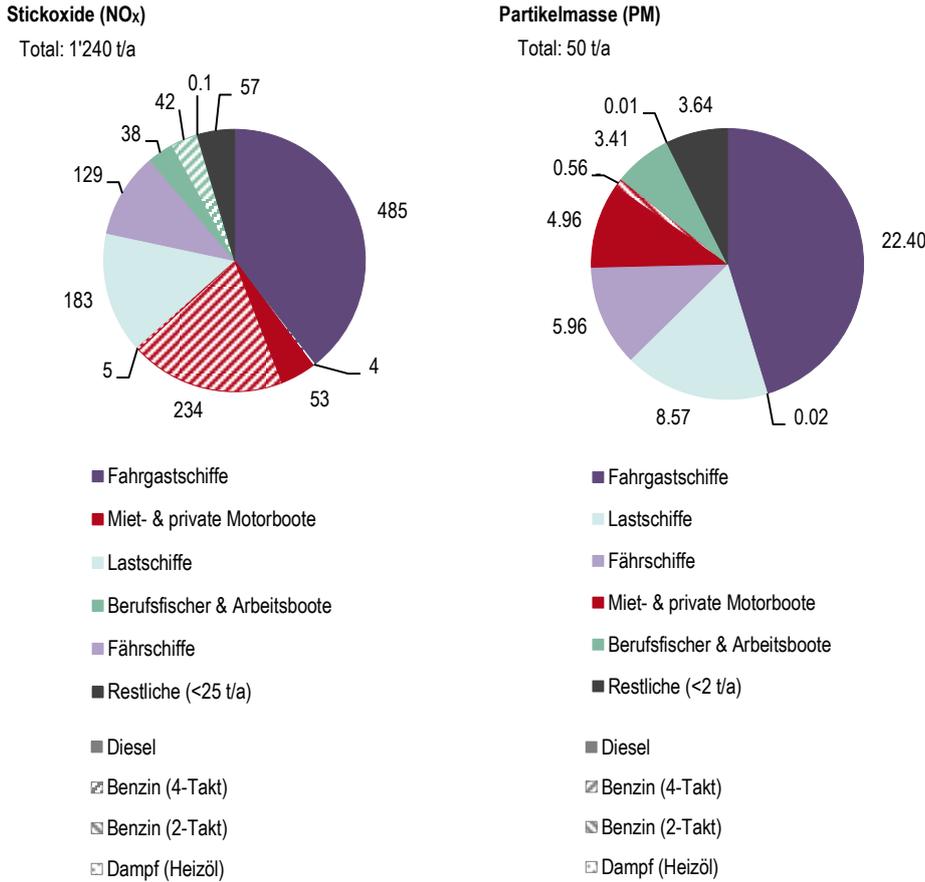
Die Stickoxidemissionen der Schiffe und Boote werden hauptsächlich durch Fahrgastschiffe sowie private Motorboote verursacht (Abb. 51, oben). Gemäss den Annahmen, die der Modellrechnung zugrunde liegen, sind bisher erst rund 10 % der Schiffe mit Partikelfilter nachgerüstet. Die Partikelemissionen der Fahrgast- und Lastschiffe sind entsprechend hoch. Der Partikelaustritt der Dampfschiffe ist mit 0,02 t/a vergleichsweise gering.

8.6.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

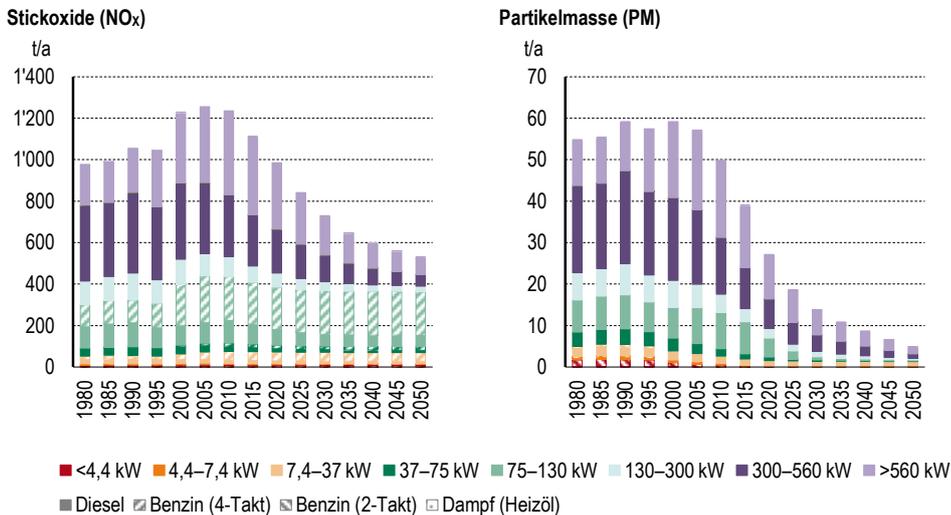
Die Stickoxidemissionen der Schiffe haben sich in jüngster Zeit nur leicht vermindert. Die EU-Abgasvorschriften der Emissionsstufe EU-I waren weniger streng als die seit Mitte der neunziger Jahre geltenden SAV-Abgasnormen (Abb. 51, unten). Erst seit der Einführung der Emissionsstufe EU-II im Jahr 2008 gelten tiefere Grenzwerte. Die Partikelemissionen haben bereits seit 2000 stärker abgenommen; unter der Voraussetzung, dass auch Schiffe künftig vermehrt mit Partikelfiltersystemen nachgerüstet werden (vgl. Abb. 23 auf Seite 60), nehmen die Partikelemissionen auch in den kommenden Jahren weiter ab.

Abb. 51 > Schiffe: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Darstellung oben links: nur Kategorien mit NO_x -Emissionen ≥ 25 t, 2010.
 Darstellung oben rechts: nur Kategorien mit PM-Emissionen ≥ 2 t, 2010.



Entwicklung der Emissionen



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
 Zahlenwerte siehe Tab. 68, Seite 218

8.7 Schiene

8.7.1 Energieverbrauch

Im Schienenverkehr werden nur Dieselmotoren berücksichtigt. Vorwiegend sind dies Rangierlokomotiven. Der Gesamtverbrauch an Dieseltreibstoff im Schienenverkehr belief sich demnach im Jahr 2010 auf 0,49 PJ (Abb. 52, oben). Gemäss Geschäftsbericht 2012 benötigte die SBB 12'603 t Dieselöl im Jahr 2010 für Traktionszwecke (SBB 2012). Da alle anderen Variablen bekannt sind bzw. geschätzt werden können, wurden die Betriebsstunden der Diesel-Schienenfahrzeuge kalibriert, dass die Modellrechnung ziemlich genau diesen Treibstoffverbrauch ergibt.

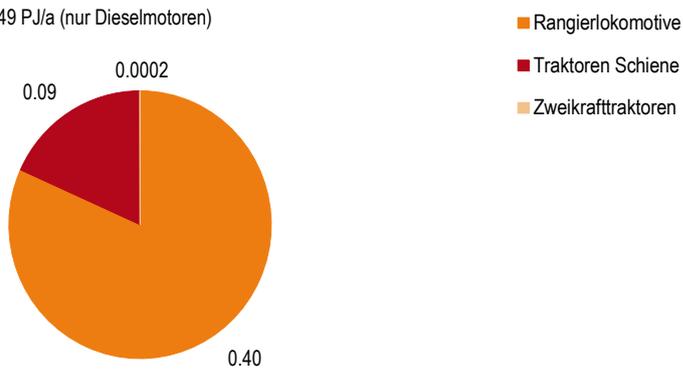
8.7.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

Der Dieselölverbrauch im Schienenverkehr nimmt zwischen 2010 und 2015 um 20 % ab, da die BLS in diesem Zeitraum 48 Rangierlokomotiven ausgemustert hat. Prognosen für die Zukunft sind schwierig, da verschiedene Trends für eine Zu- als auch eine Abnahme des Dieserverbrauchs der Schiene sprechen: Zwar wird im Personen- wie auch im Güterverkehr auf der Schiene von einer Zunahme ausgegangen, aber diese bedeutet nicht notwendigerweise eine Zunahme der Rangiertätigkeit, da die Bahnunternehmen letztere so weit wie möglich zu rationalisieren versuchen. Kleinere Rangierterminals werden geschlossen. Der derzeit diskutierte Einsatz von Güter-Lokomotiven mit Dieselgenerator, welche die (meist nicht elektrifizierte) letzte Meile fahren können, könnte zu einer Zunahme des Dieserverbrauchs führen, auf der anderen Seite könnte aber genau diese Entwicklung zu einer zusätzlichen Abnahme der Rangiertätigkeit führen. Aus diesen Gründen wird beim Non-road-Energieverbrauch der Schiene ein gleichbleibender Trend unterstellt.

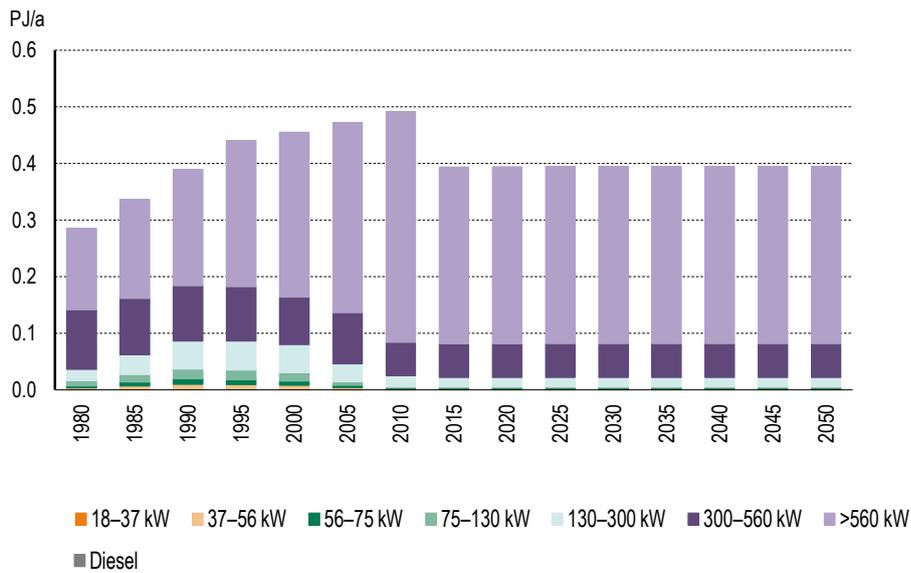
Abb. 52 > Schiene: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Energieverbrauch (2010)

Total: 0,49 PJ/a (nur Dieselmotoren)



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 61, Seite 193.

8.7.3 Emissionen

Die Lebensdauer von Schienenfahrzeugen ist relativ lang und ihr Durchschnittsalter entsprechend hoch. Deshalb sind die spezifischen Emissionen von Diesellokomotiven überdurchschnittlich hoch. Schienenfahrzeuge emittieren entsprechend vergleichsweise grossen Mengen an Stickoxiden (535 t/a, Abb. 53, oben links).

Der Modellrechnung ist ein relativ hoher Nachrüstungsgrad mit Partikelfiltern bei Schienenfahrzeugen hinterlegt (67 % der Fahrzeuge, vgl. BLS 2012, SBB 2012). Infolgedessen sind die Partikelemissionen mit 6 t/a (Abb. 53, oben rechts) vergleichsweise niedrig.

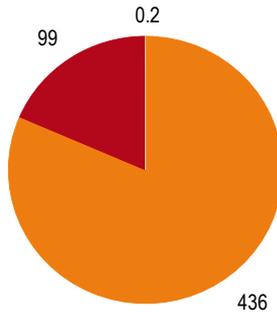
8.7.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

Die Partikelemissionen haben seit 2000 bereits um 82 % abgenommen und werden in den kommenden Jahren dank der fortlaufenden Nachrüstung älterer Maschinen mit Partikelfilter weiter abnehmen (bis 2020 ungefähr auf die Hälfte des Wertes von 2010, Abb. 53, unten rechts). Der Rückgang bei den Stickoxiden ist deutlich geringer als bei den Partikeln, von 2010 bis 2020 wird der Ausstoss um etwa ein Viertel abnehmen (Abb. 53, unten links).

Abb. 53 > Schiene: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

Stickoxide (NO_x)

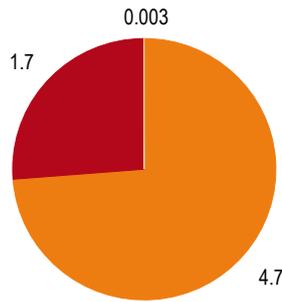
Total: 535 t/a



- Rangierlokomotive
- Traktoren Schiene
- Zweikrafttraktoren

Partikelmasse (PM)

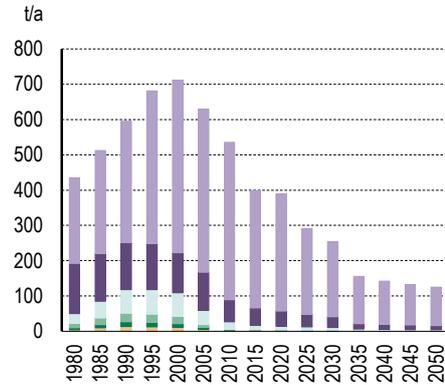
Total: 6 t/a



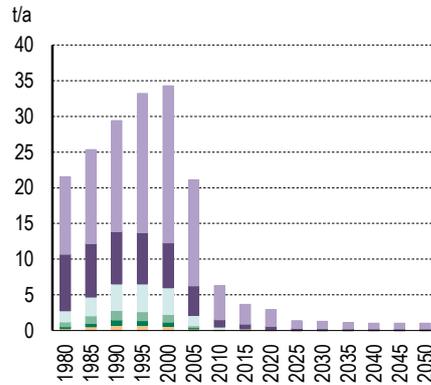
- Rangierlokomotive
- Traktoren Schiene
- Zweikrafttraktoren

Entwicklung der Emissionen

Stickoxide (NO_x)



Partikelmasse (PM)



- 18–37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 69, Seite 222

8.8 Militär

8.8.1 Energieverbrauch

Der Energieverbrauch der betrachteten Maschinenkategorien für militärische Zwecke belief sich im Jahr 2010 auf 0,27 PJ (Abb. 54, oben). Davon war nur ein geringer Anteil Benzin (7%), mit dem ein Teil der Bootsflotte betrieben wird. Am meisten Treibstoff konsumieren die Panzerfahrzeuge, sie sind für 73% des gesamten Treibstoffverbrauchs verantwortlich (Abb. 54, oben). Die militärischen Baumaschinen haben mit 7% nur einen kleinen Anteil am gesamten Treibstoffverbrauch.

8.8.2 Entwicklung des Energieverbrauchs (1980–2050)

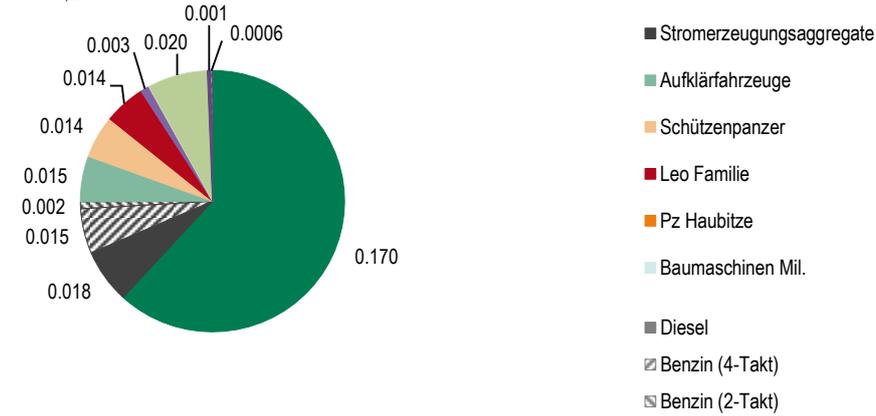
Der Treibstoffverbrauch für militärische Zwecke hat in der Vergangenheit leicht zugenommen, wird aber voraussichtlich in den kommenden Jahren wieder leicht abnehmen (Abb. 54, unten).

Abb. 54 > Militär: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

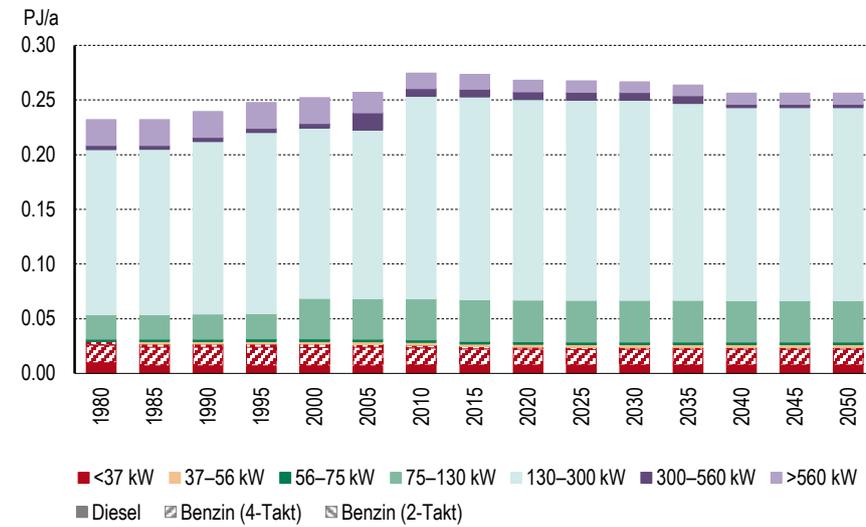
Darstellungen oben: Baumaschinen- und Wassertransport-Kategorien zusammengefasst.

Energieverbrauch (2010)

Total: 0,27 PJ/a



Entwicklung des Energieverbrauchs



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 62, Seite 193

8.8.3 Emissionen

Von Maschinen des Militärs wurden im Jahr 2010 172 t Stickoxide und 5 t Partikel emittiert (Abb. 55, oben). Die dominierende Kategorie sind bei beiden Schadstoffen die «anderen Panzer» (meist Radpanzer).

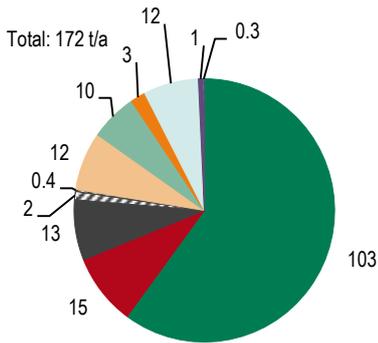
8.8.4 Entwicklung der Schadstoffemissionen (1980–2050)

Den militärischen Maschinen – ausser den Raupenfahrzeugen, welche nicht mit Partikelfiltern ausgestattet sind – ist derselbe Anteil an mit Partikelfiltersystemen nachgerüsteten Maschinen zugrunde gelegt wie den Baumaschinen. Entsprechend wird für die kommenden Jahre eine deutliche Abnahme der Partikelemissionen durch militärische Maschinen prognostiziert (Abb. 55, unten rechts). Auch bei den Stickoxiden verläuft die Entwicklung ähnlich wie bei den Baumaschinen (Abb. 55, unten links).

Abb. 55 > Militär: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)

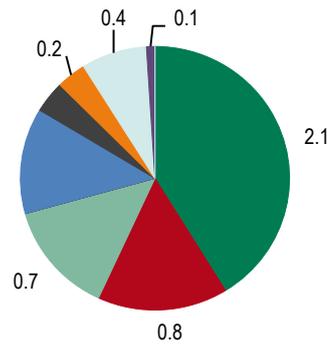
Darstellungen oben: Baumaschinen- und Wassertransport-Kategorien zusammengefasst.

Stickoxide (NO_x)



Partikelmasse (PM)

Total: 5 t/a

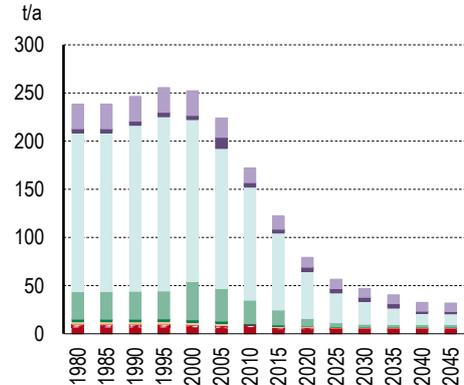


- andere Panzer
- Leo Familie
- Stromerzeugungsaggregate
- Schützenpanzer
- Aufklärfahrzeuge
- Pz Haubitze
- Baumaschinen Mil.
- Boote/Geräte Wassertransport
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

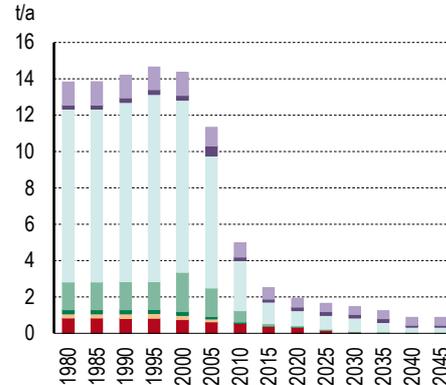
- andere Panzer
- Leo Familie
- Aufklärfahrzeuge
- Schützenpanzer
- Stromerzeugungsaggregate
- Pz Haubitze
- Baumaschinen Mil.
- Boote/Geräte Wassertransport
- Diesel

Entwicklung der Emissionen

Stickoxide (NO_x)



Partikelmasse (PM)



- <37 kW
- 37–56 kW
- 56–75 kW
- 75–130 kW
- 130–300 kW
- 300–560 kW
- >560 kW
- Diesel
- Benzin (4-Takt)
- Benzin (2-Takt)

Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Maschinenkategorien resp. die Leistungsklassen, das Muster bezeichnet den Motortyp.
Zahlenwerte siehe Tab. 70, Seite 223

9 > Ergänzende Anmerkungen

9.1 Vergleich mit den Emissionen des Strassenverkehrs

Die aus der Modellrechnung resultierenden Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors lassen sich nur unter Vorbehalt mit jenen des Strassenverkehrs (BAFU 2010) vergleichen. Einerseits ist die Datengrundlage für die Modellrechnung beim Non-road-Sektor weniger gut, andererseits ist die Modellrechnung beim Non-road-Sektor wesentlich weniger detailliert als beim Strassenverkehr. Gleichwohl lassen sich die Grössenordnungen indikativ vergleichen.

In Tab. 17 sind der Treibstoff- und Energieverbrauch sowie die Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors und des Strassenverkehrs nebeneinander dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass der Anteil des Non-road-Sektors an den Gesamtemissionen deutlich höher ist als sein Anteil am gesamten Energieverbrauch. Überdurchschnittlich hoch sind vor allem die Partikelmasseemissionen und die Kohlenwasserstoffemissionen.

Bezüglich der Kohlenwasserstoffemissionen ist dies auf den hohen Anteil von Geräten mit 2-Takt-Motoren im Non-road-Sektor zurückzuführen. Die Motorsägen beispielsweise sind mit 1200 t Kohlenwasserstoffausstoss im Jahr 2010 für ein gutes Viertel der gesamten Kohlenwasserstoffemissionen des Non-road-Sektors verantwortlich. Sie gelangen in der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Gartenpflege zum Einsatz und bilden die bedeutendste Maschinenkategorie mit 2-Takt-Motor. Der Strassenverkehr emittierte im selben Jahr gut 17'000 t Kohlenwasserstoffe.

Der hohe Anteil des Non-road-Sektors am Partikelausstoss beruht zum einen auf den zahlreichen Dieselmotoren, die hauptsächlich auf Baustellen und in der Land- und Forstwirtschaft zum Einsatz gelangen. Zum anderen liegt dies am spezifischen Schadstoffausstoss der Non-road-Maschinen, der wegen der späteren Einführung von Emissionsgrenzwerten im Non-road-Sektor noch relativ hoch ist¹⁴. Dies führt dazu, dass allein die Partikelmasseemissionen der landwirtschaftlichen Maschinen fast andert-halbmal so hoch liegen wie jene der schweren Nutzfahrzeuge (letztere rund 220 t/a im Jahr 2010, die landwirtschaftlichen Non-road-Maschinen rund 310 t/a), obwohl die Betriebsstunden der schweren Nutzfahrzeuge deutlich über denjenigen der landwirtschaftlichen Maschinen liegen¹⁵.

¹⁴ Die ersten Grenzwerte für Non-road-Maschinen wurden im Jahr 2001 in Kraft gesetzt. Für Dieselfahrzeuge des Strassenverkehrs geschah dies bereits im Jahr 1987.

¹⁵ Schwere Nutzfahrzeuge legten im Jahr 2010 2'304 Mio. Fzkm zurück. Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 50 km/h ergibt dies rund 46 Mio. h/a. Zum Vergleich: Landwirtschaftliche Maschinen mit Dieselmotor waren im Jahr 2010 rund 25 Mio. h im Einsatz.

Tab. 17 > Vergleich des Non-road-Sektors mit dem Strassenverkehr für das Jahr 2010*Zahlen gerundet.*

	Non-road-Sektor [t/a]	Strassenverkehr [t/a]	Anteil des Non-road-Sektors an der Gesamtmenge (Strasse + Non-road)
Verbrauch			
Diesel	348'900	1'726'600	17 %
Benzin	46'300	2'807'100	2 %
Energie	18,0 PJ	193 PJ	9 %
Schadstoffemissionen			
Kohlenmonoxid (CO)	39'200	124'200	24 %
Kohlenwasserstoffe (HC)	4'370	17'100	20 %
Stickoxide (NO _x)	10'400	39'300	21 %
Partikelmasse (PM)	532	1'135	32 %
Kohlendioxid (CO ₂)	1'254'000	14'373'100	8 %

Quelle Strassenverkehr: BAFU 2010

Dieser Zusammenhang wird auch beim Vergleich von Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch deutlich. In Tab. 18 sind die durchschnittlichen spezifischen Schadstoffemissionen (Schadstoffausstoss pro Treibstoffverbrauch in [g/kg]) des Non-road-Sektors und des Strassenverkehrs aufgeführt und einander gegenüber gestellt. Dabei zeigt sich, dass die Emissionsfaktoren des Non-road-Sektors im Mittel um ein Vielfaches höher sind als jene des Strassenverkehrs. Besonders gross sind die Unterschiede bei Benzinmotoren, was unter anderem auf dem hohen Anteil von 2-Takt-Motoren unter den benzinbetriebenen Non-road-Geräten beruht (rund 21 % des Benzins werden beim Non-road-Sektor durch 2-Takt-Motoren verbraucht, bei der Strasse sind es nur 0,5 %). Die spezifischen Emissionen von Dieselfahrzeugen (Stickoxid- und Partikelmassemissionen) sind beim Non-road-Sektor rund 2–3-mal so hoch wie im Strassenverkehr. Dies verdeutlicht, dass beim Non-road-Sektor in Bezug auf die Luftreinhaltung noch ein grosses Verbesserungspotenzial vorhanden ist, das in den nächsten Jahren mit Hilfe entsprechender Abgasgrenzwerte ausgeschöpft werden sollte.

Tab. 18 > Spezifische Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors und des Strassenverkehrs im Jahr 2010*Ausgedrückt in Schadstoffausstoss pro Treibstoffverbrauch in [g/kg].*

Schadstoff	Non-road-Sektor [g/kg]	Strassenverkehr [g/kg]	Verhältnis Emissionsfaktoren Non-road-Sektor zum Strassenverkehr
Benzinmotoren			
Kohlenmonoxid (CO)	758	42	18:1
Kohlenwasserstoffe (HC)	67	6	13:1
Dieselmotoren			
Stickoxide (NO _x)	29	16	2:1
Partikelmasse (PM)	1.5	0.5	3:1

Quelle Strassenverkehr: BAFU 2010

9.2 Auswirkungen der Partikelfilter-Ausstattung

Abb. 56 (links) zeigt die bisherige und zukünftige Entwicklung der Partikelemissionen, die durch Baumaschinen verursacht werden, verglichen mit der Bandbreite der Emissionen, welche durch die Gesetzgebung in der Schweiz beeinflussbar ist (sofern nur die Emissionen, nicht aber der Maschineneinsatz an sich beschränkt wird). Der untere Rand der Bandbreite entspricht den Emissionen, welche entstehen würden, wenn alle Maschinen mit Partikelfiltern ausgerüstet wären. Die obere Grenze entspricht den Emissionen, welche entstehen, wenn die Maschinen die EU-Grenzwerte einhalten.

Bei den Baumaschinen zeigt sich, dass die tatsächliche Entwicklung der Partikelmassemissionen bis vor dem Jahr 2000 der oberen Grenze der Bandbreite folgte, da in dieser Zeit noch kaum Anstrengungen zur Emissionsreduktion unternommen wurden. Auch die EU kannte zu dieser Zeit noch keine Beschränkung der Emissionen. Ab dem Jahr 2000 lassen sich erste Effekte der freiwilligen Nachrüstung beobachten, die tatsächlichen Emissionen sinken. Kurz darauf treten auch die EU-Emissionsstufen in Kraft, womit die obere Grenze der beeinflussbaren Bandbreite ebenfalls sinkt. Um 2010 nähert sich die tatsächliche Entwicklung der Emissionen dem unteren Rand des beeinflussbaren Bereichs, da die Luftreinhalte-Verordnung schrittweise in Kraft tritt (vgl. BAFU 2009). Auch bauen einige Maschinenhersteller in Motoren der Stufen EU-IIIIB und EU-IV Partikelfilter ein (vgl. Tab. 13 in Kap. 4.3.8). Ab ca. 2020–2025 erreichen die Emissionen das mit flächendeckender Partikelfilter-Ausstattung mögliche Niveau.

Baumaschinen

Abb. 56 (rechts) zeigt dieselbe Entwicklung bei den Landmaschinen. Hier zeigt sich, dass die tatsächlichen Emissionen bis heute den durch die EU-Gesetzgebung vorgegebenen Obergrenzen folgen, da die Schweiz keine darüber hinausgehende Gesetzgebung für landwirtschaftliche Maschinen kennt. Der durch die EU-Gesetzgebung abgesteckte obere Bereich der Emissions-Bandbreite sinkt auch langsamer als bei den Baumaschinen, da Landmaschinen länger in Betrieb bleiben und ältere Maschinen dadurch weni-

Landwirtschaftliche Maschinen

9.3 Vergleich mit Bericht UW-0828

9.3.1 Methodik

Die in der Vorgängerstudie UW-0828 (BAFU 2008) angewendete Methodik wurde weitgehend beibehalten. Aufgrund neuerer Entwicklungen beim Umgang mit den verschärften Grenzwerten wurden einige kleinere Anpassungen vorgenommen:

- > Dynamikfaktoren (CF₂, vgl. Kap. 4.3.7): In der Vorgängerstudie wurden die Dynamikfaktoren nach Maschinenkategorie, Emissionskonzept und Schadstoff differenziert. Aufgrund der unterschiedlichen Dynamikfaktoren für NO_x für verschieden leistungsfähige Maschinen der Stufe IV wurde das Modell so angepasst, dass nach Grössenklasse differenzierte Dynamikfaktoren verwendet werden können (s. Tab. 10, Seite 47).
- > Verschleissfaktoren (CF₃, vgl. ebenfalls Kap. 4.3.7): Diese wurden in der Vorgängerstudie pro Schadstoff und Motorentechnologie als konstant behandelt. Da sie ab Emissionsstufe EU-III A wegfallen (beziehungsweise gleich 1 sind), können sie im Modell neu nach Emissionsstufe differenziert werden.
- > Berücksichtigung der verzögerten Einführung der Emissionsstufen: Für den Vorgängerbericht wurde unterstellt, dass ab dem Einführungszeitpunkt einer Emissionsstufe alle neuen Maschinen diese erfüllen. Tatsächlich verzögert sich aber die Einführung wegen der in der EU-Gesetzgebung vorgesehenen Möglichkeiten der «Sell-Off Periods» und des Flexibilitätsschemas (vgl. Kap. 4.3.4). Diesem Umstand wurde im vorliegenden Bericht Rechnung getragen, indem in den zwei Jahren nach Einführung einer neuen Emissionsstufe realistische Anteile neuer Maschinen, welche noch der vorherigen Emissionsstufen entsprechen, angenommen wurden (das «wahrscheinliche» Einführungszenario, s. Abb. 12 auf S. 43).
- > Berücksichtigung der Partikelfilter: In der Vorgängerstudie wurden pro Schadstoff konstante Korrekturfaktoren für den Partikelfilter-Einsatz verwendet – konkret wurden die PM-Emissionen um 90 % reduziert und der Treibstoffverbrauch um 3 % erhöht. Diese Korrektur wurde nur für mit Partikelfiltern nachgerüstete Maschinen appliziert – es wurde davon ausgegangen, dass ab einer gewissen Emissionsstufe (EU-III B) der Partikelfiltereinsatz flächendeckend sein würde, da die Grenzwerte nur so einzuhalten seien, und daher keine Korrektur des durch den tiefen Grenzwert vorgegebenen Emissionsfaktors notwendig ist. Mit den durch die EU-Gesetzgebung schrittweise verschärften Partikel-Grenzwerten und dem unterschiedlichen Umgang der Maschinenhersteller mit diesen (vgl. Tab. 13 in Kap. 4.3.8) wurde nun eine Differenzierung der Korrekturfaktoren nach Emissionsstufe und Grössenklasse notwendig, da ein Partikelfilter je nach Grenzwert einen unterschiedlich grossen Einfluss hat. Auch werden die Korrekturfaktoren nicht mehr nur auf nachgerüstete Maschinen angewandt, sondern alle mit Partikelfiltern ausgestatteten Maschinen.

9.3.2 Mengengerüste

Für den Vergleich des Mengengerüsts des neuen Non-road-Inventars mit den bisher verwendeten Daten des BAFU aus dem Bericht UW-0828 (BAFU 2008) wird 2010 als Referenzjahr betrachtet. Das Mengengerüst des Berichtes UW-0828 wurde in einer separaten Studie erhoben (EWI 2005).

Abb. 57 vergleicht Bestände, Betriebsstunden (spezifisch, d. h. pro Gerät, sowie gesamte Betriebsstunden) und Energiebedarf gemäss bisherigem und aktuellem Mengengerüst. Die grössten Unterschiede bestehen bei Baumaschinen, Industrie, Gartengeräten und Militär. Der Energiebedarf ist das Produkt aus Beständen, Betriebsstunden, den jeweiligen durchschnittlichen Nennleistungen pro Maschinenschicht und den Lastfaktoren. Da auch die Lastfaktoren einiger Maschinenkategorien angepasst wurden, wird diese Anpassung im Folgenden als Erstes beschrieben, da sie mehrere Maschinengattungen betrifft.

Neue Studien (z. B. Fridell u. a. 2014) zeigen, dass die bisher verwendeten Lastfaktoren der US-EPA (2004) für Baumaschinen für die typische Nutzung in Europa zu hoch liegen. Die effektiven Lastfaktoren einiger Baumaschinen-Kategorien sowie deren Pendanten in Forstwirtschaft und Militär wurden daher angepasst (Tab. 19). Die Anpassungen bedeuten in den meisten Fällen eine Senkung um 27 % bis 37 %. Bei den im Militär eingesetzten Baumaschinen waren die Lastfaktoren allerdings bisher tiefer, daher wurden sie mit der Anpassung um 4 % bis 67 % erhöht. Die Anpassung der Lastfaktoren resultiert für das Jahr 2010 in einer Reduktion des Energieverbrauchs des gesamten Non-road-Sektors um rund 6 % – darin inbegriffen ist auch die Erhöhung der spezifischen Energieverbrauchswerte aufgrund des erhöhten Last-Korrekturfaktors (CF_1 , vgl. Kap. 4.3.7). Bei den Baumaschinen allein beträgt die Reduktion des Energieverbrauchs im Jahr 2010 gar 15 %, da u.a. die Lastfaktoren der Bagger, der energiemässig wichtigsten Maschinenkategorie dieser Gattung, gesenkt wurden. Beim Militär hingegen resultiert durch die Anpassung der Lastfaktoren eine Erhöhung des Energieverbrauchs um 1 %.

Lastfaktoren

Tab. 19 > Vergleich der Lastfaktoren mit dem Bericht UW-0828*Ausgedrückt in Schadstoffausstoss pro Treibstoffverbrauch in [g/kg].*

Gattung	Maschinenkategorie	Grössenklasse	Effektiver Lastfaktor		Veränderung
			UW-0828	Aktuell	
Baumaschinen	Seilbagger	(Alle)	0.48	0.35	-27 %
	Pneu-/Mobilkräne	(Alle)	0.48	0.3	-37 %
	Lader	(Alle)	0.48	0.35	-27 %
	Dumper/Kipper	(Alle)	0.48	0.35	-27 %
	Bohrgeräte	(Alle)	0.48	0.35	-27 %
	Minibagger	<18 kW	0.48	0.3	-37 %
	Minibagger	18–75 kW	0.48	0.35	-27 %
	Raupenbagger	75–300 kW	0.48	0.48	0 %
	Radbagger	37–75 kW	0.48	0.33	-31 %
Forstwirtschaft	Radbagger	(Alle)	0.48	0.4	-17 %
Militär	Raupenlader	(Alle)	0.288	0.35	22 %
	Pneuladeschaufel	(Alle)	0.288	0.35	22 %
	Raupenbagger	(Alle)	0.288	0.48	67 %
	Bulldozer (Planierraupe)	(Alle)	0.288	0.48	67 %
	Kranwagen	(Alle)	0.288	0.3	4 %

Bestände und Betriebsstunden der Baumaschinen liegen höher als im bisherigen Inventar. Das liegt vor allem daran, dass zur Zeit der Erstellung des Mengengerüsts für das bisherige Inventar Anfangs der Nuller-Jahre die Bauwirtschaft eine Phase mit sinkender Bruttowertschöpfung durchgemacht hatte (vgl. auch BfS 2012) und daher für die Zukunft tendenziell von einem Rückgang der Aktivitäten ausgegangen wurde. Mittlerweile hat sich gezeigt, dass die Bruttowertschöpfung der Bauwirtschaft zwischen 2000 und 2010 um rund 19 % zugenommen hat; entsprechend hat auch die Aktivität der Baumaschinen zugenommen. Die Reduktion der Lastfaktoren reduziert den Energiebedarf der Baumaschinen wiederum (vgl. Abschnitt oben und Tab. 19), die Netto-Änderung des Energiebedarfs gegenüber dem bisherigen Inventar ist aber mit 11 % dennoch klar positiv.

Baumaschinen

Auch im Bereich der mobilen Maschinen der Industrie – diese Gattung umfasst im Non-road-Inventar auch Gewerbe und Gemeindewerke – liegen Bestände und Betriebsstunden höher als im bisherigen Inventar. Dies ist vor allem auf die Pistenfahrzeuge zurückzuführen, deren Bestand im bisherigen Inventar aufgrund des Standard-MOFIS-Auszuges von Ende September, wenn viele Pistenfahrzeuge nicht eingelöst sind, unterschätzt wurde – gemäss dem Auszug von Ende Januar liegt der Bestand rund doppelt so hoch (vgl. Kap. 6.2.1, Seite 63). Der Bestand der Stapler hat gegenüber dem bisherigen Inventar leicht abgenommen. Im aktuellen Inventar wurden ausserdem die Generatoren von Industrie und Gewerbe sowie die Maschinen und Fahrzeuge des Flughafenvorfeldes neu aufgenommen, was aber nur einen kleinen Teil des Zuwachses erklärt.

Industrie

Zwar wurde bereits im bisherigen Inventar ein leichter Rückgang der Aktivitäten der landwirtschaftlichen Maschinen unterstellt, dieser fällt aber etwas stärker aus als erwartet. Ausserdem wurden im aktuellen Inventar auch die Resultate nach Grössenklassen aus den landwirtschaftlichen Betriebszählungen der vergangenen Jahre mitberücksichtigt, und bei diesen zeigte sich, dass der Anteil grösserer Maschinen im bisherigen Inventar überschätzt wurde. Somit wurde die Grössenklassenverteilung rückwirkend angepasst, was den Energiebedarf weiter reduzierte. Im Jahr 2010 liegt letzterer somit rund 18 % tiefer als in der Vorgängerstudie.

Landwirtschaft

Auch in der Forstwirtschaft liegen die aktuellen Aktivitäten leicht unter den im bisherigen Inventar für das Jahr 2010 unterstellten. Beim Gesamtenergiebedarf spielt zusätzlich die Reduktion des Lastfaktors der Radbagger mit, was zu einem um 12 % tieferen Energiebedarf führt als in der Vorgängerstudie.

Forstwirtschaft

Bestände und Betriebsstunden des Bereichs Gartenpflege haben gegenüber dem bisherigen Inventar in absoluten Zahlen am stärksten zugenommen. Dies liegt hauptsächlich daran, dass für das aktuelle Inventar erstmals Elektrogeräte mitberücksichtigt wurden. Somit liegt der Bestand 2010 um 210 % über dem bisherigen Inventar. Ohne Elektrogeräte würde er um 17 % höher liegen. Die Betriebsstunden liegen aktuell sogar siebenmal so hoch wie gemäss dem bisherigen Inventar, was hauptsächlich auf die langen Betriebsdauern der Rasenroboter zurückzuführen ist. Wegen der niedrigen Leistungen der Elektrogeräte liegt der Energiebedarf «nur» um 130 % über demjenigen des bisherigen Inventars.

Gartenpflege

Der Bestand des aktuellen Inventars liegt 15 % über demjenigen der Vorgängerstudie, was auf Bestandeszunahmen der Motorboote sowie der Last- und Fahrgastschiffe zurückzuführen ist. Ausserdem wurden die Rhein-Güterschiffe neu ins Inventar mit aufgenommen. Bei letzteren besteht das Problem, dass die Anzahl Fahrten pro Jahr bekannt sind, aber nicht, wie viele Fahrten vom gleichen Schiff zurückgelegt werden. Auf die Gesamt-Aktivität hat dies keine Auswirkung, beim Bestand besteht aber durch die Annahme, dass Fahrten gleich Bestand gesetzt wurden, tendenziell eine Überschätzung. Die Summe der Betriebsstunden liegt denn auch nur 4 % über dem bisherigen Inventar, und der Gesamtenergiebedarf hat sich wegen Verschiebungen der Leistungsklassenverteilung hin zu kleineren Motor- und Segelbooten nur marginal (+0.3 %) verändert.

Schiffe

Der Gesamtenergiebedarf des aktuellen Inventars für das Jahr 2010 liegt 4 % tiefer als gemäss bisherigem Inventar. Dies ist auf abnehmende Bestände an Schienentraktoren bei gleichzeitig steigender durchschnittlicher Nennleistung der Rangierlokomotiven zurückzuführen.

Schiene

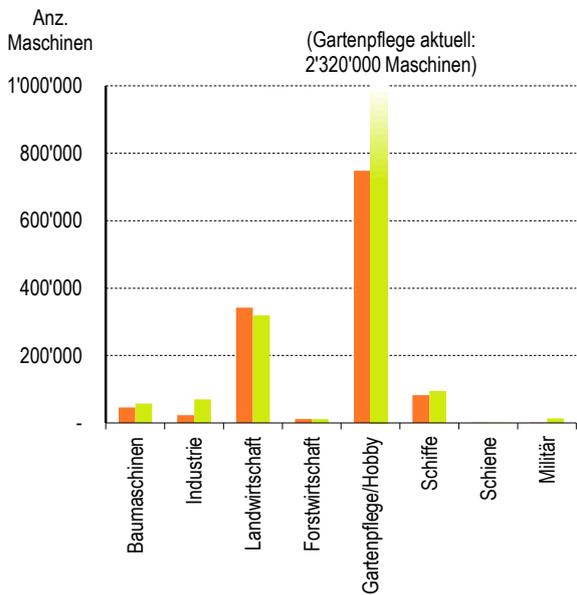
Die Aktivitäten des Militärs haben relativ gesehen von allen Maschinengattungen gegenüber dem bisherigen Inventar am stärksten zugenommen (Zunahme des Energiebedarfs um 480 %). Dies liegt vor allem an einer starken Unterschätzung der Betriebsstunden der militärischen Baumaschinen und des Bestandes und der Betriebsstunden der Schützenpanzer im bisherigen Inventar. Die Angaben wurden von der Logistikbasis der Armee überprüft und bestätigt, und das Mengengerüst wurde auch rückwirkend

Militär

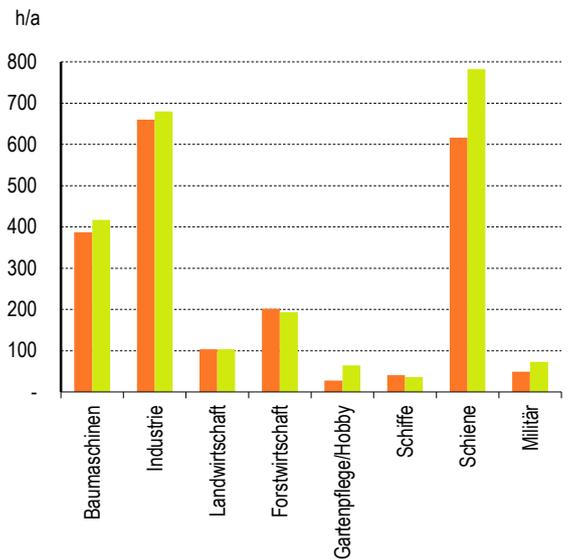
korrigiert. Die Gründe der Unterschätzung in EWI (2005) liessen sich nicht eruieren. Da das Militär jedoch nur einen Anteil von 1,5 % am gesamten Energieverbrauch des Non-road-Sektors ausmacht, fällt diese Änderung in der Gesamtbetrachtung nicht so stark ins Gewicht.

Abb. 57 > Vergleich des aktuellen Mengengerüsts mit dem Bericht UW-0828

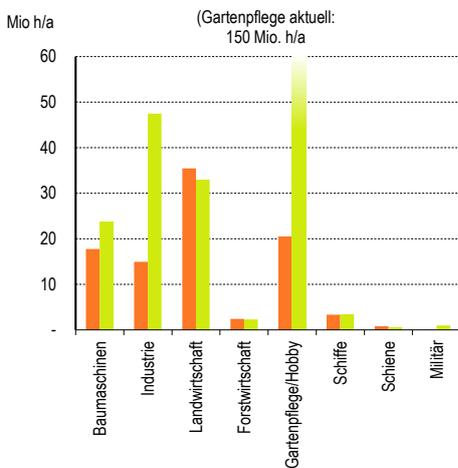
Bestand



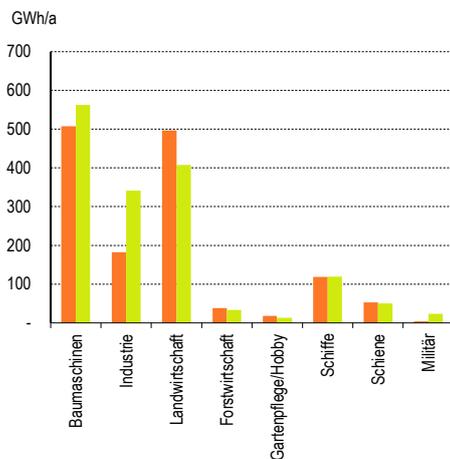
Spezifische Betriebsstunden



Summe Betriebsstunden



Energiebedarf



■ UW-0828 ■ Aktuelle Studie

Zahlenwerte siehe Tab. 48 – Tab. 49, Seite 179, Tab. 53 auf Seite 185, sowie BAFU 2008

9.3.3 Emissionsfaktoren

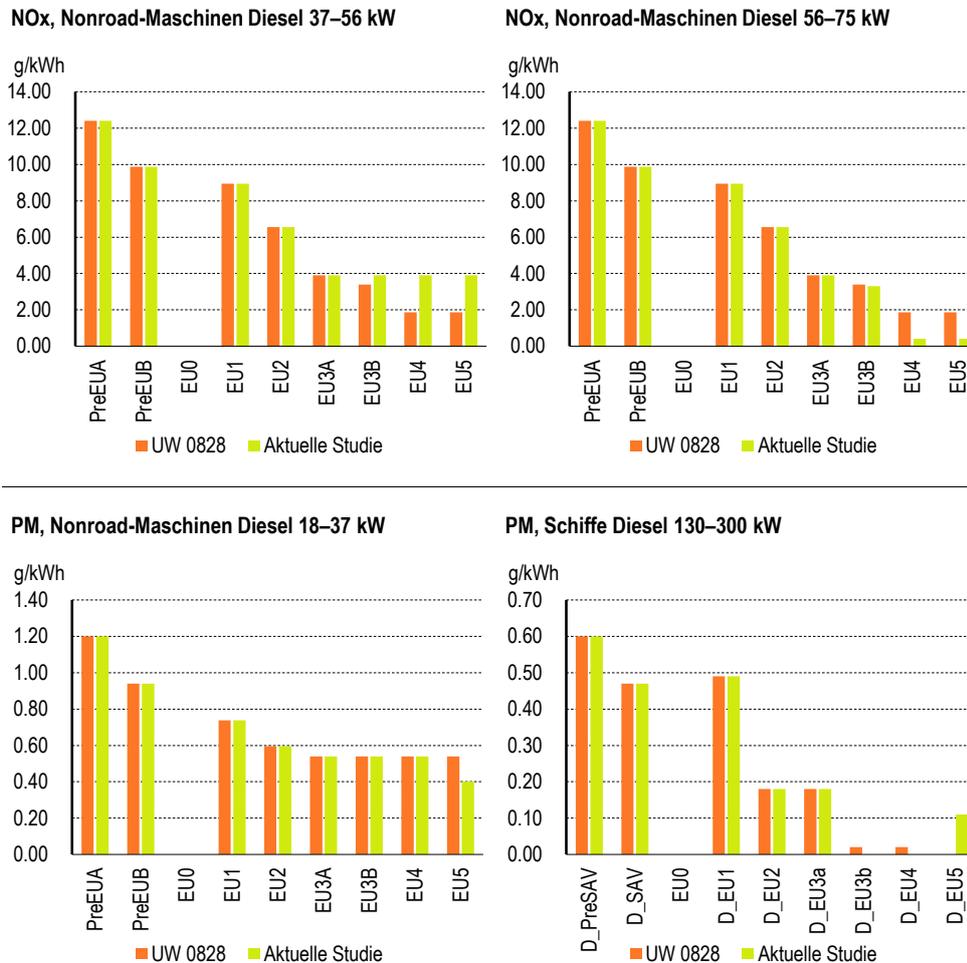
Die Emissionsfaktoren bis zu den zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Vorgängerstudie (BAFU 2008) bereits in Kraft getretenen EU-Emissionsstufen – EU-III A für Dieselmotoren, EU-II für benzinbetriebene Kleingeräte – wurden grösstenteils für den vorliegenden Bericht übernommen (vgl. Kap. 4.3.3). Für die erst später in Kraft gesetzten Emissionsstufen wurden in BAFU (2008) Annahmen zur Entwicklung der Emissionsfaktoren getroffen; für diese liegen mittlerweile neuere Informationen vor, womit sich die aktuellen Emissionsfaktoren von den in BAFU (2008) verwendeten unterscheiden.

Für die Stickoxide (NO_x) liegen die aktuellen Emissionsfaktoren ab Stufe IIIB je nach Grösseklasse teils unter, teils über denjenigen der Vorgängerstudie (Abb. 58 oben). Insgesamt resultieren über den gesamten Non-road-Sektor aufgrund der Anpassung der Basis-Emissionsfaktoren leicht höhere Emissionen. Dieser Effekt wird noch verstärkt durch die erhöhten Dynamikfaktoren ab Stufe IV (vgl. Kap. 4.3.7) und die Berücksichtigung der verzögerten Einführung der Emissionsstufen (vgl. Kap. 4.3.4)

Dieselmotoren

Bei der Partikelmasse (PM) bewirken die Anpassungen der Emissionsfaktoren bei den Baumaschinen sowie land- und forstwirtschaftlichen Maschinen eine Senkung der Emissionen gegenüber dem Vorgängerbericht; dies liegt vor allem am schärferen Grenzwert der Stufe V für kleinere Maschinen (Abb. 58, unten links). Bei den Schiffen und den Schienenfahrzeugen hingegen traten die Stufen EU-III B und EU-IV (bei den Schienenfahrzeugen nur EU-IV) nicht wie erwartet in Kraft – die Grenzwerte der Stufe III A für Schiffe und IIIB für Schienenfahrzeuge bleiben bis zur Einführung von Stufe V (2019–2020) in Kraft (Abb. 58, unten rechts). Damit liegen die Emissionsfaktoren der aktuellen Studie über den Annahmen der Vorgängerstudie, und entsprechend höher liegen auch die modellierten Gesamtemissionen der Schiffe und Schienenfahrzeuge. Insgesamt liegen jedoch die PM-Emissionen des Non-road-Sektors (inklusive Wegfall der Alterungsfaktoren ab Stufe III A und der Berücksichtigung der verzögerten Einführung) leicht unter denjenigen, welche mit den aktuellen Mengengeräten, aber bisheriger Emissions-Methodik resultieren würden.

Abb. 58 > Dieselmotoren: Vergleich mit den Emissionsfaktoren des Berichts UW-0828

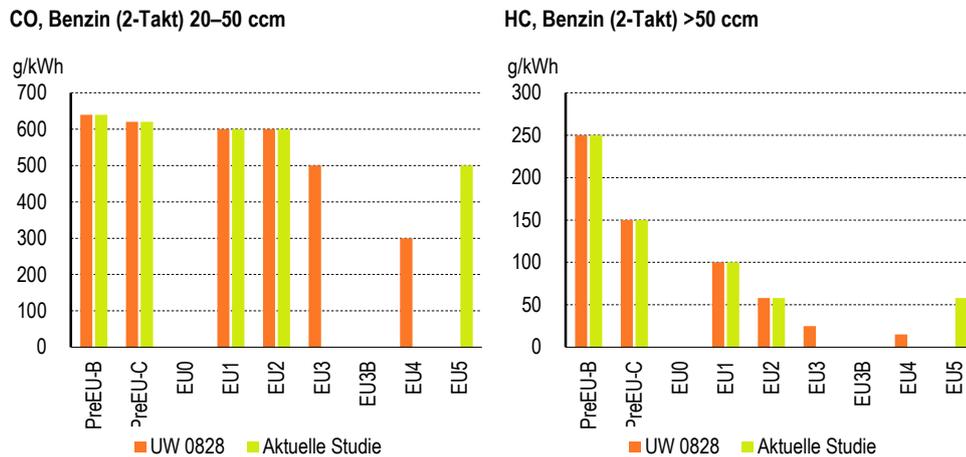


Zahlenwerte siehe Tab. 28, Seite 154 sowie BAFU 2008

Die vor allem von den benzinbetriebenen Geräten beeinflussten Kohlenmonoxid-Emissionen (CO) nehmen ab 2015 deutlich weniger stark ab als in der Vorgängerstudie angenommen. Dies liegt daran, dass der CO-Grenzwert für die Stufe EU-V, welche 2019–2020 in Kraft treten soll, wesentlich höher liegt als die Emissionsfaktoren, welche in der Vorgängerstudie für die erwarteten Stufen EU-III und EU-IV angenommen wurden. Letztere Stufen werden jedoch nun übersprungen, womit die Grenzwerte der Stufe EU-II bis 2019 respektive 2020 gelten (vgl. Abb. 59 links).

Bei den Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC), welche ebenfalls vor allem von Benzinmotoren beeinflusst werden, ist der gleiche Effekt zu beobachten (Abb. 59 rechts).

Benzinbetriebene Kleingeräte

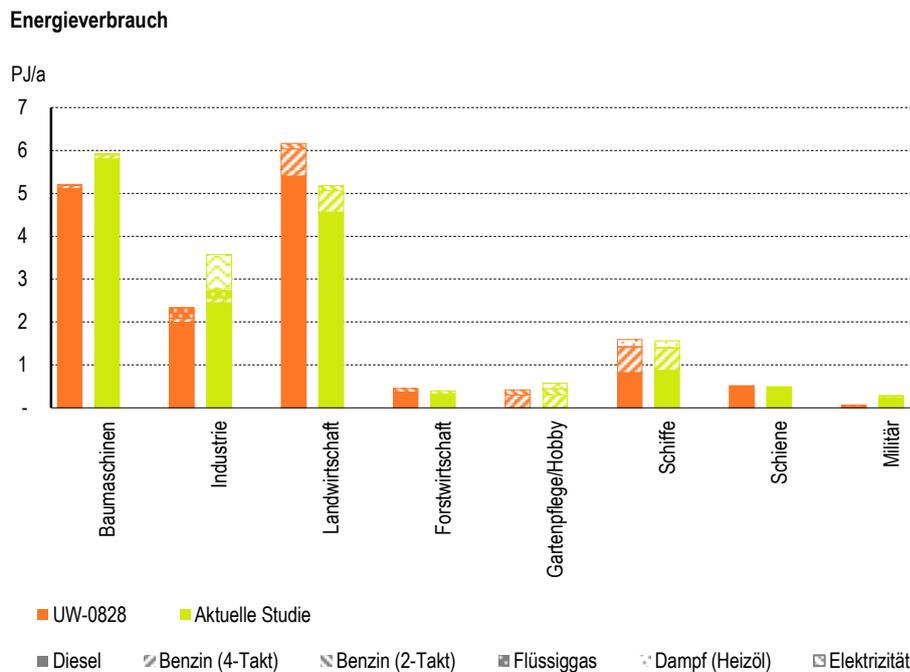
Abb. 59 > Benzingeräte: Vergleich mit den Emissionsfaktoren des Berichts UW-0828

Zahlenwerte siehe Tab. 34, Seite 161 sowie BAFU 2008

9.3.4 Energieverbrauch

Im Referenzjahr 2010 verhält sich der Energieverbrauch der aktuellen Studie (Abb. 60) zu demjenigen gemäss Bericht UW-0828 ähnlich wie der Energiebedarf (vgl. Kap. 9.3.2, Abb. 57 rechts unten), da die Verbrauchsfaktoren nicht verändert wurden. Geringe Differenzen in den relativen Änderungen zu Abb. 57 (rechts unten) erklären sich durch unterschiedliche Anteile der verschiedenen Antriebsarten und deren unterschiedliche Energiegehalte (Heizwerte) und Wirkungsgrade.

Abb. 60 > Vergleich des Energieverbrauches des Jahres 2010 mit den prognostizierten Werten des Berichts UW-0828, nach Maschinengattung



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Studie, das Muster bezeichnet die Antriebsart.
 Zahlenwerte siehe Tab. 53, Seite 185, sowie BAFU 2008

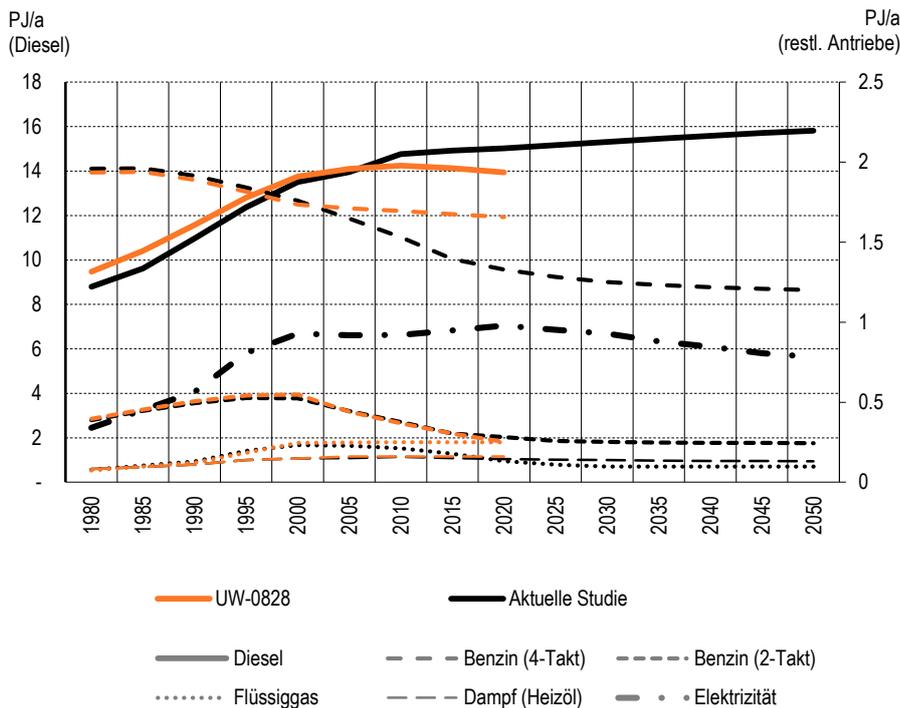
Der Vergleich der zeitlichen Entwicklungen (Abb. 61) zeigt, dass im Bericht UW-0828 beim Diesel und bei den 2-Takt-Benzinern tendenziell von niedrigerem Treibstoffverbrauch ab dem Jahr 2000 ausgegangen wurde als im aktuellen Inventar. Beim Diesel hängt dies v. a. mit den damals pessimistischeren Erwartungen zur Entwicklung des Bausektors zusammen, welcher aber, wie mittlerweile bekannt ist, zwischen 2000 und 2010 stark zugelegt hat. Bis zum Jahr 2005 liegt der Dieserverbrauch gemäss UW-0828 in absoluten Zahlen aber noch leicht über den aktuellen Werten; der Grund dafür ist die Anpassung der Lastfaktoren wichtiger Baumaschinen-Kategorien gegen unten im aktuellen Bericht (vgl. Kap. 9.3.2, Tab. 19). Bei den 2-Takt-Benzingeräten zeigen beide Berichte eine Abnahme ab dem Jahr 2000, diese hat sich aber als nicht so stark herausgestellt wie noch im Bericht UW-0828 erwartet.

Bei den 4-Takt-Benzinmotoren sowie bei den gasbetriebenen Maschinen liegen die Prognosen des Berichts Umwelt-Wissen Nr. 0828 über den aktuellen Werten. Bei den 4-Takt-Benzinmotoren ist der Unterschied vor allem auf den Bestand an Einachsmäher n in der Landwirtschaft zurückzuführen, welcher stärker abgenommen hat als erwartet. Bei den gasbetriebenen Maschinen ist der Unterschied durch die Abnahme der Aktivität der Gabelstapler begründet.

Beim von Dampfschiffen eingesetzten Heizöl sind keine nennenswerten Veränderungen festzustellen. Der Elektrizitätsverbrauch wurde im Bericht UW-0828 noch nicht berücksichtigt.

Abb. 61 > Vergleich der Entwicklung des Energieverbrauches mit Bericht UW-0828

Energieverbrauch



Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Studie, die Strichlierung bezeichnet die Antriebsart.
Zahlenwerte siehe Tab. 52, Seite 184, sowie BAFU 2008

9.3.5 Emissionen

Die Unterschiede der Emissionen im Jahr 2010 der aktuellen Studie zu Bericht UW-0282 (Abb. 62) lassen sich grösstenteils gleich begründen wie die Unterschiede der Mengengerüste und des Energiebedarfs, da die Emissionsfaktoren für das Jahr 2010 nicht verändert wurden. Eine kaum nennenswerte zusätzliche Senkung der Emissionen ergibt sich aus der Tatsache, dass in der aktuellen Studie ab Stufe IIIA keine Verschleissfaktoren mehr angewendet werden (vgl. Kap. 4.3.7 und 9.3.1).

Erst ab Emissionsstufe EU-IIIB wurden im aktuellen Bericht neue Emissionsfaktoren angewendet, welche zusammen mit den Änderungen der Mengengerüste die Entwicklungen ab 2015 beeinflussen (Abb. 63). Da die Prognosen des Berichts UW-0828 nur bis 2020 reichen und die grössten Unterschiede in den Emissionsfaktoren erst mit Stufe

EU-V ab 2019/2020 überhaupt einsetzen, werden in Abb. 63 keine grossen Unterschiede sichtbar

Die Werte aus Bericht UW-0828 liegen bis 2010 rund 0,7–3,5 % über den aktuellen Werten. Dies liegt einerseits an den teilweise niedrigeren Lastfaktoren der aktuellen Studie; ab dem Jahr 2000 kommt hinzu, dass das aktuelle Inventar tiefere Bestände der Einachsmäher, welche mit Benzin betrieben werden, hohe Nennleistungen und Lastfaktoren aufweisen und daher die CO-Emissionen stark beeinflussen, beinhaltet. Von 2015 bis 2020 sinken die Emissionen gemäss UW-0828 aber schneller, so dass sie 2020 fast das Niveau des aktuellen Berichts erreichen. Dies liegt daran, dass für Bericht UW-0828 tiefere CO-Grenzwerten für Benzinmotoren mit den Stufen EU-III und EU-IV erwartet wurden, welche aber nie umgesetzt wurden (vgl. Kap. 9.3.3).

Kohlenmonoxid (CO)

Die Verhältnisse der aktuellen Emissionen zu denjenigen gemäss Bericht UW-0828 sind ähnlich wie beim Kohlenmonoxid (CO), mit den gleichen Begründungen – teilweise tiefere Lastfaktoren sowie ab 2015 höhere Emissionsfaktoren im aktuellen Inventar.

Kohlenwasserstoffe (HC)

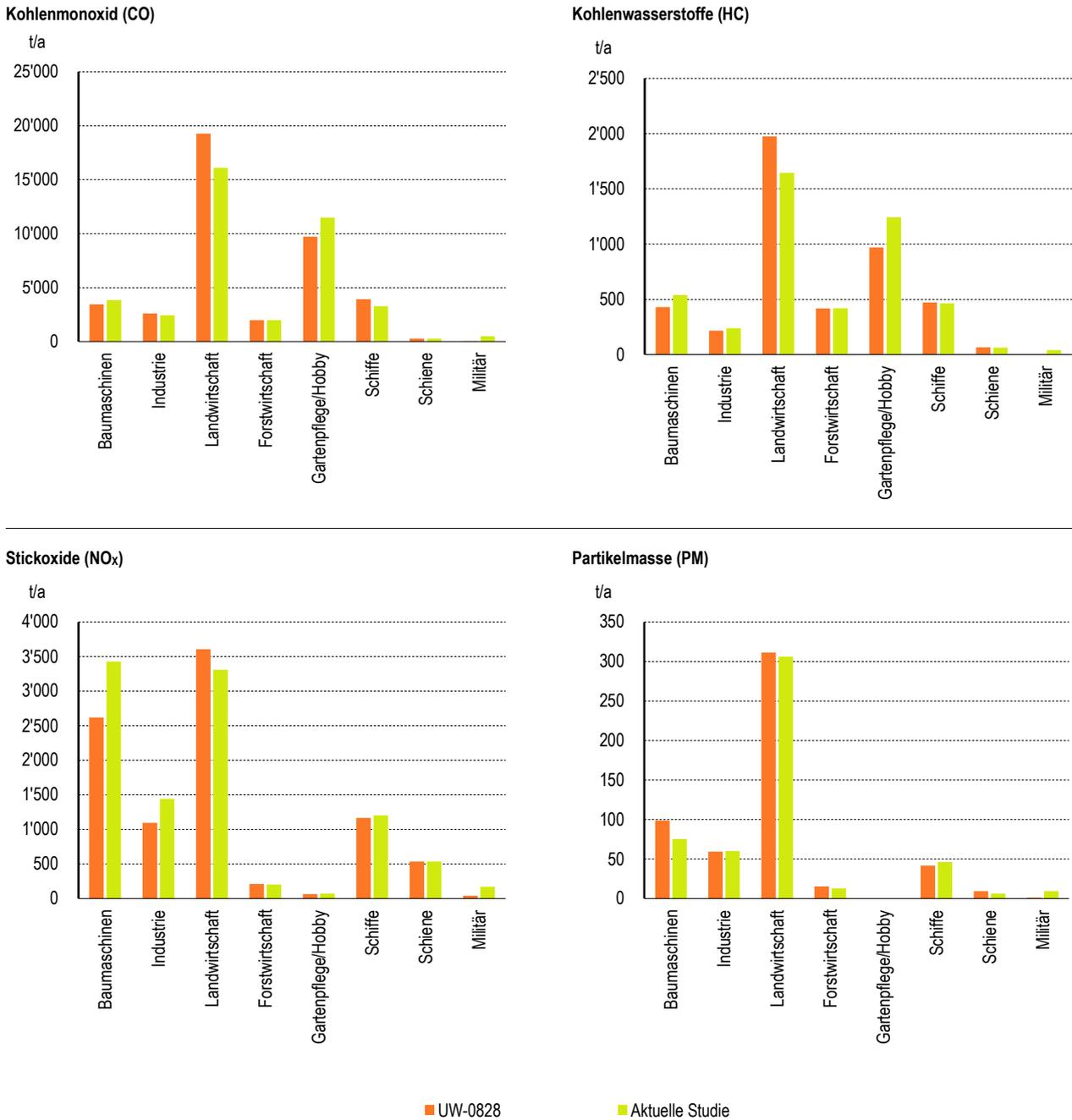
Die Unterschiede bei den Stickoxiden lassen sich weitgehend mit den gleichen Effekten begründen wie die Unterschiede im Dieserverbrauch: Niedrigere Lastfaktoren der Baumaschinen, aber generell höhere Bestände und Betriebsstunden der Dieselmotoren im aktuellen Inventar. Zusätzlich sorgen ab 2010–2015 höhere Basis-Emissionsfaktoren, erhöhte Dynamikfaktoren (CF₂) und die verzögerte Einführung neuer Emissionsstufen für höhere Emissionen.

Stickoxide (NO_x)

Auch bei der Partikelmasse sind die aktuell niedrigeren Lastfaktoren, aber ab dem Jahr 2000 stärker zunehmenden Bestände und Betriebsstunden der Dieselmotoren hauptsächlich dafür verantwortlich, dass die Emissionen gemäss UW-0828 zuerst höher liegen als aktuell. Das Verhältnis kehrt sich aber erst nach 2010, da die Änderungen der Basis-Emissionsfaktoren und Einflussfaktoren sowie die höhere Verbreitung von Partikelfiltern insgesamt für niedrigere spezifische Emissionen im aktuellen Inventar sorgen.

Partikelmasse (PM)

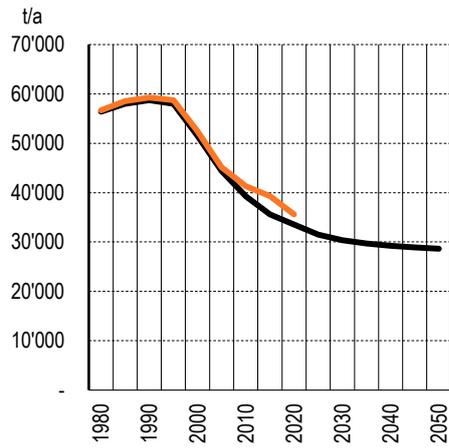
Abb. 62 > Vergleich der Emissionen des Jahres 2010 mit den prognostizierten Werten des Berichts UW-0828, nach Maschinengattung



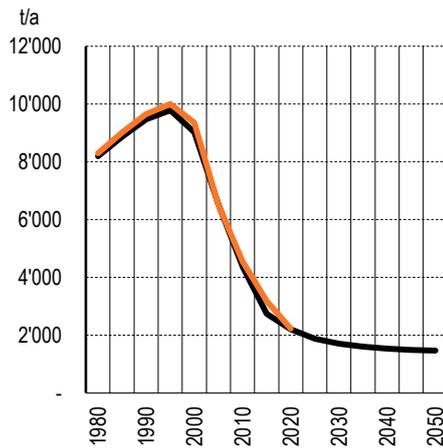
Lesehilfe: Die Farben bezeichnen die Studie, das Muster bezeichnet die Antriebsart.
 Zahlenwerte siehe Tab. 54, Seite 186, sowie BAFU 2008

Abb. 63 > Vergleich der Entwicklung der Emissionen der regulierten Schadstoffe mit Bericht UW-0828

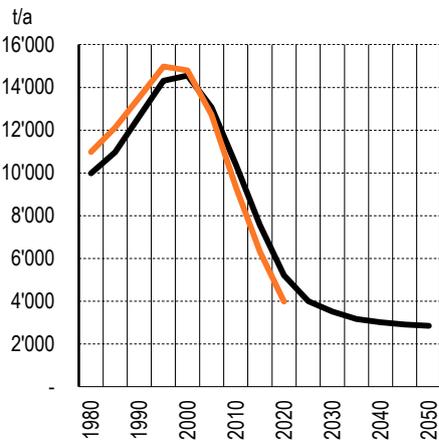
Kohlenmonoxid (CO)



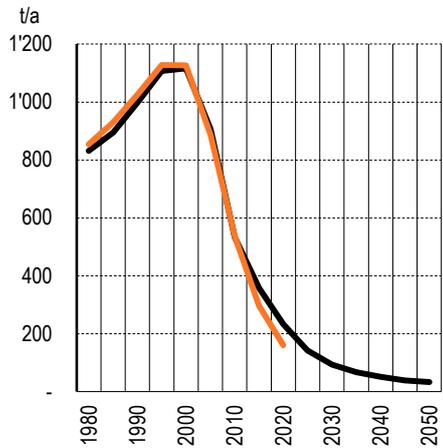
Kohlenwasserstoffe (HC)



Stickoxide (NO_x)



Partikelmasse (PM)



— UW-0828

— Aktuelle Studie

Zahlenwerte: UW-0828: BAFU 2008, Aktuell: Tab. 54, Seite 186

> Anhang

A1 Berechnungsmethodik

Nachfolgend ist die Emissionsberechnungsmethodik detailliert aufgeführt. Sie vollzieht sich in 4 Schritten:

- > Berechnung der Bestände je Maschinensegment und Baujahr
- > Ermittlung der Betriebsstunden je Maschinensegment und Baujahr
- > Differenzierung des Mengengerüsts nach Emissionsstufen
- > Berechnung der Schadstoffemissionen

Alle dafür nötigen Inputgrössen sind in nachfolgender Darstellung grau hinterlegt.

1. Schritt: Berechnung der Bestände je Maschinensegment und Baujahr

1a: Bestimmung der Bestände nach Segment. Ein Segment ist differenziert nach Maschinenkategorie (*Makat*), Motortyp (*Mtyp*) und Grössenklasse (*Gklasse*).

$$N_{Seg} = N_{Makat, Mtyp, Gklasse} = N_{Makat} \cdot \beta_{Makat, Mtyp, Gklasse}$$

mit: N_{Seg} = Maschinenbestand je Segment

N_{Makat} = Maschinenbestand je Maschinenkategorie

β_{Seg} = Motortyp- und Grössenklassenverteilung einer Maschinenkategorie

1b: Differenzierung des Mengengerüsts nach Baujahren mit Hilfe von Altersverteilungen

$$N_{Seg, Bjahr} = N_{Seg} \cdot \varpi_{Seg}$$

mit: $N_{Seg, Bjahr}$ = Maschinenbestand je Segment *Seg* und Baujahr *Bjahr*

ϖ_{Seg} = Altersverteilung der Bestände differenziert nach Segment *Seg*

2. Schritt: Ermittlung der Betriebsstunden

2a: Bestimmung der Betriebsstunden je Maschinenkategorie

$$H_{Makat} = N_{Makat} \cdot h_{Makat}$$

mit: H_{Makat} = Betriebsstunden je Maschinenkategorie **Makat** [h/a]

h_{Makat} = spezifische Betriebsstunden je Maschinenkategorie **Makat** [h/a]

2b: Bestimmung der (unausgeglichenen) Betriebsstunden je Segment

$$\tilde{H}_{Seg, Bjahr} = N_{Seg, Bjahr} \cdot h_{Seg}$$

mit: $H_{Seg, Bjahr}$ = Betriebsstunden je Segment **Seg** und Baujahr **Bjahr** [h/a]

h_{Seg} = spezifische Betriebsstunden je Segment **Seg** [h/a]

2c: Ausgleich der Betriebsstunden je Segment, so dass der Zielwert der spezifischen Betriebsstunden je Maschinenkategorie gemäss Schritt 2a erreicht wird.

$$H_{Seg, Bjahr} = \tilde{H}_{Seg, Bjahr} \cdot \frac{N_{Makat} \cdot h_{Makat}}{\sum_{Seg} \tilde{H}_{Seg, Bjahr}}$$

mit: h_{Makat} = spezifische Betriebsstunden je Maschinenkategorie **Makat** [h/a]

3. Schritt: Differenzierung des Mengengerüst nach Emissionsstufen

Bestimmung der Bestände und Betriebsstunden je Subsegment und Berücksichtigung der Altersabhängigkeit der Betriebsstunden. Ein nach Emissionskonzepten differenziertes Segment wird als Subsegment bezeichnet.

$$N_{Sub} = \sum_{EmStufe} N_{Seg, Baujahr}$$

$$H_{Sub} = \sum_{EmStufe} H_{Seg, Baujahr} \cdot \alpha (Alter)$$

mit: N_{Sub} = Maschinenbestand je Subsegments **Sub**

H_{Sub} = Betriebsstunde je Subsegment **Sub** [h/a]

$\alpha(Alter)$ = Altersabhängigkeit der Betriebsstunden

4. Schritt: Berechnung der Schadstoffemissionen

4a. Schritt: Bestimmung des Energieumsatzes je Subsegment

$$W_{Sub} = H_{Sub} \cdot P_{Gklasse}^{Nennleistung} \cdot \gamma_{Makat}^{Norm} \cdot \Delta_{Makat, Mtyp}^{LF} (Alter)$$

mit: W_{Sub} = Energieumsatz je Subsegment [kWh/a]

$$P_{Gklasse}^{Nennleistung} = \text{Nennleistung nach Segment [kW]}$$

$$\lambda_{Makat}^{Norm} = \text{Normlastfaktor gemäss ISO-Zyklus nach Maschinenkategorie in Funktion des Maschinenalters}$$

$$Cor_{Makat, Mtyp}^{LF(Alter)} = \text{Korrekturfaktor bei Abweichung der effektiven Last von der Normlast gemäss ISO-Zyklus C1}$$

4b. Schritt: Berechnung der Emissionen je Schadstoff und Subsegment, wobei die Emissionsfaktoren nach Schadstoff, Maschinengattung (Baumaschinen, landw. Maschinen, ...) und Emissionsstufe differenziert sind

$$Em_{Sub, Schadstoff} = W_{Sub} \cdot CF_1(\Delta_{Makat, Mtyp}^{LF}) \cdot CF_2_{Schadstoff, Makat} \cdot CF_3_{Mtyp}(Alter) \cdot \varepsilon_{Schadstoff, MaGatt, EmStufe}$$

mit: $Em_{Sub, Schadstoff}$ = Schadstoffemissionen je Subsegment [g/a]

$$CF_1(\Delta_{Makat, Mtyp}^{LF}) = \text{Korrekturfaktor für den spezifischen Verbrauch bei Abweichung des Lastfaktors von der Normlast gemäss ISO-Zyklus}$$

$$CF_2_{Schadstoff, Makat} = \text{Dynamikfaktor nach Schadstoff und Maschinenkategorie}$$

$$CF_3_{Schadstoff, Mtyp}(\sum H_{Sub}) = \text{Verschlechterungsrate nach Schadstoff und Motortyp in Abhängigkeit der kumulierten Betriebsstunden bei einem bestimmten Maschinenalter}$$

$$\varepsilon_{Schadstoff, MaGatt, EmStufe} = \text{Emissionsfaktor nach Schadstoff, Maschinengattung und Emissionsstufe [g/kWh]}$$

A2 Maschinengattungen und -Kategorien

Tab. 20 > Maschinengattungen und Maschinenkategorien des Non-road-Sektors

Wo in der letzten Spalte nichts anderes erwähnt ist, wurden die MOFIS-Datenbankeinträge folgendermassen eingegrenzt:

a) Baumaschinen und Industrie: Einträge mit Fahrzeugart «Arbeitsmaschine», «Arbeitskarren» oder «Motorkarren» (FAZ = 50, 51 oder 80).

b) Landwirtschaft: Einträge mit Fahrzeugart «Landwirtschaftlicher Arbeitskarren» oder «Landwirtschaftlicher Motorkarren» (FAZ = 52 oder 81).

Gattung	Kategorie	Abgrenzung/Definition in Datenquellen
Baumaschinen	Strassenfertiger	MOFIS: Karosserieform 204 (Strassenfertiger) Off-Highway Research: Asphalt finishers
Baumaschinen	Rambbären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	MOFIS: Karosserieform 282 (Ramme)
Baumaschinen	Walzen aller Art	MOFIS: Karosserieform 229 (Walze) oder 250 (Pneuwalze)
Baumaschinen	Vibratoren maschinell	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	
Baumaschinen	Seilbagger	
Baumaschinen	Pneu-/Mobilkräne	MOFIS: Karosserieform 156 (Kran), 179 (Pneukran) oder 311 (Kranwagen) Off-Highway Research: Mobile cranes
Baumaschinen	Grader	MOFIS: Karosserieform 140 (Planiermaschine) Off-Highway Research: Motor graders
Baumaschinen	LKW ohne Strassen-Zulassung	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Baumaschinen	Planierraupen	Off-Highway Research: Crawler dozers
Baumaschinen	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	MOFIS: Karosserieform 158 (Ladeschaufel), 259 (Ladeschaufel/Bagger) oder 277 (Ladeschaufel/Heckbagger) Off-Highway Research: crawler/backhoe/wheeled/skid-steer loaders
Baumaschinen	Dumper/Kipper	MOFIS: Karosserieform 152 (Kippmulde), 153 (Kippkasten) oder 231 (Wechselladekipper) Off-Highway Research: rigid/articulated dump trucks
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe, MinÖSt-Rückerstattungsanträge an Oberzolldirektion (OZD) mit Branchenangaben «Bau», «Gleisbau», «Tunnelbau»
Baumaschinen	Pumpen aller Art	MOFIS: Karosserieform 110 (Betonpumpe) oder 169 (Motorpumpe)
Baumaschinen	Kompressoren aller Art	MOFIS: Karosserieform 155 (Kompressor) Off-Highway Research: mobile compressors
Baumaschinen	Hubarbeitsbühnen	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Baumaschinen	Tunnel-Lokomotiven	
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	MOFIS: Karosserieform 169 (Bodenfräse) oder 346 (Belagfräse)
Baumaschinen	Grabenfräse	MOFIS: Karosserieform 248 (Grabenfräse)

Gattung	Kategorie	Abgrenzung/Definition in Datenquellen
Baumaschinen	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Baumaschinen	Minibagger	MOFIS: Karosserieform 245 (Bagger); Leistung <37 kW Off-Highway Research: Mini excavators
Baumaschinen	Raupenbagger	MOFIS: Karosserieform 245 (Bagger); Leistung >37 kW Off-Highway Research: Hydraulic excavator – crawler
Baumaschinen	Radbagger	MOFIS: Karosserieform 245 (Bagger); Leistung >37 kW Off-Highway Research: Hydraulic excavator – wheeled
Industrie	Gabelstapler aller Art	MOFIS: Karosserieform 133 (Gabelstapler), 168 (Seitengabelstapler) oder 198 (Teleskopstapler)
Industrie	Kehr- & Reinigungsmaschinen	MOFIS: Karosserieform 205 (Kehmaschine) oder 320 (Reinigungsmaschine)
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Industrie	Traktoren Ind	MOFIS: Fahrzeugart 42 (Traktor), oder Fahrzeugart 82 (Motorkarren) UND Karosserieform 251 (Kleintraktor)
Industrie	Pistenfahrzeuge	MOFIS: Karosserieform 281 (Pistenfahrzeug)
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Bestände im Airside-Bereich gemäss Angaben der Flughäfen Zürich und Genf
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	
Industrie	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	
Industrie	Flughafenvorfeld Generatoren	
Industrie	Flughafenvorfeld Traktoren	
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	
Industrie	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Dieselbetriebene Generatoren gemäss MinÖSt-Rückerstattungsanträgen an Oberzolldirektion (OZD), ausser Branchenangaben «Bau», «Gleisbau», «Tunnelbau», «Flughafen»
Landwirtschaft	Einachsmäher/Motoreinacher	LBZ: Motormäher, Einachstraktoren MOFIS: Fahrzeugart 83 (Landwirtschaftlicher Motoreinacher)
Landwirtschaft	Traktoren LW	LBZ: Traktoren MOFIS: Fahrzeugart 43 (Landwirtschaftlicher Traktor) Differenz MOFIS-LBZ wird den «Traktoren Hobby» zugerechnet. Begründungen: a) Alte Traktoren bleiben auf Betrieben, werden aber in der LBZ nicht erfasst; b) Z. T. sind andere Maschinenarten (z. B. Transporter, Zweiachsmäher in MOFIS als Traktoren immatrikuliert (ca. 3000–4000 Stück; s. Einträge zu entsprechenden Kategorien)
Landwirtschaft	Mähdrescher	LBZ: Mähdrescher MOFIS: Karosserieform 164 (Mähdrescher)+J69
Landwirtschaft	Spritzenmaschinen	LBZ: Pflanzenschutzspritzen MOFIS: Karosserieform 171 (Motorspritze) oder 318 (Mehrzweckspritze)
Landwirtschaft	Feldhäcksler	LBZ: Feldhäcksler MOFIS: Karosserieform 326 (Häcksler)
Landwirtschaft	Zweiachsmäher	LBZ: Zweiachsmäher MOFIS: Fahrzeugart 52 (Landwirtschaftlicher Arbeitskarren)

Gattung	Kategorie	Abgrenzung/Definition in Datenquellen
		oder 81 (Landwirtschaftlicher Motorkarren) mit Karosserieform 327 (Mäher), oder Fahrzeugart 43 (Traktor) mit Karosserieform 269 (Geräteträger)
Landwirtschaft	Transporter & Ladewagen	LBZ: Transporter MOFIS: Fahrzeugart 43 (Traktor) mit Karosserieformen 108 (Brücke), 151 (Kippbrücke), 220 (Transporter/Wechselaufbauten), 226 (Wechselaufbau), 238 (Brücke mit Ladekran), 255 (Wechselabrollaufbau Haken), 278 (Ladewagen), 330 (Mistzettler)
Landwirtschaft	Hoflader	LBZ: Hoflader, Kompakt-, Teleskop-Lader
Landwirtschaft	Motorsägen LW	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Differenz Fahrzeugart 43 (Landwirtschaftlicher Traktor) minus (Traktoren gemäss LBZ + fälschlicherweise als Traktoren immatrikulierte Zweiachsmäher und Transporter, s. entsprechende Kategorien)
Landwirtschaft	Zuckerrübenvollernter	Verkäufe Zuckerrübenvollernter gemäss SLV (Schweiz. Landmaschinenverband)
Forstwirtschaft	Motorsägen FW	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Forstwirtschaft	Freischneidegeräte	
Forstwirtschaft	Andere Kleingeräte	
Forstwirtschaft	Seil- und Zangenschlepper	
Forstwirtschaft	Vollernter	KWF-Statistik: Vollernter, Harvester
Forstwirtschaft	Prozessoren	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Forstwirtschaft	Holzhackler	
Forstwirtschaft	Entrindungsmaschinen	
Forstwirtschaft	Radbagger FW	
Forstwirtschaft	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	
Forstwirtschaft	Konventionelle Seilkräne	Bestandesschätzung aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe
Forstwirtschaft	Mobilseilkräne	
Forstwirtschaft	Kombiseilgeräte	
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Bestandesschätzungen aufgrund BAFU 2008, Expertengruppe; Anteil professioneller Einsatz basierend auf Schätzung Expertengruppe und Jardin Suisse (2012)
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	

Gattung	Kategorie	Abgrenzung/Definition in Datenquellen
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Bestandesschätzungen aufgrund BAFU 2008, Experten- gruppe, Verkäufen gemäss Umfrage bei Grossverteilern
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Motorschlitten (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	
Gartenpflege/Hobby	Rasenroboter	
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (prof)	
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (Hobby)	
Schiffe	Segelboote mit Motor	VKS-Statistik: Segelschiffe mit Maschinenantrieb
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	BAFU-Statistik Berufsfischer (BAFU 2010): Annahme, dass 3,15 Boote pro Fischer (basierend auf BAFU 2008)
Schiffe	Miet- & private Motorboote	BFS-Statistik (BFS 2012): Motorboote, minus Anzahl Berufsfischer- & Arbeitsboote
Schiffe	Fahrgastschiffe	Umfrage VSSU (Verband schweiz. Schifffahrtsunternehmen)
Schiffe	Lastschiffe	BFS-Statistik (BFS 2012): Lastschiffe, Schlepper
Schiffe	Fährschiffe	Umfrage VSSU (Verband schweiz. Schifffahrtsunternehmen)
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Haupt- motoren	INFRAS 2012
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	
Schiene	Rangierlokomotive	Angaben SBB, BLS: Rangierlokomotiven mit Dieselantrieb
Schiene	Zweikrafttraktoren	Angaben SBB, BLS: Schienentraktoren mit Hybridantrieb
Schiene	Traktoren Schiene	Angaben SBB, BLS: Schienentraktoren (inkl. Dienstwagen mit Dieselantrieb)
Militär	Pz 68 Familie	Angaben LBA
Militär	Leo Familie	
Militär	Pz Haubitze	
Militär	Schützenpanzer	Angaben LBA: Spz 2000 und M113
Militär	andere Panzer	Angaben LBA: Piranha I, II, IIIC, Duro IIIP
Militär	Aufklärungfahrzeuge	Angaben LBA: Eagle Familie
Militär	Raupenlader	Angaben LBA
Militär	Pneuladeschaufel	
Militär	Raupenbagger Mil.	
Militär	Schreitbagger Mil.	
Militär	Bulldozer	
Militär	Rammgerät	

Gattung	Kategorie	Abgrenzung/Definition in Datenquellen
Militär	Kranwagen	
Militär	Patrouillenboote	
Militär	andere Boote	
Militär	Sortiment Lenzeinsatz	
Militär	Stromerzeugungsaggregate	
Militär	Unterstützungsbrücke 46m	
Militär	Sortiment Wassertransport	

A3 Emissionsgrenzwerte

A3-1 Dieselbetriebene Maschinen ohne Schiffe und Schienenfahrzeuge

Tab. 21 > EU-Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren¹⁶ (in g/kWh)

Die Werte in Klammern sind Grenzwerte für die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen (HC+NO_x).

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<18 kW	-	-	-	-	-	8,0
18–37 kW	-	5,5	5,5	-	-	6,6
37–56 kW	6,5	5,0	5,0	5,0	-	5,0
56–75 kW	6,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
75–130 kW	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
130–300 kW	5,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
300–560 kW	5,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
>560 kW	-	-	-	-	-	3,5
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<18 kW	-	-	-	-	-	(7,5)
18–37 kW	-	1,5	(7,5)	-	-	(7,5)
37–56 kW	1,3	1,3	(4,7)	(4,7)	-	(4,7)
56–75 kW	1,3	1,3	(4,7)	0,19	0,19	0,19
75–130 kW	1,3	1,0	(4,0)	0,19	0,19	0,19
130–300 kW	1,3	1,0	(4,0)	0,19	0,19	0,19
300–560 kW	1,3	1,0	(4,0)	0,19	0,19	0,19
>560 kW	-	-	-	-	-	0,19
Stickoxide (NO_x)						
<18 kW	-	-	-	-	-	(7,5)
18–37 kW	-	8,0	(7,5)	-	-	(7,5)
37–56 kW	9,2	7,0	(4,7)	(4,7)	-	(4,7)
56–75 kW	9,2	7,0	(4,7)	3,3	0,4	0,4
75–130 kW	9,2	6,0	(4,0)	3,3	0,4	0,4
130–300 kW	9,2	6,0	(4,0)	2,0	0,4	0,4
300–560 kW	9,2	6,0	(4,0)	2,0	0,4	0,4
>560 kW	-	-	-	-	-	3,5

¹⁶ Für Schiffe, Boote und Schienenfahrzeuge gelten eigene Emissionsgrenzwerte (siehe nachfolgende Tabellen ab Seite 153)

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Partikel (PM)						
<18 kW	-	-	-	-	-	0,4
18–37 kW	-	0,8	0,6	-	-	0,015
37–56 kW	0,85	0,4	0,4	0,025	-	0,015
56–75 kW	0,85	0,4	0,4	0,025	0,025	0,015
75–130 kW	0,7	0,3	0,3	0,025	0,025	0,015
130–300 kW	0,54	0,2	0,2	0,025	0,025	0,015
300–560 kW	0,54	0,2	0,2	0,025	0,025	0,015
>560 kW	-	-	-	-	-	0,045

Quellen: EC 1997, 2014

Tab. 22 > Inkraftsetzungsjahr der Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren

Die Werte wurden auf das jeweilige Jahr aufgerundet.

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Baumaschinen, Industriemaschinen, Militär						
<18 kW	-	-	-	-	-	2019
18–37 kW	-	2002	2007	-	-	2019
37–56 kW	2002	2004	2008	2013	-	2019
56–75 kW	2002	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	2002	2003	2007	2012	2014	2020
>130 kW	2002	2002	2006	2011	2014	2019
Land- und forstwirtschaftliche Maschinen						
<18 kW	-	-	-	-	-	2019
18–37 kW	-	2003	2007	-	-	2019
37–56 kW	2003	2004	2008	2013		2019
56–75 kW	2003	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	2003	2004	2007	2012	2014	2020
>130 kW	-	2003	2006	2011	2014	2019

Quellen: EC 1997, 2014

A3-2

Benzinbetriebene Kleingeräte**Tab. 23 > EU-Emissionsgrenzwerte für benzinbetriebene Kleingeräte (in g/kWh)**

Die Werte in Klammern sind Grenzwerte für die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen (HC+NO_x).

Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-V	Leistungsklasse	EU-I	EU-II	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)							
<20 ccm	805	805	805	<66 ccm	519	610	610
20–50 ccm	805	805	805	66–100 ccm	519	610	610
>50 ccm	603	603	603	100–225 ccm	519	610	610
-	-	-	-	>225 ccm	519	610	610
Kohlenwasserstoffe (HC)							
<20 ccm	295	(50)	(50)	<66 ccm	(50)	(50)	(10)
20–50 ccm	241	(50)	(50)	66–100 ccm	(40)	(40)	(10)
>50 ccm	161	(72)	(72)	100–225 ccm	(16,1)	(16,1)	(10)
-	-	-	-	>225 ccm	(13,4)	(12,1)	(8)
Stickoxide (NO_x)							
<20 ccm	5,36	(50)	(50)	<66 ccm	(50)	(50)	(10)
20–50 ccm	5,36	(50)	(50)	66–100 ccm	(40)	(40)	(10)
>50 ccm	5,36	(72)	(72)	100–225 ccm	(16,1)	(16,1)	(10)
-	-	-	-	>225 ccm	(13,4)	(12,1)	(8)
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen							
<20 ccm	2004	2008	2019	<66 ccm	2004	2005	2019
20–50 ccm	2004	2008	2019	66–100 ccm	2004	2005	2019
>50 ccm	2004	2009	2019	100–225 ccm	2004	2005	2019
-	-	-	-	>225 ccm	2004	2007	2019

Quelle: EC 1997

A3-3

Schiffe und Boote

Tab. 24 > Emissionsgrenzwerte für dieselbetriebene Schiffe (in g/kWh)

Die Emissionsgrenzwerte der SAV-Stufen wurden auf der Grundlage mittlerer Leistungen berechnet.

Die Werte in Klammern sind Grenzwerte für die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen (HC+NO_x).

Leistungsklasse	SAV-I	SAV-II ¹⁷	EU-I	EU-II	EU-IIIa	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<18 kW	-	-	-	-	-	-
18–37 kW	100	45	-	-	-	-
37–75 kW	80	30	6,5	5,0	5,0	5
75–130 kW	60	20	5,0	5,0	5,0	5
130–300 kW	60	20	5,0	5,0	5,0	3,5
300–560 kW	60	20	5,0	5,0	5,0	3,5
560–1000 kW	60	20	5,0	5,0	5,0	3,5
>1000 kW	60	20	5,0	5,0	5,0	3,5
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<18 kW	-	-	-	-	-	-
18–37 kW	8,0	3,4	-	-	-	-
37–75 kW	6,0	2,2	1,3	1,3	(7,5)	(4,7)
75–130 kW	4,5	1,6	1,3	1,0	(7,2)	(5,4)
130–300 kW	4,0	1,3	1,3	1,0	(7,2)	1
300–560 kW	3,5	1,2	1,3	1,0	(7,2)	0,19
560–1000 kW	3,1	1,0	1,3	1,0	(7,2)	0,19
>1000 kW	3,1	1,0	1,3	1,0	(7,2)	0,19
Stickoxide (NO_x)						
<18 kW	-	-	-	-	-	-
18–37 kW	15	10	-	-	-	-
37–75 kW	15	10	9,2	7,0	(7,5)	(4,7)
75–130 kW	15	10	9,2	6,0	(7,2)	(5,4)
130–300 kW	15	10	9,2	6,0	(7,2)	2,1
300–560 kW	15	10	9,2	6,0	(7,2)	1,2
560–1000 kW	15	10	9,2	6,0	(7,2)	1,2
>1000 kW	15	10	9,2	6,0	(7,2)	0,4

Gesetzliche Grundlage der Emissionsgrenzwerte:

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.1,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.2,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 3.1.5,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 3.1.5,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.2 und

BSO (2005) Anhang C Abschnitt 3.2.3,

Die Partikelemissionsgrenzwerte in der

BSO sind als Bosch-Schwärzungszahl

(BSZ) angegeben.

Gemäss EC (2014)

¹⁷ Die Stufe II der Abgasvorschrift für Schiffsmotoren (SAV) ist nur für die Bodensee-Schifffahrt bindend.

Leistungsklasse	SAV-I	SAV-II ¹⁷	EU-I	EU-II	EU-IIIa	EU-V
Partikel (PM)						
<18 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	-	-	-	-
18–37 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	-	-	-	-
37–75 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,85	0,40	0,40	0,30
75–130 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,70	0,30	0,30	0,14
130–300 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,54	0,20	0,20	0,11
300–560 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,54	0,20	0,20	0,02
560–1000 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,54	0,20	0,20	0,02
>1000 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	0,54	0,20	0,20	0,01
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen						
alle Klassen	1995	1996	2003	2008	2009	2019

Tab. 25 > Emissionsgrenzwerte für dieselbetriebene Boote (in g/kWh)

Die Emissionsgrenzwerte der SAV-Stufen wurden auf der Grundlage mittlerer Leistungen berechnet.

Leistungsklasse	SAV-I	SAV-II	EU-I	EU-II
Kohlenmonoxid (CO)				
<4,4 kW	350	200	5	5
4,4–7,4 kW	250	125	5	5
7,4–37 kW	130	50	5	5
37–74 kW	80	30	5	5
74–100 kW	65	22	5	5
>100 kW	60	20	5	5
Kohlenwasserstoffe (HC)				
<4,4 kW	25	15	2,7	2,7
4,4–7,4 kW	17	9	2,3	2,3
7,4–37 kW	9	4	1,9	1,9
37–74 kW	6	2,2	1,8	(4,7)
74–100 kW	5	1,6	1,7	(5,8)
>100 kW	4	1,4	1,7	(5,8)
Stickoxide (NO_x)				
<4,4 kW	15	10	9,8	9,8
4,4–7,4 kW	15	10	9,8	9,8
7,4–37 kW	15	10	9,8	9,8
37–74 kW	15	10	9,8	(4,7)
74–100 kW	15	10	9,8	(5,8)
>100 kW	15	10	9,8	(5,8)
Partikel (PM)				
<4,4 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,30
4,4–7,4 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,30
7,4–37 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,30
37–74 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,15
74–100 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,15
>100 kW	4,0/3,0*	3,5/2,5*	1,0	0,15
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen				
alle Klassen	1995	1996	2007	2015

Gesetzliche Grundlage der Emissionsgrenzwerte:

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.1 und

BSO (2005) Anhang C Abschnitt 3.2.1,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.2 und

BSO (2005) Anhang C Abschnitt 3.2.3,

*Die Partikelemissionsgrenzwerte in der

BSO sind als Bosch-Schwärzungszahl

(BSZ) angegeben.

Gemäss BSO (2005) Anhang C Abschnitt

3.3.1.2,

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 3.1.1.

Tab. 26 > Emissionsgrenzwerte für benzinbetriebene Boote (in g/kWh)

Die Emissionsgrenzwerte der SAV-Stufen wurden auf der Grundlage mittlerer Leistungen berechnet.

Leistungsklasse	2-Takt-Benzinmotoren			4-Takt-Benzinmotoren		
	SAV-I	SAV-II	SAV/EU ¹⁸	SAV-I	SAV-II ¹⁹	EU-I
Kohlenmonoxid (CO)						
<4,4 kW	350	200	350	350	200	350
4,4–7,4 kW	250	125	250	250	125	250
7,4–37 kW	130	54	180	130	54	180
37–74 kW	80	30	160	80	30	160
74–100 kW	65	22	157	65	22	157
>100 kW	60	20	155	60	20	155
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<4,4 kW	25	15	28	25	15	28
4,4–7,4 kW	17	9,4	19	17	9,4	19
7,4–37 kW	9	4,0	11	9	4,0	11
37–74 kW	6	2,2	8,5	6	2,2	8,5
74–100 kW	5	1,6	7,8	5	1,6	7,8
>100 kW	4	1,4	7,3	4	1,4	7,3
Stickoxide (NO_x)						
<4,4 kW	15	8,5	15	15	8,5	15
4,4–7,4 kW	15	7,6	15	15	7,6	15
7,4–37 kW	15	6,3	15	15	6,3	15
37–74 kW	15	5,5	15	15	5,5	15
74–100 kW	15	5,1	15	15	5,1	15
>100 kW	15	5,0	15	15	5,0	15
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der EU-Emissionsstufen						
alle Klassen	1995	1996	2007	1993	1996	2007

Gesetzliche Grundlage der Emissionsgrenzwerte:

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.2.1 und BSO (2005) Anhang C Abschnitt 3.2.1, Gemäss BSO (2005) Anhang C Abschnitt 3.3.1.1.

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 3.1.1.

Gemäss SAV (2007) Abschnitt 7.3

identisch mit Wert für 4-Takt-Motoren.

¹⁸ Für 2-Takt-Motoren gilt gemäss der Abgasvorschrift für Schiffsmotoren (SAV) der gleiche Grenzwert wie für 4-Takt-Motoren

¹⁹ Die Stufe II der Abgasvorschrift für Schiffsmotoren (SAV) ist nur für die Bodensee-Schifffahrt bindend und seit 2006 zudem nur noch für Benzinmotoren mit einer Leistung >74 kW.

A3-4

Schienerfahrzeuge

Tab. 27 > Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge²⁰ (in g/kWh)

Die Werte der UIC sind Empfehlungen ohne bindende Wirkung. Die Werte in Klammern sind Grenzwerte für die Summe der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen (HC+NO_x).

Leistungsklasse	UIC-IA	UIC-IB	UIC-IC	UIC-II	UIC-III	EU-IIIa	EU-IIIb	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)								
<560 kW	8,0	4,0	3,0	2,5	2,0	3,5	3,5	3,5
>560 kW	8,0	4,0	3,0	3,0	2,0	3,5	3,5	3,5
Kohlenwasserstoffe (HC)								
<560 kW	2,4	1,6	0,8	0,6	0,5	(4,0)	(4,0)	(4,0)
>560 kW	2,4	1,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4
Stickoxide (NO_x)								
<560 kW	20,0	16,0	12,0	6,0	4,5	(4,0)	(4,0)	(4,0)
>560 kW	20,0	16,0	12,0	9,5	6,0	6,0	3,6	0,4
Partikel (PM)								
<560 kW	2,5	2,0	1,6	0,25	0,15	0,2	0,025	0,025
>560 kW	2,5	2,0	1,6	0,25	0,20	0,2	0,025	0,025
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen								
<560 kW	1982	1993	1997	2003	2008	2007	2012	2019
>560 kW	1982	1993	1997	2003	2008	2009	2012	2019

Quellen: IFEU 2003; EU-Grenzwerte: EC 2004

²⁰ Lokomotiven und Triebwagen werden in der EU-Richtlinie 97/68/EG separat behandelt, die Grenzwerte sind aber für die betrachteten Leistungsklassen identisch.

A4 Emissions- und Energieverbrauchsfaktoren

A4-1

Dieseltreibene Maschinen ohne Schiffe und Schienenfahrzeuge

Tab. 28 > Emissionsfaktoren von dieseltreibenden Maschinen (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe

Auf 2 Nachkommastellen gerundet. Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)								
<18 kW	6,71	6,71	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
18–37 kW	6,71	6,71	2,76	2,42	2,06	1,76	1,50	→ 1,50
37–56 kW	4,68	4,68	1,87	1,63	1,39	1,19	1,01	→ 1,01
56–75 kW	4,68	4,68	1,87	1,63	1,39	1,19	1,01	→ 1,01
75–130 kW	3,62	3,62	1,28	1,01	0,86	0,73	0,62	→ 0,62
130–560 kW	3,62	3,62	1,04	0,91	0,77	0,66	0,50	→ 0,50
>560 kW	3,62	3,62	1,04	0,91	0,77	0,66	0,50	→ 0,50
Kohlenwasserstoffe (HC)								
<18 kW	2,28	2,28	1,60	1,00	0,59	0,59	0,59	0,53
18–37 kW	2,41	2,41	0,92	0,56	0,37	0,37	0,37	0,37
37–56 kW	1,33	1,33	0,65	0,46	0,33	0,33	0,33	0,33
56–75 kW	1,33	1,33	0,65	0,46	0,33	0,13	0,13	0,13
75–130 kW	0,91	0,91	0,45	0,35	0,28	0,17	0,17	0,13
130–560 kW	0,91	0,91	0,43	0,30	0,22	0,17	0,17	0,13
>560 kW	0,91	0,91	0,43	0,30	0,22	0,17	0,17	0,13
Stickoxide (NO_x)								
<18 kW	10,31	8,20	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
18–37 kW	↑ 10,31	↑ 8,20	6,34	6,34	6,34	6,34	6,34	6,34
37–56 kW	12,40	9,87	8,95	6,56	3,90	→ 3,90	→ 3,90	→ 3,90
56–75 kW	12,40	9,87	8,95	6,56	3,90	3,30	0,40	0,40
75–130 kW	12,52	9,96	8,44	5,67	3,32	3,30	0,40	0,40
130–560 kW	12,52	9,96	8,19	5,66	3,38	2,00	0,40	0,40
>560 kW	12,52	9,96	8,19	5,66	→ 5,66	→ 5,66	→ 5,66	3,50
Partikel (PM)								
<18 kW	1,51	1,18	1,00	0,80	0,70	0,60	0,60	0,40
18–37 kW	1,20	0,94	0,74 ²¹	0,60	0,54	→ 0,54	→ 0,54	0,01
37–56 kW	1,09	0,85	0,47	0,32	→ 0,32	0,03	0,03	0,01
56–75 kW	1,09	0,85	0,47	0,32	→ 0,32	0,03	0,03	0,01
75–130 kW	0,61	0,47	0,35	0,24	→ 0,24	0,03	0,03	0,01
130–560 kW	0,61	0,47	0,22	0,16	→ 0,16	0,03	0,03	0,01
>560 kW	0,61	0,47	0,22	0,16	→ 0,16	→ 0,16	→ 0,16	0,05

Herkunft der Emissions- und

Verbrauchsfaktoren:

EPA-Wert.

EPA-Wert mit Absenkrate, die derjenigen der Schwarzrauchmessdaten entspricht.

Homologationswert zuzüglich Fertigungstoleranz.

Mittelwert aus Homologationswert und Grenzwert.

Aufspaltung des Grenzwertes für die

Summe aus HC + NO_x abzüglich 10 %.

Grenzwert abzüglich 30%.

Grenzwert abzüglich 10 %.

Grenzwert

Annahme, bzw. Übernahme des Wertes

einer anderen Emissionsstufe/Leistungs-kategorie (Pfeil).

²¹ Wert basiert auf den Auswertungen der Schwarzrauchmessdaten

Tab. 29 > Emissionsfaktoren von dieselbetriebenen Maschinen (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe*Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.*

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Methan (CH₄)²²								
<18 kW	0,0547	0,0547	0,0384	0,0240	0,0142	0,0142	0,0142	<i>0,0089</i>
18–37 kW	0,0578	0,0578	0,0221	0,0134	0,0089	0,0089	0,0089	<i>0,0089</i>
37–56 kW	0,0319	0,0319	0,0156	0,0110	0,0079	0,0055	0,0058	<i>0,0055</i>
56–75 kW	0,0319	0,0319	0,0156	0,0110	0,0079	0,0031	0,0031	<i>0,0031</i>
75–130 kW	0,0218	0,0218	0,0108	0,0084	0,0067	0,0031	0,0031	<i>0,0031</i>
130–560 kW	0,0218	0,0218	0,0103	0,0072	0,0053	0,0031	0,0031	<i>0,0031</i>
>560 kW	0,0218	0,0218	0,0103	0,0072	0,0053	0,0031	0,0031	<i>0,0031</i>
Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)²³								
<18 kW	2,23	2,23	1,56	0,98	0,58	0,58	0,58	<i>0,52</i>
18–37 kW	2,35	2,35	0,90	0,55	0,36	0,36	0,36	<i>0,36</i>
37–56 kW	1,30	1,30	0,63	0,45	0,32	0,32	0,32	<i>0,32</i>
56–75 kW	1,30	1,30	0,63	0,45	0,32	0,13	0,13	<i>0,13</i>
75–130 kW	0,89	0,89	0,44	0,34	0,27	0,13	0,13	<i>0,13</i>
130–560 kW	0,89	0,89	0,42	0,29	0,21	0,13	0,13	<i>0,13</i>
>560 kW	0,89	0,89	0,42	0,29	0,21	0,13	0,13	<i>0,13</i>
Lachgas (N₂O)								
0–3000 kW	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	<i>0,035</i>
Benzol (C₆H₆)²⁴								
<18 kW	0,0034	0,0034	0,0024	0,0015	0,0009	0,0009	0,0009	<i>0,0008</i>
18–37 kW	0,0036	0,0036	0,0014	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	<i>0,0006</i>
37–56 kW	0,0020	0,0020	0,0010	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	<i>0,0005</i>
56–75 kW	0,0020	0,0020	0,0010	0,0007	0,0005	0,0002	0,0002	<i>0,0002</i>
75–130 kW	0,0014	0,0014	0,0007	0,0005	0,0004	0,0002	0,0002	<i>0,0002</i>
130–560 kW	0,0014	0,0014	0,0006	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	<i>0,0002</i>
>560 kW	0,0014	0,0014	0,0006	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	<i>0,0002</i>

Quellen: IFEU 2009, INFRAS 2008

²² 2,4 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)²³ 97,6 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)²⁴ 0,15 % der Kohlenwasserstoffe (INFRAS 2008)

Tab. 30 > Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen

Ab dem bezeichneten Jahr werden die ersten Maschinen der jeweiligen Emissionsstufen in Verkehr gesetzt. Siehe Kap. 4.3.4 für die Annahmen zur verzögerten Einführung der Emissionsstufen.

Für Emissionsstufen, deren Emissionsfaktoren nicht auf Grenzwerten, sondern auf Annahmen beruhen (gemäss Kap. 4.3.3), ist das Inkraftsetzungsjahr in Klammern gesetzt.

Kursive Werte: Annahmen hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Baumaschinen, Industriemaschinen, Militär								
<18 kW	(<1996)	(1996)	(2002)	(2004)	(2008)	(2012)	-	2019
18–37 kW	(<1996)	(1996)	-	2002	2007	(2012)	-	2019
37–56 kW	(<1996)	(1996)	2002	2004	2008	(2012)	(2014)	2019
56–75 kW	(<1996)	(1996)	2002	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	(<1996)	(1996)	2002	2003	2007	2012	2014	2020
>130 kW	(<1996)	(1996)	2002	2002	2006	2011	2014	2019
Land- und forstwirtschaftliche Maschinen								
<18 kW	(<1996)	(1996)	(2003)	(2004)	(2004)	(2012)	-	2019
18–37 kW	(<1996)	(1996)	-	2003	2007	(2012)	-	2019
37–56 kW	(<1996)	(1996)	2003	2004	2008	(2012)	(2014)	2019
56–75 kW	(<1996)	(1996)	2003	2004	2008	2012	2014	2020
75–130 kW	(<1996)	(1996)	2003	2004	2007	2012	2014	2020
>130 kW	(<1996)	(1996)	-	2003	2006	2011	2014	2019

Quelle: EC 1997, 2014

A4-2

Flüssiggasbetriebene Maschinen**Tab. 31 > Emissionsfaktoren flüssiggasbetriebener Maschinen (in g/kWh)**

Die Emissionsfaktoren der gasbetriebenen Maschinen beruhen nicht auf Grenzwerten, sondern auf Messungen von Motoren mit unterschiedlichem Nachrüstungsgrad (mit resp. ohne Katalysator).

Schadstoff	ohne Nachbehandlung	mit Oxidationskat.	50 % mit 3-Wegekat.	100 % mit 3-Wegekat.
CO	10	0,2	0,2	0,2
HC	8	0,5	0,5	0,5
NO _x	10	10	6	2
PM	0,02	0,01	0,01	0,01
FC	450	450	455	460
CH ₄ ²⁵	0,552	0,035	0,035	0,035
NMHC ²⁶	7,448	0,466	0,466	0,466
N ₂ O	0,05	0,05	0,05	0,05
C ₆ H ₆	0	0	0	0

Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen

alle Klassen		1980	1994	2000
--------------	--	------	------	------

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren: Mayer 2005, EEA 2013

²⁵ 6,9 % der HC-Emissionen (EEA 2013)

²⁶ 93,1 % der HC-Emissionen (EEA 2013)

A4-3

Benzinbetriebene Geräte

Tab. 32 > Emissionsfaktoren von Geräten mit 4-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe

Für Geräte, die vor 2004 in Betrieb gesetzt wurden, beruhen die Emissionsfaktoren nicht auf Grenzwerten, sondern auf entsprechenden Annahmen (PreEU). Das Inkraftsetzungsjahr ist in Klammern gesetzt. Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	PreEU-C	EU-I	EU-II	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<66 ccm	470	470	470	467	→ 467	→ 467
66–100 ccm	470	470	470	467	→ 467	→ 467
100–225 ccm	470	470	470	467	→ 467	→ 467
>225 ccm	470	470	470	467	→ 467	→ 467
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<66 ccm	60	60	60	41	41	8
66–100 ccm	40	40	40	32	32	8
100–225 ccm	20	20	20	12	12	8
>225 ccm	20	20	20	10	9	6
Stickoxide (NO_x)						
<66 ccm	1,5	2	3	4,5	4,5	0,9
66–100 ccm	1,5	2	3	3,6	3,6	0,9
100–225 ccm	3,5	3,5	3,5	2,8	2,8	0,9
>225 ccm	3,5	3,5	3,5	2,2	1,9	0,72
Treibstoffverbrauch (FC)						
<66 ccm	500	500	500	480	480	460
66–100 ccm	480	480	480	470	470	460
100–225 ccm	460	460	460	450	450	450
>225 ccm	460	460	460	450	450	450
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen						
<66 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2005	2019
66–100 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2005	2019
100–225 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2009	2019
>225 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2007	2019

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren:
 Aufspaltung des Grenzwertes für die Summe aus HC + NO_x abzüglich 10 %, Absenkung parallel mit Reduktion der HC-Emissionen
 Grenzwert abzüglich 10 %
 Grenzwert
 Annahme, bzw. Übernahme des Wertes einer anderen Emissionsstufe/Leistungs-kategorie (Pfeil).

Tab. 33 > Emissionsfaktoren von Geräten mit 4-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol²⁷

Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	PreEU-C	EU-I	EU-II	EU-V
Methan (CH₄)²⁸						
<66 ccm	2,04	2,04	2,04	1,394	1,394	0,272
66–100 ccm	1,36	1,36	1,36	1,088	1,088	0,272
100–225 ccm	0,68	0,68	0,68	0,408	0,408	0,272
>225 ccm	0,68	0,68	0,68	0,34	0,306	0,204
Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)²⁹						
<66 ccm	58,0	58,0	58,0	39,6	39,6	7,7
66–100 ccm	38,6	38,6	38,6	30,9	30,9	7,7
100–225 ccm	19,3	19,3	19,3	11,6	11,6	7,7
>225 ccm	19,3	19,3	19,3	9,7	8,7	5,8
Lachgas (N₂O)						
0–3000 ccm	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Quellen: INFRAS 2008, IFEU 2009, EEA 2013

²⁷ Benzol-Emissionsfaktoren s. Tab. 43, S. 160

²⁸ 3,4 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

²⁹ 96,6 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

Tab. 34 > Emissionsfaktoren von Geräten mit 2-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe

Für Geräte, die vor 2004 in Betrieb gesetzt wurden, beruhen die Emissionsfaktoren nicht auf Grenzwerten, sondern auf entsprechenden Annahmen (PreEU). Das Inkraftsetzungsjahr ist in Klammern gesetzt. Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	PreEU-C	EU-I	EU-II	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<20 ccm	650	640	620	→ 600	→ 600	500
20–50 ccm	650	640	620	→ 600	→ 600	500
>50 ccm	650	640	620	540	540	500
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<20 ccm	260	250	150	100	41	41
20–50 ccm	260	250	150	100	41	41
>50 ccm	260	250	150	100	58	58
Stickoxide (NO_x)						
<20 ccm	1,5	2	3	4,8	4,5	4,5
20–50 ccm	1,5	2	3	4,8	4,5	4,5
>50 ccm	1,5	2	3	4,8	6,3	6,3
Treibstoffverbrauch (FC)						
<20 ccm	660	650	550	500	440	410
20–50 ccm	660	650	550	500	440	410
>50 ccm	660	650	550	500	460	410
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen						
<20 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2009	2019
20–50 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2009	2019
>50 ccm	(<1996)	(1996)	(2000)	2004	2011	2019

Quelle: BUWAL 1996

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren:
 Aufspaltung des Grenzwertes für die Summe aus HC + NO_x abzüglich 10 %, Absenkung parallel mit Reduktion der HC-Emissionen
 Grenzwert abzüglich 10 %
 Annahme, bzw. Übernahme des Wertes einer anderen Emissionsstufe/Leistungsklasse (Pfeil).

Tab. 35 > Emissionsfaktoren von Geräten mit 2-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol³⁰

Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	PreEU-C	EU-I	EU-II	EU-V
Methan (CH₄)³¹						
<20 ccm	18,2	17,5	10,5	7	2,87	2,87
20–50 ccm	18,2	17,5	10,5	7	2,87	2,87
>50 ccm	18,2	17,5	10,5	7	4,06	4,06
Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)³²						
<20 ccm	242	233	140	93	38	38
20–50 ccm	242	233	140	93	38	38
>50 ccm	242	233	140	93	54	54
Lachgas (N₂O)						
0–3000 ccm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Quellen: INFRAS 2008, IFEU 2009, EEA 2013

³⁰ Benzol-Emissionsfaktoren s.Tab. 43, S. 160

³¹ 7% der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

³² 93% der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

A4-4

Schiffe und Boote

Tab. 36 > Emissionsfaktoren dieselbetriebener Schiffe (in g/kWh)

*Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.
Nicht-regulierte Schadstoffe: Gleiche Emissionsfaktoren wie restliche Dieselmotoren (Tab. 28).*

Leistungsklasse	PreSAV	SAV	EU-I	EU-II	EU-IIIa	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<18 kW	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
18–37 kW	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
37–75 kW	5,9	5,9	5,9	4,5	4,5	4,5
75–130 kW	5	5	4,5	4,5	4,5	4,5
130–300 kW	5	5	4,5	4,5	4,5	3,15
300–560 kW	5	5	4,5	4,5	4,5	3,15
>560 kW	5	5	4,5	4,5	4,5	3,15
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<18 kW	10	7,2	5,0	3,0	2,0	2,0
18–37 kW	10	7,2	5,0	3,0	2,0	2,0
37–75 kW	10	5,4	1,2	1,2	1,1	0,42
75–130 kW	10	4,1	1,2	0,9	0,8	0,49
130–300 kW	5	3,6	1,2	0,9	0,8	→ 0,8
300–560 kW	5	3,2	1,2	0,9	0,8	0,17
>560 kW	5	2,8	1,2	0,9	0,8	0,17
Stickoxide (NO_x)						
<18 kW	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
18–37 kW	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
37–75 kW	12,4	12,4	8,3	6,3	5,7	4,23
75–130 kW	12,5	12,5	8,3	6,3	5,7	4,86
130–300 kW	12,5	12,5	8,3	6,3	5,7	2,1
300–1000 kW	12,5	12,5	8,3	6,3	5,7	1,2
>1000 kW	12,5	12,5	8,3	6,3	5,7	0,4
Partikel (PM)						
<18 kW	1,5	1,2	1,0	0,80	0,70	→ 0,70
18–37 kW	1,2	0,9	0,74	0,60	0,54	→ 0,54
37–75 kW	1,1	0,58	0,77	0,36	0,36	0,3
75–130 kW	0,6	0,47	0,63	0,27	0,27	0,14
130–300 kW	0,6	0,47	0,49	0,18	0,18	0,11
300–1000 kW	0,6	0,47	0,49	0,18	0,18	0,02
>1000 kW	0,6	0,47	0,49	0,18	0,18	0,01

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren:

Gleicher Wert wie für Dieselmotoren

(Tab. 28)

Aufspaltung des Grenzwertes HC + NO_x abzüglich 10 %

Grenzwert abzüglich 10 %

Grenzwert

Aufspaltung des Grenzwertes HC + NO_x

Annahme bzw. Übernahme des Wertes einer anderen Emissionsstufe (Pfeil)

Leistungsklasse	PreSAV	SAV	EU-I	EU-II	EU-IIIa	EU-V
Treibstoffverbrauch (FC)						
<18 kW	248	248	248	248	248	248
18–37 kW	248	248	248	248	248	248
37–75 kW	248	248	248	248	248	248
75–130 kW	223	223	223	223	223	223
>130 kW	223	223	223	223	223	223
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen						
alle Klassen	(<1995)	1995	2003	2008	2009	2019
Herkunft der Verbrauchsfaktoren: BUWAL 1996						

Tab. 37 > Emissionsfaktoren dieselbetriebener Boote (in g/kWh)

*Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.
Nicht-regulierte Schadstoffe: Gleiche Emissionsfaktoren wie restliche Dieselmotoren (Tab. 28).*

Leistungsklasse	PreSAV	SAV	EU-I	EU-II
Kohlenmonoxid (CO)				
<4,4 kW	6,7	6,7	4,5	4,5
4,4–7,4 kW	6,7	6,7	4,5	4,5
7,4–37 kW	6,7	6,7	4,5	4,5
37–74 kW	5,9	5,9	4,5	4,5
74–100 kW	5,0	5,0	4,5	4,5
>100 kW	5,0	3,6 (6%)	→ 3,6	→ 3,6
Kohlenwasserstoffe (HC)				
<4,4 kW	10	10	2,4	2,4
4,4–7,4 kW	10	10	2,1	2,1
7,4–37 kW	10	2,0 (23%)	1,7	1,7
37–74 kW	10	1,4 (23%)	→ 1,4	0,42
74–100 kW	10	1,2 (23%)	→ 1,2	0,52
>100 kW	5	1,2 (30%)	→ 1,2	0,52
Stickoxide (NO_x)				
<4,4 kW	13	11	8,8	8,8
4,4–7,4 kW	13	11 (71%)	8,8	8,8
7,4–37 kW	13	11 (71%)	8,8	8,8
37–74 kW	13	11 (71%)	8,8	4,23
74–100 kW	13	11 (71%)	8,8	5,22
>100 kW	13	11 (73%)	8,8	5,22

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren:

Gleicher Wert wie für Dieselmotoren (Tab. 28).

Aufspaltung des Grenzwertes für die Summe aus HC + NO_x abzüglich 10 %, Grenzwert unter Berücksichtigung der Grenzwertausnutzung (Wert in der Klammer) gemäss EMPA 2006, Grenzwert abzüglich 10 %, Grenzwert,

Aufspaltung des Grenzwertes für die Summe aus HC + NO_x

Annahme, bzw. Übernahme des Wertes einer anderen Emissionsstufe/Leistungs-kategorie (Pfeil).

Leistungsklasse	PreSAV	SAV	EU-I	EU-II
-----------------	--------	-----	------	-------

Partikel (PM)

<4,4 kW	1,5	1,2	0,9	0,9
4,4–7,4 kW	1,5	1,2	0,9	0,9
7,4–37 kW	1,2	1,1	0,9	0,9
37–74 kW	1,1	1,0	0,9	0,3
74–100 kW	0,9	0,9	0,9	0,15
>100 kW	0,9	0,9	0,9	0,15

Treibstoffverbrauch (FC)

<4,4 kW	400	400	400	400
4,4–7,4 kW	400	400	400	400
7,4–37 kW	400	380	380	380
37–74 kW	380	350	350	350
74–100 kW	400	330	330	330
>100 kW	300	300	300	300

Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen

alle Klassen	(<1995)	1995	2007	2015
--------------	---------	------	------	------

Herkunft der Verbrauchsfaktoren: BUWAL 1996a

Tab. 38 > Emissionsfaktoren benzinbetriebener Boote (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe

Leistungsklasse	2-Takt-Benzinmotoren			4-Takt-Benzinmotoren		
	PreSAV	SAV	SAV/EU	PreSAV	SAV	EU
Kohlenmonoxid (CO)						
<4,4 kW	645	315	315	350	315	315
4,4–7,4 kW	645	200 (79 %)	225	350	200 (79 %)	225
7,4–37 kW	645	100 (79 %)	162	350	100 (79 %)	162
37–74 kW	645	65 (79 %)	144	350	65 (79 %)	144
74–100 kW	645	55 (79 %)	141	350	55 (79 %)	141
>100 kW	645	45 (73 %)	139	350	45 (73 %)	139
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<4,4 kW	260	22	25	25	22	25
4,4–7,4 kW	260	12 (66 %)	13	20	12 (66 %)	13
7,4–37 kW	260	6,0 (66 %)	8	20	6,0 (66 %)	8
37–74 kW	260	4,0 (66 %)	6	20	4,0 (66 %)	6
74–100 kW	260	3,3 (66 %)	5	20	3,3 (66 %)	5
>100 kW	260	2,1 (52 %)	5	20	2,1 (52 %)	5
Stickoxide (NO_x)						
<4,4 kW	15	13	13	3,5	13	13
4,4–7,4 kW	15	9,3 (62 %)	→ 9,3	3,5	9,3 (62 %)	→ 9,3
7,4–37 kW	15	9,3 (62 %)	→ 9,3	3,5	9,3 (62 %)	→ 9,3
37–74 kW	15	9,3 (62 %)	→ 9,3	3,5	9,3 (62 %)	→ 9,3
74–100 kW	15	9,3 (62 %)	→ 9,3	3,5	9,3 (62 %)	→ 9,3
>100 kW	15	9,6 (64 %)	→ 9,6	3,5	9,6 (64 %)	→ 9,6
Treibstoffverbrauch (FC)						
<4,4 kW	700	400	400	400	400	400
4,4–7,4 kW	700	400	400	400	400	400
7,4–37 kW	650	380	380	380	380	380
37–74 kW	650	380	380	380	380	380
74–100 kW	650	380	380	380	380	380
>100 kW	650	380	380	380	380	380
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen						
alle Klassen	(<1995)	1995	2007	(<1995)	1995	2007
Herkunft der Verbrauchsfaktoren: BUWAL 1996a						

Herkunft der Emissions- und

Verbrauchsfaktoren:

Gleicher Wert wie für Benzinmotoren

(Tab. 32, Tab. 34),

Grenzwert abzüglich 10 %,

Grenzwert abzüglich 30 % wegen Pflicht

zu 10 Jahre langer Einhaltung des

Grenzwertes,

Grenzwert unter Berücksichtigung der

Grenzwertausnützung (Wert in der

Klammer) gemäss EMPA 2006,

Annahme, bzw. Übernahme des Wertes

einer anderen Emissionsstufe/Leistungs-

klasse (Pfeil).

Tab. 39 > Emissionsfaktoren benzinbetriebener Boote (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol³³

Leistungsklasse	2-Takt-Benzinmotoren			4-Takt-Benzinmotoren		
	PreSAV	SAV	SAV/EU	PreSAV	SAV	EU
Methan (CH₄)³⁴						
<4,4 kW	18,20	1,54	1,75	1,25	1,10	1,25
4,4–7,4 kW	18,20	0,84	0,91	1,00	0,60	0,65
7,4–37 kW	18,20	0,42	0,56	1,00	0,30	0,40
37–74 kW	18,20	0,42	0,56	1,00	0,20	0,30
74–100 kW	18,20	0,42	0,56	1,00	0,17	0,25
>100 kW	18,20	0,42	0,56	1,00	0,10	0,25
Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)³⁵						
<4,4 kW	241,8	20,5	23,3	23,8	20,9	23,8
4,4–7,4 kW	241,8	11,2	12,1	19,0	11,4	12,4
7,4–37 kW	241,8	5,6	7,4	19,0	5,7	7,6
37–74 kW	241,8	5,6	7,4	19,0	3,8	5,7
74–100 kW	241,8	5,6	7,4	19,0	3,1	4,8
>100 kW	241,8	5,6	7,4	19,0	2,0	4,8
Lachgas (N₂O)						
0–300 kW	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03

Quellen: INFRAS 2008, IFEU 2009, EEA 2013

³³ Benzol-Emissionsfaktoren s. Tab. 43, S. 160

³⁴ 4-Takter: 5 % der Kohlenwasserstoffe; 2-Takter: 7 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

³⁵ 4-Takter: 95 % der Kohlenwasserstoffe; 2-Takter: 93 % der Kohlenwasserstoffe (IFEU 2009)

Tab. 40 > Emissionsfaktoren dampfbetriebener Schiffe (in g/kWh)

Schadstoff	Dampf 1	Dampf 2	Dampf 3	Dampf 4	Dampf 5	Dampf 6	Dampf 7
CO	0,3	0,3	0,3	0,09	0,09	0,09	0,09
HC	0,449	0,449	0,449	0,33	0,33	0,33	0,33
NO _x	2,336	2,336	2,336	1,77	1,558	1,257	1,027
PM	0,033	0,024	0,015	0,009	0,006	0,006	0,006
FC	1406	1115	1115	1115	1115	1115	1115
CH ₄	0,0218	0,0218	0,0218	0,0218	0,0218	0,0103	0,0072
NMHC	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,42	0,29
N ₂ O	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
C ₆ H ₆	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0006	0,0005

Annahmen bezüglich Zeitpunkt der Verbesserung der Dampfschiffe

alle Klassen	<1950	1950	1980	1990	1995	2000	2005

Die Emissions- und Verbrauchsfaktoren der dampfbetriebenen Schiffe beruhen nicht auf Grenzwerten.

Folgende Quellen liegen ihnen zugrunde:

BUWAL 1996a, S. 218,

Annahme auf der Grundlage der

Verbrauchsangaben der Schifffahrtsunternehmen,

Übernahme der Werte der

entsprechenden restlichen

Dieselmotoren

A4-5

Schienerfahrzeuge

Tab. 41 > Emissionsfaktoren von Schienenfahrzeugen (in g/kWh)

*Kursive Werte: Annahme hinsichtlich zukünftiger Entwicklung der Emissionsfaktoren.
Nicht-regulierte Schadstoffe: Gleiche Emissionsfaktoren wie restliche Dieselmotoren (Tab. 28).*

Leistungsklasse	PreEU	UIC-I	UIC-II	EU-IIIa	EU-IIIb	EU-V
Kohlenmonoxid (CO)						
<560 kW	4,0	3,0	2,5	→ 2,5	→ 2,5	→ 2,5
>560 kW	4,0	3,0	3,0	→ 3,0	→ 3,0	→ 3,0
Kohlenwasserstoffe (HC)						
<560 kW	1,6	0,8	0,6	0,4	0,17	→ 0,17
>560 kW	1,6	0,8	0,8	0,5	0,4	0,36
Stickoxide (NO_x)						
<560 kW	13	12	6,0	3,2	1,8	→ 1,8
>560 kW	16	12	9,5	5,4	3,2	→ 3,2
Partikel (PM)						
<560 kW	0,6	0,5	0,25	0,18	0,025	0,025
>560 kW	0,6	0,5	0,25	0,18	0,025	0,025
Treibstoffverbrauch (FC)						
<560 kW	223	223	223	223	223	223
>560 kW	223	223	223	223	223	223
Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der EU-Emissionsstufen						
<560 kW		2000	2003	2006	2012	2020
>560 kW		2000	2003	2009	2012	2020

Herkunft der Emissions- und Verbrauchsfaktoren:

Werte für dieselbetriebene Maschinen,

Werte für dieselbetriebene Maschinen,

UIC-Grenzwertempfehlung Stufen UIC I-II

Grenzwert,

Annahme INFRAS

Annahme bzw. Übernahme des Wertes

einer anderen Emissionsstufe/

Leistungsklasse (Pfeil)

A4-6

Elektrisch betriebene Maschinen und Geräte**Tab. 42 > Wirkungsgrade elektrisch betriebener Maschinen und Geräte**

Die Werte entsprechen dem Gesamtwirkungsgrad von Motor, Akku und Ladegerät. Da in der Gattung «Gartenpflege/Hobby» auch kabelbetriebene Geräte vorkommen, wird dort zwischen Gerätekategorien mit ausschliesslichem Akkubetrieb (Rasenroboter sowie Kategorien der professionellen Anwender), ausschliesslichem Kabelbetrieb (Häcksler und Holzspalter) sowie gemischten Kategorien (restliche) unterschieden. Bei den gemischten Kategorien nimmt der Anteil Akku-Geräte über die Zeit zu (s. unterste Zeile).

Leistungsklasse	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Industrie (alle Geräte mit Akku)								
<18 kW	47 %	47 %	48 %	50 %	55 %	62 %	68 %	74 %
18–37 kW	48 %	49 %	49 %	51 %	57 %	63 %	70 %	77 %
37–56 kW	49 %	50 %	50 %	52 %	58 %	65 %	71 %	78 %
56–75 kW	50 %	50 %	50 %	53 %	59 %	65 %	72 %	78 %
Gartenpflege/Hobby								
<18 kW, Geräte mit Akku	40 %	44 %	52 %	60 %	64 %	66 %	68 %	70 %
<18 kW, Geräte mit Kabel	73 %	73 %	76 %	79 %	81 %	81 %	81 %	81 %
<18 kW, gemischte Kategorien	65 %	65 %	68 %	70 %	71 %	71 %	71 %	72 %
Anteil Geräte mit Akku in gemischten Kategorien	3 %	5 %	10 %	33 %	50 %	58 %	67 %	75 %

Quellen: de Haan und Zah 2013, Nipkow 1989, Expertengruppen, eigene Annahmen

A4-7

Benzol-Emissionen von Benzinmotoren nach Jahr

Tab. 43 > Benzol-Emissionen von Benzinmotoren nach Jahr

Da seit dem Jahr 2000 ein Grenzwert von 1 % Benzol im Benzin gilt, lassen sich die Benzol-Emissionsfaktoren für Benzinmotoren nicht nach Leistungsstufe auflisten. Die Tabelle enthält daher die durchschnittlichen Emissionsfaktoren nach Motortyp und Leistungsstufe in 10-Jahresintervallen. Die Benzol-Emissionen für Benzinmotoren berechnen sich als 5 % der Kohlenwasserstoffe bis zum Jahr 1999 und 0,8 % ab dem Jahr 2000 (vgl. INFRAS 2008). Die unten aufgelisteten durchschnittlichen Emissionsfaktoren sind etwas höher als die in Tab. 32 bis Tab. 39 angegebenen Werte für Kohlenwasserstoffe multipliziert mit den angegebenen Faktoren, da die Verschleissfaktoren (CF₃, vgl. Kap. 4.3.7) hier bereits mit eingerechnet sind.

Leistungsstufe	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Kleingeräte mit 4-Takt-Motoren								
<66 ccm	3.00	3.00	0.66	0.50	0.43	0.09	0.09	0.09
66–100 ccm	2.56	2.69	0.44	0.38	0.33	0.10	0.09	0.09
100–225 ccm	1.17	1.18	0.19	0.14	0.11	0.08	0.08	0.08
>225 ccm	1.45	1.45	0.23	0.14	0.10	0.07	0.07	0.07
Kleingeräte mit 2-Takt-Motoren								
<20 ccm	14.5	14.5	2.20	1.06	0.39	0.36	0.36	0.36
20–50 ccm	15.8	16.3	2.46	1.06	0.42	0.41	0.41	0.41
>50 ccm	16.6	16.8	2.47	1.08	0.60	0.60	0.60	0.60
Benzinbetriebene Boote mit 4-Takt-Motoren								
<4,4 kW	1.54	1.54	0.23	0.22	0.24	0.25	0.25	0.25
4,4–7,4 kW	1.27	1.26	0.16	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
7,4–37 kW	1.41	1.40	0.13	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
37–74 kW	1.26	1.25	0.11	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
74–100 kW	1.22	1.22	0.11	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
>100 kW	1.26	1.25	0.10	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
Benzinbetriebene Boote mit 2-Takt-Motoren								
<4,4 kW	16.9	16.9	1.26	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26
4,4–7,4 kW	16.9	16.9	1.20	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14
7,4–37 kW	16.9	16.9	1.16	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

A4-8

Umrechnungsfaktoren für Kohlendioxidemissionen**Tab. 44 > Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der CO₂-Emissionen***Gramm CO₂/Gramm Treibstoff³⁶.*

Treibstoff	Umrechnungsfaktor
Diesel	3,150 g/g
Benzin	3,141 g/g
Heizöl	3,140 g/g
Flüssiggas	2,558 g/g

³⁶ Die CO₂-Emissionen werden unabhängig vom Motortyp mit Hilfe dieser Umrechnungsfaktoren bestimmt. Dadurch werden die Kohlendioxidemissionen von Geräten mit 2-Takt-Motoren überschätzt, weil ein nennenswerter Teil des Kohlenstoffs bei diesen Motoren als Kohlenwasserstoff und Kohlenmonoxid emittiert wird.

A4-9

Korrekturfaktoren für Partikelemissionen bei Partikelfiltereinsatz

Tab. 45 > Korrekturfaktoren zur Ermittlung der Partikel-Emissionen (PM) bei Einsatz von Partikelfiltern

Leistungsklasse	PreEU-A	PreEU-B	EU-I	EU-II	EU-III A	EU-III B	EU-IV	EU-V
Dieselmotoren ohne Schiffe und Schienenfahrzeuge								
<18 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15
18–37 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
37–56 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	1,0
56–75 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	1,0
75–130 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	1,0
130–560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	1,0
>560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,37
Schiffe								
<18 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,1
18–37 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,1
37–56 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,01
56–75 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,01
75–130 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,01
130–560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	0,01
>560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	–	–	1
Schienenfahrzeuge								
<18 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
18–37 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
37–56 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
56–75 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
75–130 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
130–560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6
>560 kW	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	–	0,6

A5 Nennleistungen und Lastfaktoren

Tab. 46 > Nennleistungen, Normlastfaktoren und effektive Lastfaktoren für die einzelnen Maschinenkategorien

Gattung	Kategorie	Motortyp	Nennleistung kW	Lastfaktor		
				Normwert	Abweichung	Effektiv
Baumaschinen	Strassenfertiger	Diesel	71	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Rambären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	95	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Walzen aller Art	Diesel	42	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Vibratoren maschinell	Diesel	72	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	5	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	4	0.20	1.00	0.20
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	3	0.20	1.00	0.20
Baumaschinen	Seilbagger	Diesel	103	0.48	0.73	0.35
Baumaschinen	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	153	0.48	0.63	0.30
Baumaschinen	Grader	Diesel	130	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	200	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	Planierraupen	Diesel	129	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	107	0.48	0.73	0.35
Baumaschinen	Dumper/Kipper	Diesel	74	0.48	0.73	0.35
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	125	0.47	0.98	0.46
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	8	0.47	1.00	0.47
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Diesel	15	0.77	1.00	0.77
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	5	0.20	1.00	0.20
Baumaschinen	Kompressoren aller Art	Diesel	62	0.47	0.98	0.46
Baumaschinen	Hubarbeitsbühnen	Diesel	72	0.48	0.42	0.20
Baumaschinen	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	193	0.48	0.60	0.29
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Diesel	133	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	12	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	Grabenfräse	Diesel	22	0.48	1.00	0.48
Baumaschinen	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	96	0.48	0.73	0.35
Baumaschinen	Minibagger	Diesel	19	0.48	0.66	0.32
Baumaschinen	Raupenbagger	Diesel	98	0.48	0.87	0.42
Baumaschinen	Radbagger	Diesel	68	0.33	1.00	0.33
Industrie	Gabelstapler aller Art	Diesel	41	0.48	0.42	0.20
Industrie	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	28	0.20	1.00	0.20
Industrie	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	41	0.20	1.00	0.20
Industrie	Gabelstapler aller Art	Elektrizität	16	0.48	0.42	0.20
Industrie	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	59	0.48	0.42	0.20
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	67	0.48	0.42	0.20
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Elektrizität	-	0.48	0.42	0.20
Industrie	Traktoren Ind	Diesel	35	0.48	0.52	0.25
Industrie	Traktoren Ind	Benzin (4T)	20	0.48	0.52	0.25
Industrie	Pistenfahrzeuge	Diesel	226	0.48	1.00	0.48

Gattung	Kategorie	Motortyp	Nennleistung kW	Lastfaktor		
				Normwert	Abweichung	Effektiv
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	65	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	65	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	65	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Elektrizität	65	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	70	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	70	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	130	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	150	0.47	0.98	0.46
Industrie	Flughafenvorfeld Traktoren	Elektrizität	70	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	50	0.20	1.00	0.20
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Elektrizität	50	0.20	1.00	0.20
Industrie	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	174	0.47	0.98	0.46
Landwirtschaft	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	8	0.48	0.83	0.40
Landwirtschaft	Traktoren LW	Diesel	62	0.48	0.63	0.30
Landwirtschaft	Mähdrescher	Diesel	163	0.48	0.83	0.40
Landwirtschaft	Spritzenmaschinen	Diesel	25	0.48	0.63	0.30
Landwirtschaft	Feldhäcksler	Diesel	193	0.48	0.83	0.40
Landwirtschaft	Zweiachsmäher	Diesel	40	0.48	0.63	0.30
Landwirtschaft	Transporter & Ladewagen	Diesel	45	0.48	0.63	0.30
Landwirtschaft	Hoflader	Diesel	35	0.48	0.63	0.30
Landwirtschaft	Motorsägen LW	Benzin (2T)	3	0.50	1.70	0.85
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Diesel	43	0.48	0.42	0.20
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	35	0.48	0.42	0.20
Landwirtschaft	Zuckerrübenvollernter	Diesel	380	0.48	0.63	0.30
Forstwirtschaft	Motorsägen FW	Benzin (2T)	4	0.50	1.70	0.85
Forstwirtschaft	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	3	0.28	1.79	0.50
Forstwirtschaft	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	4	0.28	1.00	0.28
Forstwirtschaft	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	69	0.48	0.63	0.30
Forstwirtschaft	Vollernter	Diesel	117	0.48	1.00	0.48
Forstwirtschaft	Prozessoren	Diesel	55	0.48	1.00	0.48
Forstwirtschaft	Holzhammer	Diesel	284	0.48	1.00	0.48
Forstwirtschaft	Entrindungsmaschinen	Diesel	272	0.48	1.00	0.48
Forstwirtschaft	Radbagger FW	Diesel	95	0.48	0.83	0.40
Forstwirtschaft	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	124	0.48	1.00	0.48
Forstwirtschaft	Konventionelle Seilkräne	Diesel	62	0.48	0.42	0.20
Forstwirtschaft	Mobilseilkräne	Diesel	91	0.48	0.42	0.20
Forstwirtschaft	Kombiseilgeräte	Diesel	125	0.48	0.42	0.20
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Elektrizität	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	1	0.28	1.79	0.50

Gattung	Kategorie	Motortyp	Nennleistung kW	Lastfaktor		
				Normwert	Abweichung	Effektiv
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	4	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	8	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	3	0.50	1.70	0.85
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	4	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	4	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	2	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	2	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Elektrizität	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	2	0.48	1.04	0.50
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Elektrizität	2	0.48	1.04	0.50
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	2	0.48	1.04	0.50
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	2	0.48	1.04	0.50
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Elektrizität	2	0.48	1.04	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Elektrizität	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Elektrizität	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Elektrizität	1	0.28	1.79	0.50
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	4	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Elektrizität	4	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	8	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	2	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Elektrizität	2	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Motorschlitten (hobby)	Benzin (4T)	4	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Elektrizität	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	4	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Elektrizität	4	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	4	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Elektrizität	4	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	2	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Elektrizität	2	0.48	1.00	0.48
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Elektrizität	2	0.28	1.00	0.28
Gartenpflege/Hobby	Rasenroboter	Elektrizität	0	1.00	1.00	1.00
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	5	0.50	1.00	0.50
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (Hobby)	Elektrizität	5	0.50	1.00	0.50

Gattung	Kategorie	Motortyp	Nennleistung kW	Lastfaktor		
				Normwert	Abweichung	Effektiv
Schiffe	Segelboote mit Motor	Diesel	17	0.48	0.63	0.30
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	4	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	3	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	175	0.48	0.63	0.30
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	37	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	3	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Diesel	131	0.48	0.63	0.30
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	62	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	4	0.30	1.00	0.30
Schiffe	Fahrgastschiffe	Diesel	449	0.62	1.00	0.62
Schiffe	Fahrgastschiffe	Dampf (Heizöl)	489	0.62	1.00	0.62
Schiffe	Lastschiffe	Diesel	218	0.62	1.00	0.62
Schiffe	Fährschiffe	Diesel	670	0.62	1.00	0.62
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	1'300	0.48	0.42	0.20
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	40	0.40	0.42	0.17
Schiene	Rangierlokomotive	Diesel	794	0.33	0.48	0.16
Schiene	Zweikrafttraktoren	Diesel	200	0.33	0.48	0.16
Schiene	Traktoren Schiene	Diesel	259	0.33	0.48	0.16
Militär	Leo Familie	Diesel	800	0.48	0.50	0.24
Militär	Pz Haubitze	Diesel	200	0.48	0.50	0.24
Militär	Schützenpanzer	Diesel	261	0.48	0.50	0.24
Militär	andere Panzer	Diesel	200	0.48	0.50	0.24
Militär	Aufklärungfahrzeuge	Diesel	95	0.48	0.50	0.24
Militär	Raupenlader	Diesel	200	0.48	0.73	0.35
Militär	Pneuladeschaufel	Diesel	95	0.48	0.73	0.35
Militär	Raupenbagger Mil.	Diesel	95	0.48	1.00	0.48
Militär	Schreitbagger Mil.	Diesel	95	0.48	0.60	0.29
Militär	Rammgerät	Diesel	55	0.48	0.60	0.29
Militär	Kranwagen	Diesel	204	0.48	0.63	0.30
Militär	Patrouillenboote	Diesel	22	0.48	0.63	0.30
Militär	andere Boote	Benzin (4T)	22	0.30	1.00	0.30
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	47	0.47	0.98	0.46
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	5	0.47	0.98	0.46
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	2	0.47	0.98	0.46
Militär	Sortiment Wassertransport	Diesel	95	0.48	0.60	0.29

A6 Maschinenkategorien mit dynamischem Schadstoffausstoss

Tab. 47 > Maschinenkategorien mit dynamischem Schadstoffausstoss

Aufgelistet sind die Maschinenkategorien mit dynamischem Ausstoss von Partikeln (PM) und Kohlenmonoxid (CO). Die Dynamikfaktoren für NO_x ab Stufe IV (vgl. Tab. 10) werden für alle Dieselmotoren mit Leistungen von 56 bis 560 kW angewendet.

Gattung	Kategorie	Gattung	Kategorie
Baumaschinen	Strassenfertiger	Forstwirtschaft	Vollernter
Baumaschinen	Walzenzüge aller Art	Forstwirtschaft	Prozessoren
Baumaschinen	Raupenbagger	Forstwirtschaft	Holzhammer
Baumaschinen	Radbagger	Forstwirtschaft	Entrindungsmaschinen
Baumaschinen	Minibagger	Forstwirtschaft	Radbagger
Baumaschinen	Seilbagger	Forstwirtschaft	Tragschlepper und Klemmbankschlepper
Baumaschinen	Pneu-/Mobilkräne	Forstwirtschaft	Konventionelle Seilkräne
Baumaschinen	Grader	Forstwirtschaft	Mobilseilkräne
Baumaschinen	LKW ohne Strassen-Zulassung	Schiffe	Miet- & private Motorboote
Baumaschinen	Planierraupen	Schiene	Rangierlokomotiven
Baumaschinen	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Militär	Pz 68 Familie
Baumaschinen	Dumper/Kipper	Militär	Leo 87
Baumaschinen	Tunnel-Lokomotiven	Militär	Pz Haubitze
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Militär	Schützenpanzer
Baumaschinen	Grabenfräse	Militär	andere Panzer
Industrie	Gabelstapler aller Art	Militär	Aufklärungfahrzeuge
Industrie	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Militär	Raupenlader
Industrie	Traktoren (Ind.)	Militär	Pneuladeschaufel
Landwirtschaft	Traktoren LW	Militär	Raupenbagger
Landwirtschaft	Mähdrescher	Militär	Schreitbagger
Landwirtschaft	Spritzenmaschinen	Militär	Bulldozer
Landwirtschaft	Feldhäcksler	Militär	Kranwagen
Landwirtschaft	Zweiachsmäher	Militär	Patrouillenboote
Landwirtschaft	Transporter & Ladewagen		
Landwirtschaft	Hoflader		
Landwirtschaft	Zuckerrübenvollernter		

A7 Bestände und Betriebsstunden nach Maschinengattung

Tab. 48 > Bestände

Gattung	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Baumaschinen	63'364	58'816	52'729	57'102	60'384	62'726	64'370	65'520
Industrie	26'714	43'244	70'671	69'786	69'757	70'083	70'314	70'451
Landwirtschaft	292'773	324'567	337'869	318'876	309'825	305'235	302'413	302'336
Forstwirtschaft	11'815	13'844	13'055	11'857	10'831	10'170	9'787	9'559
Gartenpflege/Hobby	1'198'841	1'539'624	1'944'373	2'322'737	2'464'323	2'499'627	2'508'448	2'510'652
Schiffe	94'866	103'383	93'912	95'055	97'522	99'104	100'040	100'595
Schiene	529	1'300	1'255	697	640	640	640	640
Militär	13'092	13'373	14'272	13'083	12'853	12'856	12'537	12'537
Summe	1'701'994	2'098'151	2'528'136	2'889'193	3'026'135	3'060'441	3'068'549	3'072'290

Tab. 49 > Gesamte Betriebsstunden (in Mio. h/a)

Gattung	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Baumaschinen	15.7	19.0	21.4	23.8	25.6	26.9	27.8	28.5
Industrie	17.8	29.0	48.4	47.5	47.1	47.0	47.0	47.0
Landwirtschaft	39.9	38.8	37.7	33.0	30.6	29.0	28.0	27.5
Forstwirtschaft	2.4	2.8	2.6	2.3	2.0	1.9	1.8	1.7
Gartenpflege/Hobby	14.6	25.7	39.3	149.7	190.8	201.3	203.9	204.5
Schiffe	3.7	3.9	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Schiene	0.5	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Militär	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Summe	95	121	155	261	301	311	313	314

Tab. 50 > Spezifische Betriebsstunden (in h/a)

Gattung	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Baumaschinen	247	322	406	417	424	429	432	435
Industrie	666	670	684	680	675	671	668	667
Landwirtschaft	136	119	112	103	99	95	93	91
Forstwirtschaft	203	199	203	193	188	182	180	178
Gartenpflege/Hobby	12	17	20	64	77	81	81	81
Schiffe	39	38	38	36	35	35	34	34
Schiene	877	613	617	783	719	719	719	719
Militär	64	64	63	73	74	74	74	74

A8 Bestände und Betriebsstunden nach Maschinenkategorien

Tab. 51 > Bestände und Betriebsstunden nach Maschinenkategorie

Referenzjahr 2010.

Gattung	Kategorie	Motortyp	Bestand	Betriebsstunden [h/a]	spez.BetrStd [h/a/Stk.]	Mittleres Alter [a]
Baumaschinen	Strassenfertiger	Diesel	400	120'000	300	4.7
Baumaschinen	Rambären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	60	18'000	300	4.7
Baumaschinen	Walzen aller Art	Diesel	3'000	900'000	300	4.7
Baumaschinen	Vibratoren maschinell	Diesel	85	25'641	302	4.7
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	3'000	1'049'950	350	4.7
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	1'932	579'601	300	3.6
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	5'568	1'670'449	300	3.6
Baumaschinen	Seilbagger	Diesel	120	24'000	200	7.2
Baumaschinen	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	850	267'827	315	4.7
Baumaschinen	Grader	Diesel	189	94'500	500	5.9
Baumaschinen	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	150	105'000	700	8.8
Baumaschinen	Planierraupen	Diesel	325	113'750	350	4.7
Baumaschinen	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	7'333	3'707'198	506	4.7
Baumaschinen	Dumper/Kipper	Diesel	5'300	2'650'000	500	4.7
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	992	106'515	107	7.2
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	2'208	175'085	79	3.6
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Diesel	162	23'613	146	4.7
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	538	78'695	146	3.6
Baumaschinen	Kompressoren aller Art	Diesel	7'650	1'530'000	200	4.7
Baumaschinen	Hubarbeitsbühnen	Diesel	340	104'202	306	4.7
Baumaschinen	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	110	55'000	500	4.7
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Diesel	161	76'133	473	4.7
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	989	458'176	463	3.6
Baumaschinen	Grabenfräse	Diesel	50	15'000	300	4.7
Baumaschinen	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	230	139'000	604	4.7
Baumaschinen	Minibagger	Diesel	7'400	3'922'000	530	4.7
Baumaschinen	Raupenbagger	Diesel	5'470	4'016'716	734	8.8
Baumaschinen	Radbagger	Diesel	2'490	1'782'955	716	8.8
Industrie	Gabelstapler aller Art	Diesel	11'520	8'294'400	720	8.8
Industrie	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	720	518'400	720	8.8
Industrie	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	2'160	1'555'200	720	8.8
Industrie	Gabelstapler aller Art	Elektrizität	43'300	31'176'000	720	8.8
Industrie	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	670	670'000	1'000	5.9
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	1'801	900'400	500	7.2
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Elektrizität	2'701	1'350'600	500	7.2

Gattung	Kategorie	Motortyp	Bestand	Betriebsstunden [h/a]	spez. BetrStd [h/a/Stk.]	Mittleres Alter [a]
Industrie	Traktoren Ind	Diesel	2'640	792'000	300	7.2
Industrie	Traktoren Ind	Benzin (4T)	360	108'000	300	7.2
Industrie	Pistenfahrzeuge	Diesel	1'400	980'000	700	7.2
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	213	102'125	480	3.5
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	536	257'203	480	3.5
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	16	7'565	480	3.5
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Elektrizität	24	11'347	480	3.5
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	258	98'154	380	3.8
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	57	21'546	380	3.8
Industrie	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	332	33'200	100	4.3
Industrie	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	79	71'100	900	7.2
Industrie	Flughafenvorfeld Traktoren	Elektrizität	272	136'000	500	7.2
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	51	30'780	600	7.2
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Elektrizität	462	277'020	600	7.2
Industrie	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	215	66'005	307	7.2
Landwirtschaft	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	55'674	6'680'880	120	18.8
Landwirtschaft	Traktoren LW	Diesel	106'504	20'208'297	190	20.7
Landwirtschaft	Mähdrescher	Diesel	2'499	274'890	110	6.7
Landwirtschaft	Spritzenmaschinen	Diesel	1'850	239'760	130	11.1
Landwirtschaft	Feldhäcksler	Diesel	409	48'942	120	8.9
Landwirtschaft	Zweiachsmäher	Diesel	13'907	1'702'159	122	9.6
Landwirtschaft	Transporter & Ladewagen	Diesel	17'105	1'368'341	80	10.4
Landwirtschaft	Hoflader	Diesel	8'455	845'500	100	7.8
Landwirtschaft	Motorsägen LW	Benzin (2T)	90'132	1'802'640	20	3.6
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Diesel	21'146	440'382	21	36.3
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	3'442	51'378	15	31.7
Landwirtschaft	Zuckerrübensvollernter	Diesel	150	21'000	140	2.4
Forstwirtschaft	Motorsägen FW	Benzin (2T)	6'600	900'000	136	1.1
Forstwirtschaft	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	1'933	289'950	150	1.1
Forstwirtschaft	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	1'750	105'000	60	2.4
Forstwirtschaft	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	1'250	750'000	600	5.9
Forstwirtschaft	Vollernter	Diesel	40	36'000	900	3.2
Forstwirtschaft	Prozessoren	Diesel	10	7'250	725	4.4
Forstwirtschaft	Holzhacker	Diesel	43	38'700	900	3.8
Forstwirtschaft	Entrindungsmaschinen	Diesel	4	3'200	800	6.5
Forstwirtschaft	Radbagger FW	Diesel	39	19'500	500	5.9
Forstwirtschaft	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	125	115'000	920	3.6
Forstwirtschaft	Konventionelle Seilkräne	Diesel	73	36'500	500	8.0
Forstwirtschaft	Mobilseilkräne	Diesel	70	40'600	580	5.4
Forstwirtschaft	Kombiseilgeräte	Diesel	15	13'500	900	5.4
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	2'000	400'000	200	2.9
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	28'000	5'600'000	200	2.9

Gattung	Kategorie	Motortyp	Bestand	Betriebsstunden [h/a]	spez. BetrStd [h/a/Stk.]	Mittleres Alter [a]
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	4'126	618'959	150	3.6
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Elektrizität	15'000	2'249'941	150	3.6
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	826	92'557	112	3.0
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	3'098	347'088	112	4.2
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	15'720	1'572'000	100	2.9
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	6'000	1'200'000	200	3.6
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	5'502	550'200	100	2.4
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	1'310	655'000	500	3.6
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	2'620	393'000	150	3.6
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	1'965	157'200	80	3.6
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	8'000	440'000	55	4.7
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	4'585	1'375'500	300	4.7
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Elektrizität	13'000	3'900'000	300	4.7
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	5'556	333'346	60	3.0
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Elektrizität	25'000	1'500'014	60	3.0
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	1'395	209'268	150	1.1
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	632	94'807	150	1.1
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Elektrizität	24'014	3'602'076	150	1.1
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	9'167	57'292	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	114'167	713'542	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Elektrizität	261'300	1'633'122	6	3.0
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	12'933	81'598	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Elektrizität	163'338	1'030'515	6	3.0
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	833	5'208	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	13'000	81'250	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Elektrizität	23'056	144'098	6	3.0
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	433'421	4'875'986	11	5.9
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Elektrizität	485'898	5'466'352	11	5.9
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	11'667	145'838	13	5.9
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	130'895	818'095	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Elektrizität	191'088	1'194'299	6	5.9
Gartenpflege/Hobby	Motorschlitten (hobby)	Benzin (4T)	1'500	15'000	10	5.9
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	4'583	13'750	3	5.9
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Elektrizität	46'769	140'306	3	5.9
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	18'333	114'583	6	4.7
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Elektrizität	15'278	95'486	6	5.9
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	2'833	7'650	3	5.9
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Elektrizität	47'223	127'501	3	5.9
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	24'833	1'117'487	45	5.9
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Elektrizität	2'980	134'098	45	5.9
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	7'000	140'000	20	5.9
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Elektrizität	10'000	200'000	20	5.9

Gattung	Kategorie	Motortyp	Bestand	Betriebsstunden [h/a]	spez. BetrStd [h/a/Stk.]	Mittleres Alter [a]
Gartenpflege/Hobby	Rasenroboter	Elektrizität	87'500	105'000'000	1'200	4.2
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	400	12'000	30	5.9
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (Hobby)	Elektrizität	34'394	1'031'820	30	5.9
Schiffe	Segelboote mit Motor	Diesel	10'669	320'499	30	8.8
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	5'350	160'714	30	5.9
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	5'274	158'417	30	5.9
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	137	70'221	511	8.8
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	801	409'157	511	5.9
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	16	8'122	511	5.9
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Diesel	4'263	127'948	30	8.8
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	44'259	1'328'425	30	5.9
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	11'404	342'277	30	5.9
Schiffe	Fahrgastschiffe	Diesel	132	157'989	1'197	25.5
Schiffe	Fahrgastschiffe	Dampf (Heizöl)	14	11'061	790	9.9
Schiffe	Lastschiffe	Diesel	244	122'000	500	25.5
Schiffe	Fährschiffe	Diesel	8	28'000	3'500	25.5
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	6'243	9'159	1	25.5
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	6'243	207'725	33	7.2
Schiene	Rangierlokomotive	Diesel	202	323'200	1'600	17.7
Schiene	Zweikrafttraktoren	Diesel	2	600	300	20.9
Schiene	Traktoren Schiene	Diesel	493	221'850	450	23.8
Militär	Leo Familie	Diesel	286	6'292	22	21.0
Militär	Pz Haubitze	Diesel	298	5'364	18	32.5
Militär	Schützenpanzer	Diesel	555	19'980	36	31.4
Militär	andere Panzer	Diesel	1'300	299'000	230	11.9
Militär	Aufklärungfahrzeuge	Diesel	383	57'450	150	11.9
Militär	Raupenlader	Diesel	10	5'000	500	4.7
Militär	Pneuladeschaufel	Diesel	47	23'500	500	4.7
Militär	Raupenbagger Mil.	Diesel	25	12'500	500	4.7
Militär	Schreitbagger Mil.	Diesel	7	3'500	500	4.7
Militär	Rammgerät	Diesel	36	2'088	58	4.7
Militär	Kranwagen	Diesel	43	2'795	65	4.7
Militär	Patrouillenboote	Diesel	11	6'336	576	4.7
Militär	andere Boote	Benzin (4T)	50	4'500	90	4.7
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	1'667	83'333	50	7.2
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	6'667	333'333	50	3.6
Militär	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	1'667	83'333	50	3.6
Militär	Sortiment Wassertransport	Diesel	32	1'600	50	20.0

A9 Energieverbrauch und Schadstoffemissionen

Tab. 52 > Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors

	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Energieverbrauch (in PJ/a)								
Diesel	8.80	10.98	13.52	14.76	15.03	15.31	15.58	15.81
Benzin (4-Takt)	1.96	1.91	1.76	1.53	1.33	1.25	1.22	1.20
Benzin (2-Takt)	0.39	0.49	0.52	0.38	0.28	0.25	0.25	0.24
Flüssiggas	0.08	0.13	0.23	0.21	0.13	0.10	0.10	0.10
Heizöl (für Dampfschiffe)	0.08	0.11	0.15	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13
Elektrizität	0.34	0.57	0.93	0.92	0.98	0.93	0.85	0.78
Schadstoffemissionen (in t/a)								
HC	8'195	9'470	9'019	4'367	2'205	1'705	1'540	1'465
CO	56'403	58'725	51'492	39'270	33'517	30'359	29'230	28'657
NO _x	9'986	12'623	14'557	10'395	5'214	3'509	3'016	2'845
PM	831	998	1'116	532	232	94	51	33
CO ₂	833'004	1'003'198	1'190'692	1'253'924	1'245'064	1'255'347	1'271'652	1'287'251
CH ₄	408	485	458	198	95	81	76	74
NMHC	7'787	8'985	8'560	4'170	2'110	1'624	1'464	1'391
N ₂ O	31	38	47	51	51	52	52	53
Benzol	326	376	58	26	13	11	10	10

A11 Emissionen nach Maschinengattungen

Tab. 54 > Emissionen nach Maschinengattung (in t/a)

Schadstoff	Gattung	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Baumaschinen	900	1'084	1'089	525	222	194	196	198
HC	Industrie	246	305	405	236	68	47	47	48
HC	Landwirtschaft	3'189	3'161	2'957	1'614	782	535	436	392
HC	Forstwirtschaft	1'080	1'463	1'204	364	150	132	122	117
HC	Gartenpflege/Hobby	1'043	1'591	2'177	1'027	492	399	397	397
HC	Schiffe	1'602	1'708	1'016	500	425	354	312	285
HC	Schiene	62	85	99	63	46	30	16	14
HC	Militär	73	73	72	39	19	15	14	14
CO	Baumaschinen	4'317	5'335	5'872	4'063	3'108	3'016	3'102	3'171
CO	Industrie	1'300	1'918	2'810	2'407	1'144	902	902	906
CO	Landwirtschaft	28'542	25'178	21'521	15'976	11'736	9'455	8'346	7'747
CO	Forstwirtschaft	2'376	3'190	2'973	1'933	1'404	1'150	1'065	1'016
CO	Gartenpflege/Hobby	5'000	7'388	10'251	10'850	10'546	10'211	10'240	10'247
CO	Schiffe	14'101	14'882	7'184	3'273	4'935	5'038	5'035	5'037
CO	Schiene	208	270	319	274	210	168	128	120
CO	Militär	559	563	562	495	433	419	412	412
NO _x	Baumaschinen	3'276	4'479	5'243	3'428	1'309	992	1'007	1'033
NO _x	Industrie	1'333	1'855	2'252	1'441	505	289	287	292
NO _x	Landwirtschaft	3'464	4'096	4'524	3'311	1'809	1'111	867	752
NO _x	Forstwirtschaft	238	262	293	202	68	41	40	39
NO _x	Gartenpflege/Hobby	24	35	52	70	70	45	44	44
NO _x	Schiffe	977	1'055	1'230	1'236	985	730	597	531
NO _x	Schiene	435	596	711	535	389	254	142	125
NO _x	Militär	238	246	252	172	79	47	33	30
PM	Baumaschinen	263	336	387	81	32	15	15	15
PM	Industrie	97	138	173	71	16	3	3	3
PM	Landwirtschaft	358	399	425	306	149	59	23	8
PM	Forstwirtschaft	23	23	23	13	3	0	0	0
PM	Gartenpflege/Hobby	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Schiffe	55	59	59	50	27	14	9	5
PM	Schiene	22	29	34	6	3	1	1	1
PM	Militär	14	14	14	5	2	1	1	1
CO ₂	Baumaschinen	212'343	284'303	367'394	435'819	471'337	492'608	509'197	522'170
CO ₂	Industrie	93'188	133'828	189'098	203'195	182'203	181'542	189'517	195'309
CO ₂	Landwirtschaft	342'748	371'824	403'637	381'271	370'628	362'499	356'162	353'407
CO ₂	Forstwirtschaft	24'444	28'092	29'848	29'043	28'308	27'760	27'456	27'266
CO ₂	Gartenpflege/Hobby	16'512	24'570	33'962	33'176	29'893	29'128	29'202	29'224

Schadstoff	Gattung	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CO ₂	Schiffe	105'661	114'274	114'672	114'996	113'934	113'115	112'192	111'949
CO ₂	Schiene	21'032	28'688	33'519	36'222	29'017	29'058	29'058	29'058
CO ₂	Militär	17'076	17'618	18'562	20'203	19'744	19'637	18'868	18'868
CH ₄	Baumaschinen	42	48	42	20	8	7	7	7
CH ₄	Industrie	8	9	11	7	2	1	1	1
CH ₄	Landwirtschaft	150	154	147	73	34	26	23	21
CH ₄	Forstwirtschaft	74	101	83	25	10	9	8	8
CH ₄	Gartenpflege/Hobby	67	101	139	61	27	24	24	24
CH ₄	Schiffe	64	67	32	11	13	13	13	12
CH ₄	Schiene	1	1	1	1	1	0	0	0
CH ₄	Militär	3	3	3	2	1	1	1	1
NMHC	Baumaschinen	859	1'035	1'047	505	214	187	189	191
NMHC	Industrie	238	296	395	229	66	46	46	47
NMHC	Landwirtschaft	3'039	3'007	2'811	1'541	748	509	414	371
NMHC	Forstwirtschaft	1'006	1'362	1'121	339	140	123	114	109
NMHC	Gartenpflege/Hobby	976	1'490	2'037	966	466	375	373	373
NMHC	Schiffe	1'538	1'641	984	490	413	341	299	273
NMHC	Schiene	61	84	97	62	46	29	16	14
NMHC	Militär	69	70	68	38	18	15	14	13
N ₂ O	Baumaschinen	9	13	17	20	21	22	23	24
N ₂ O	Industrie	4	6	8	8	8	8	8	8
N ₂ O	Landwirtschaft	11	13	14	14	14	14	13	13
N ₂ O	Forstwirtschaft	1	1	1	1	1	1	1	1
N ₂ O	Gartenpflege/Hobby	0	0	0	0	1	1	1	1
N ₂ O	Schiffe	4	4	4	4	4	4	4	4
N ₂ O	Schiene	1	1	2	2	1	1	1	1
N ₂ O	Militär	1	1	1	1	1	1	1	1
Benzol	Baumaschinen	26	29	4	2	1	1	1	1
Benzol	Industrie	2	3	1	1	0	0	0	0
Benzol	Landwirtschaft	133	129	20	10	5	3	3	3
Benzol	Forstwirtschaft	53	72	9	3	1	1	1	1
Benzol	Gartenpflege/Hobby	52	80	17	8	4	3	3	3
Benzol	Schiffe	58	61	5	2	2	2	2	2
Benzol	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Militär	3	3	0	0	0	0	0	0

A12 Energieverbrauch nach Maschinenkategorie

Tab. 55 > Baumaschinen: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Baumaschinen	Strassenfertiger	Diesel	0.012	0.016	0.019	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
Baumaschinen	Rambbaren aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Baumaschinen	Walzen aller Art	Diesel	0.064	0.081	0.081	0.106	0.124	0.137	0.148	0.157
Baumaschinen	Vibratoren maschinell	Diesel	0.009	0.008	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	0.006	0.014	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	0.009	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013
Baumaschinen	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	0.042	0.046	0.034	0.026	0.019	0.016	0.016	0.015
Baumaschinen	Seilbagger	Diesel	0.005	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Baumaschinen	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	0.074	0.094	0.120	0.133	0.135	0.129	0.125	0.121
Baumaschinen	Grader	Diesel	0.041	0.051	0.060	0.058	0.053	0.048	0.044	0.041
Baumaschinen	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	0.073	0.087	0.096	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
Baumaschinen	Planierraupen	Diesel	0.048	0.061	0.071	0.069	0.065	0.061	0.058	0.056
Baumaschinen	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	0.747	1.000	1.225	1.427	1.528	1.589	1.638	1.677
Baumaschinen	Dumper/Kipper	Diesel	0.248	0.337	0.423	0.733	0.936	1.067	1.174	1.260
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0.001	0.001	0.015	0.060	0.077	0.082	0.084	0.085
Baumaschinen	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	0.011	0.014	0.012	0.014	0.014	0.014	0.015	0.015
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Diesel	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Baumaschinen	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
Baumaschinen	Kompressoren aller Art	Diesel	0.320	0.446	0.463	0.448	0.412	0.377	0.349	0.326
Baumaschinen	Hubarbeitsbühnen	Diesel	0.005	0.010	0.016	0.020	0.023	0.025	0.026	0.027
Baumaschinen	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	0.018	0.024	0.029	0.034	0.037	0.039	0.041	0.042
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Diesel	0.016	0.026	0.039	0.048	0.052	0.055	0.057	0.059
Baumaschinen	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	0.046	0.054	0.058	0.057	0.053	0.055	0.058	0.060
Baumaschinen	Grabenfräse	Diesel	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Baumaschinen	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	0.028	0.038	0.046	0.049	0.050	0.050	0.050	0.050
Baumaschinen	Minibagger	Diesel	0.122	0.153	0.209	0.282	0.337	0.374	0.396	0.408
Baumaschinen	Raupenbagger	Diesel	0.660	0.939	1.450	1.767	1.937	2.044	2.131	2.202
Baumaschinen	Radbagger	Diesel	0.279	0.343	0.477	0.419	0.382	0.358	0.338	0.323

Tab. 56 > Industrie: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Industrie	Gabelstapler aller Art	Diesel	0.327	0.545	0.963	0.941	0.554	0.411	0.407	0.404
Industrie	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	0.019	0.032	0.057	0.065	0.027	0.019	0.019	0.018
Industrie	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	0.078	0.131	0.232	0.211	0.132	0.098	0.097	0.096
Industrie	Gabelstapler aller Art	Elektrizität	0.275	0.458	0.802	0.765	0.811	0.756	0.674	0.610
Industrie	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	0.048	0.073	0.078	0.106	0.125	0.137	0.143	0.147
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	0.087	0.132	0.141	0.162	0.176	0.183	0.188	0.190
Industrie	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Elektrizität	0.017	0.026	-	-	-	-	-	-
Industrie	Traktoren Ind	Diesel	0.048	0.072	0.077	0.087	0.094	0.098	0.100	0.101
Industrie	Traktoren Ind	Benzin (4T)	0.007	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.012
Industrie	Pistenfahrzeuge	Diesel	0.586	0.721	0.867	1.016	1.149	1.251	1.320	1.378
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	0.000	0.001	0.001	0.010	0.013	0.016	0.018	0.019
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	0.015	0.024	0.040	0.031	0.033	0.039	0.042	0.041
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Industrie	Flughafenvorfeld Personenwagen	Elektrizität	-	-	-	0.001	0.002	0.004	0.005	0.007
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	0.004	0.006	0.010	0.011	0.014	0.018	0.020	0.021
Industrie	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005
Industrie	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	0.004	0.006	0.010	0.011	0.014	0.017	0.019	0.020
Industrie	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	0.015	0.024	0.041	0.048	0.063	0.079	0.088	0.094
Industrie	Flughafenvorfeld Traktoren	Elektrizität	0.005	0.007	0.012	0.014	0.017	0.019	0.019	0.019
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007
Industrie	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Elektrizität	0.007	0.011	0.018	0.020	0.025	0.028	0.028	0.028
Industrie	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	0.028	0.042	0.045	0.051	0.068	0.085	0.095	0.102

Tab. 57 > Landwirtschaft: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Landwirtschaft	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	1.054	0.865	0.673	0.490	0.351	0.266	0.222	0.200
Landwirtschaft	Traktoren LW	Diesel	3.059	3.431	3.870	3.719	3.689	3.631	3.568	3.539
Landwirtschaft	Mähdrescher	Diesel	0.152	0.207	0.228	0.171	0.131	0.136	0.136	0.136
Landwirtschaft	Spritzenmaschinen	Diesel	0.034	0.029	0.023	0.020	0.018	0.015	0.014	0.013
Landwirtschaft	Feldhäcksler	Diesel	0.019	0.025	0.031	0.036	0.040	0.043	0.044	0.044
Landwirtschaft	Zweiachsmäher	Diesel	0.006	0.082	0.170	0.234	0.281	0.300	0.310	0.317
Landwirtschaft	Transporter & Ladewagen	Diesel	0.190	0.220	0.249	0.206	0.179	0.155	0.140	0.132
Landwirtschaft	Hoflader	Diesel	0.009	0.032	0.055	0.102	0.137	0.155	0.167	0.174
Landwirtschaft	Motorsägen LW	Benzin (2T)	0.130	0.145	0.153	0.115	0.086	0.075	0.074	0.074
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Diesel	-	0.004	0.020	0.052	0.069	0.081	0.089	0.095
Landwirtschaft	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	0.007	0.009	0.008	0.011	0.012	0.013	0.012
Landwirtschaft	Zuckerrübenvollerter	Diesel	-	-	-	0.025	0.043	0.054	0.060	0.064

Tab. 58 > Forstwirtschaft: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Forstwirtschaft	Motorsägen FW	Benzin (2T)	0.098	0.131	0.112	0.065	0.042	0.033	0.031	0.030
Forstwirtschaft	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	0.001	0.007	0.012	0.008	0.005	0.004	0.004	0.004
Forstwirtschaft	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	0.005	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
Forstwirtschaft	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	0.215	0.192	0.174	0.155	0.146	0.134	0.126	0.121
Forstwirtschaft	Vollerter	Diesel	-	0.001	0.014	0.019	0.018	0.018	0.018	0.018
Forstwirtschaft	Prozessoren	Diesel	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Forstwirtschaft	Holzacker	Diesel	0.004	0.013	0.031	0.050	0.058	0.064	0.066	0.068
Forstwirtschaft	Entrindungsmaschinen	Diesel	0.001	0.004	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
Forstwirtschaft	Radbagger FW	Diesel	0.000	0.002	0.004	0.007	0.009	0.010	0.011	0.011
Forstwirtschaft	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	0.012	0.032	0.064	0.081	0.089	0.093	0.095
Forstwirtschaft	Konventionelle Seilkräne	Diesel	0.006	0.007	0.006	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
Forstwirtschaft	Mobilseilkräne	Diesel	0.001	0.006	0.009	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006
Forstwirtschaft	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0.004	0.007	0.009	0.009	0.010

Tab. 59 > Gartenpflege/Hobby: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	0.010	0.050	0.098	0.067	0.051	0.047	0.047	0.047
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	0.001	0.004	0.008	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (prof)	Elektrizität	0.001	0.003	0.006	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	0.001	0.010	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	0.024	0.027	0.030	0.038	0.037	0.037	0.037	0.037
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	0.009	0.005	-	-	-	-	-	-
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	0.011	0.026	0.052	0.058	0.055	0.054	0.054	0.054
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	0.033	0.036	0.038	0.038	0.032	0.029	0.030	0.030
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	0.004	0.013	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	0.010	0.012	0.014	0.018	0.016	0.016	0.016	0.016
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	0.007	0.009	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	0.007	0.011	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	0.001	-	-	-	-	-	-
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (prof)	Elektrizität	-	0.008	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005
Gartenpflege/Hobby	Trennschleifgeräte (prof)	Elektrizität	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Bohrgeräte (prof)	Elektrizität	-	-	0.017	0.018	0.017	0.016	0.016	0.016
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	0.001	0.006	0.012	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005
Gartenpflege/Hobby	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Elektrizität	0.000	0.002	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Heckenscheren (hobby)	Elektrizität	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Blasgeräte (hobby)	Elektrizität	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	0.066	0.085	0.105	0.108	0.108	0.107	0.107	0.107
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	0.012	0.007	-	-	-	-	-	-
Gartenpflege/Hobby	Rasenmäher (hobby)	Elektrizität	0.022	0.027	0.032	0.032	0.033	0.033	0.033	0.032
Gartenpflege/Hobby	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	0.001	0.003	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	0.014	0.014	0.014	0.014	0.012	0.012	0.012	0.012
Gartenpflege/Hobby	Motorsägen (hobby)	Elektrizität	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Gartenpflege/Hobby	Motorschlitten (hobby)	Benzin (4T)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Vertikutierer (hobby)	Elektrizität	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Gartenpflege/Hobby	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Elektrizität	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Häcksler (hobby)	Elektrizität	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	0.014	0.020	0.020	0.017	0.014	0.014	0.014	0.014
Gartenpflege/Hobby	Schneefräsen (hobby)	Elektrizität	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0.000	-	-	-	-	-	-
Gartenpflege/Hobby	Reinigungsgeräte (hobby)	Elektrizität	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gartenpflege/Hobby	Rasenroboter	Elektrizität	-	-	-	0.018	0.021	0.021	0.021	0.021
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Gartenpflege/Hobby	Holzspalter (Hobby)	Elektrizität	-	0.008	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012

Tab. 60 > Schiffe: Energieverbrauch (in PJ/a)

Gattung	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Schiffe	Segelboote mit Motor	Diesel	0.028	0.030	0.026	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	0.005	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
Schiffe	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	0.006	0.007	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	0.053	0.049	0.044	0.047	0.043	0.039	0.037	0.035
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	0.129	0.118	0.108	0.087	0.073	0.066	0.061	0.059
Schiffe	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Diesel	0.057	0.062	0.054	0.066	0.073	0.077	0.078	0.079
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	0.508	0.552	0.487	0.431	0.433	0.447	0.454	0.459
Schiffe	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	0.017	0.018	0.012	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010
Schiffe	Fahrgastschiffe	Diesel	0.347	0.327	0.386	0.420	0.414	0.395	0.381	0.376
Schiffe	Fahrgastschiffe	Dampf	0.084	0.111	0.148	0.159	0.146	0.139	0.133	0.131
Schiffe	Lastschiffe	Diesel	0.119	0.186	0.153	0.159	0.168	0.173	0.176	0.178
Schiffe	Fährschiffe	Diesel	0.056	0.056	0.097	0.112	0.113	0.114	0.114	0.114
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	0.013	0.016	0.019	0.023	0.027	0.029	0.030	0.031
Schiffe	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	0.010	0.012	0.013	0.015	0.016	0.018	0.018	0.019

A13 Emissionen nach Maschinenkategorie

Tab. 63 > Baumaschinen: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Strassenfertiger	Diesel	1	2	2	1	0	0	0	0
HC	Rammbaren aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Walzen aller Art	Diesel	9	11	11	5	3	3	3	3
HC	Vibratoren maschinell	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
HC	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	1	3	1	1	1	1	1
HC	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	12	15	13	8	5	4	4	5
HC	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	418	463	327	137	57	54	52	50
HC	Seilbagger	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
HC	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	8	10	12	5	2	2	2	2
HC	Grader	Diesel	5	6	7	3	1	1	1	1
HC	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	9	11	12	5	2	1	1	1
HC	Planierraupen	Diesel	5	6	8	3	1	1	1	1
HC	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	95	121	145	64	24	22	23	24
HC	Dumper/Kipper	Diesel	39	50	61	39	17	18	20	22
HC	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	0	2	3	1	1	1	1
HC	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	12	18	15	10	6	5	5	5
HC	Pumpen aller Art	Diesel	0	1	1	0	0	0	0	0
HC	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	1	2	2	1	1	1	1	1
HC	Kompressoren aller Art	Diesel	48	67	69	23	9	7	7	6
HC	Hubarbeitsbühnen	Diesel	1	1	2	1	0	0	0	0
HC	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	2	3	3	1	0	0	0	1
HC	Beton-/Belagfräsen	Diesel	2	3	5	2	1	1	1	1
HC	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	59	68	74	42	24	18	18	19
HC	Grabenfräse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	4	5	6	2	1	1	1	1
HC	Minibagger	Diesel	31	40	53	28	14	15	15	16
HC	Raupenbagger	Diesel	95	128	190	108	42	32	32	34
HC	Radbagger	Diesel	42	50	66	31	10	7	6	6
CO	Strassenfertiger	Diesel	7	9	10	5	2	1	1	1
CO	Rammbaren aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
CO	Walzen aller Art	Diesel	42	52	51	28	15	12	13	13
CO	Vibratoren maschinell	Diesel	3	3	2	1	0	0	0	0
CO	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	3	8	4	3	3	3	3
CO	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	203	266	233	252	258	283	309	335
CO	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	884	980	728	609	521	467	448	429
CO	Seilbagger	Diesel	3	4	5	2	1	1	1	1
CO	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	44	55	70	23	8	6	6	6

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CO	Grader	Diesel	26	34	40	13	4	3	3	2
CO	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	51	61	67	25	8	5	5	5
CO	Planierraupen	Diesel	30	38	45	14	4	4	3	3
CO	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	513	665	805	303	111	95	98	100
CO	Dumper/Kipper	Diesel	189	251	311	189	86	79	86	93
CO	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	1	7	10	6	5	5	5
CO	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	244	323	283	324	335	356	366	366
CO	Pumpen aller Art	Diesel	1	2	2	1	1	1	1	1
CO	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	25	27	34	37	35	36	37	38
CO	Kompressoren aller Art	Diesel	156	218	225	77	40	31	29	27
CO	Hubarbeitsbühnen	Diesel	2	4	5	3	1	1	2	2
CO	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	11	14	17	6	2	2	2	2
CO	Beton-/Belagfräsen	Diesel	11	18	26	10	4	3	3	3
CO	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	1'020	1'180	1'269	1'309	1'307	1'380	1'439	1'486
CO	Grabenfräse	Diesel	1	2	2	1	1	0	0	0
CO	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	13	17	20	7	3	3	3	3
CO	Minibagger	Diesel	129	163	217	129	108	73	76	78
CO	Raupenbagger	Diesel	493	684	1'034	532	196	134	135	140
CO	Radbagger	Diesel	216	260	352	152	49	30	27	26
NO _x	Strassenfertiger	Diesel	10	14	15	11	4	3	3	3
NO _x	Rambären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	3	4	4	2	0	0	0	0
NO _x	Walzen aller Art	Diesel	54	69	62	51	30	30	32	34
NO _x	Vibratoren maschinell	Diesel	9	8	6	2	1	0	0	0
NO _x	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	5	9	7	6	6	6	6
NO _x	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	1	2	2	1	1	0	1	1
NO _x	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	2	2	2	5	6	6	6	5
NO _x	Seilbagger	Diesel	6	8	9	5	2	1	1	1
NO _x	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	86	110	124	64	15	8	8	8
NO _x	Grader	Diesel	53	67	69	34	7	2	2	2
NO _x	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	96	114	114	61	17	6	5	5
NO _x	Planierraupen	Diesel	63	79	81	38	7	3	3	3
NO _x	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	912	1'230	1'323	767	209	129	133	136
NO _x	Dumper/Kipper	Diesel	275	380	424	413	172	147	162	173
NO _x	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	1	2	17	37	13	6	6	6
NO _x	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	2	2	2	2	1	1	1	1
NO _x	Pumpen aller Art	Diesel	1	3	2	2	2	2	2	2
NO _x	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
NO _x	Kompressoren aller Art	Diesel	375	528	483	261	101	76	70	66
NO _x	Hubarbeitsbühnen	Diesel	4	9	13	9	3	2	3	3
NO _x	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	21	28	29	16	4	2	2	2
NO _x	Beton-/Belagfräsen	Diesel	20	34	44	25	6	4	4	4

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
NO _x	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	7	8	9	6	5	2	2	2
NO _x	Grabenfräse	Diesel	1	1	1	1	1	1	1	1
NO _x	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	33	45	49	27	8	5	5	5
NO _x	Minibagger	Diesel	110	139	167	157	187	297	316	327
NO _x	Raupenbagger	Diesel	791	1'164	1'650	1'138	400	195	183	189
NO _x	Radbagger	Diesel	337	423	536	287	101	57	51	49
PM	Strassenfertiger	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
PM	Rambbären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Walzen aller Art	Diesel	6	7	7	2	1	0	0	0
PM	Vibratoren maschinell	Diesel	1	1	0	0	0	0	0	0
PM	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	1	2	1	1	0	0	0
PM	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Seilbagger	Diesel	0	0	1	0	0	0	0	0
PM	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	5	6	7	1	0	0	0	0
PM	Grader	Diesel	3	4	4	0	0	0	0	0
PM	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	6	7	7	1	0	0	0	0
PM	Planierraupen	Diesel	3	4	5	1	0	0	0	0
PM	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	61	78	87	17	4	2	2	2
PM	Dumper/Kipper	Diesel	26	35	40	10	3	2	2	2
PM	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	0	1	1	0	0	0	0
PM	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Pumpen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Kompressoren aller Art	Diesel	30	41	35	6	1	0	0	0
PM	Hubarbeitsbühnen	Diesel	0	1	1	0	0	0	0	0
PM	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	1	2	2	0	0	0	0	0
PM	Beton-/Belagfräsen	Diesel	1	2	3	0	0	0	0	0
PM	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Grabenfräse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	3	3	3	0	0	0	0	0
PM	Minibagger	Diesel	17	21	27	21	17	7	7	7
PM	Raupenbagger	Diesel	67	86	113	15	4	2	2	2
PM	Radbagger	Diesel	30	35	41	4	1	0	0	0
CO ₂	Strassenfertiger	Diesel	867	1'145	1'386	1'688	1'712	1'712	1'712	1'712
CO ₂	Rambbären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	238	283	313	321	322	322	322	322
CO ₂	Walzen aller Art	Diesel	4'725	5'936	5'997	7'819	9'106	10'106	10'917	11'573
CO ₂	Vibratoren maschinell	Diesel	695	598	491	359	259	199	165	148
CO ₂	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	458	1'065	1'067	1'067	1'067	1'067	1'067
CO ₂	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	680	893	779	814	778	839	915	991

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CO ₂	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	3'077	3'409	2'503	1'888	1'392	1'203	1'154	1'106
CO ₂	Seilbagger	Diesel	372	485	604	650	673	673	673	673
CO ₂	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	5'428	6'899	8'851	9'790	9'943	9'524	9'179	8'896
CO ₂	Grader	Diesel	3'005	3'781	4'400	4'267	3'892	3'549	3'274	3'045
CO ₂	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	5'393	6'410	7'098	7'285	7'293	7'293	7'293	7'293
CO ₂	Planierraupen	Diesel	3'538	4'455	5'197	5'074	4'786	4'505	4'284	4'111
CO ₂	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	54'994	73'577	90'168	105'007	112'487	116'983	120'535	123'400
CO ₂	Dumper/Kipper	Diesel	18'274	24'775	31'152	53'967	68'866	78'549	86'381	92'729
CO ₂	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	65	107	1'094	4'447	5'687	6'053	6'215	6'221
CO ₂	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	788	1'062	922	1'032	1'010	1'054	1'082	1'083
CO ₂	Pumpen aller Art	Diesel	109	225	198	213	219	225	232	238
CO ₂	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	79	92	113	118	107	108	111	114
CO ₂	Kompressoren aller Art	Diesel	23'575	32'825	34'089	32'963	30'323	27'747	25'658	23'967
CO ₂	Hubarbeitsbühnen	Diesel	335	729	1'155	1'473	1'686	1'812	1'912	1'997
CO ₂	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	1'337	1'755	2'109	2'483	2'719	2'856	2'993	3'107
CO ₂	Beton-/Belagfräsen	Diesel	1'148	1'931	2'853	3'512	3'822	4'035	4'209	4'348
CO ₂	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	3'420	3'958	4'257	4'202	3'946	4'083	4'258	4'398
CO ₂	Grabenfräse	Diesel	92	109	121	122	123	123	123	123
CO ₂	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	2'059	2'764	3'374	3'610	3'655	3'655	3'655	3'655
CO ₂	Minibagger	Diesel	8'944	11'271	15'348	20'781	24'833	27'543	29'118	30'052
CO ₂	Raupenbagger	Diesel	48'609	69'108	106'685	130'032	142'533	150'449	156'858	162'053
CO ₂	Radbagger	Diesel	20'498	25'262	35'073	30'835	28'095	26'339	24'903	23'748
CH ₄	Strassenfertiger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Rambären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Walzen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Vibratoren maschinell	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	0	1	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	29	32	23	10	4	4	4	3
CH ₄	Seilbagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Grader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Planierraupen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	2	3	3	2	1	1	1	1
CH ₄	Dumper/Kipper	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
CH ₄	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	0	1	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Pumpen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Kompressoren aller Art	Diesel	1	2	2	1	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
N ₂ O	Vibratoren maschinell	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Seilbagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Grader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Planierraupen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	3	3	4	5	5	5	6	6
N ₂ O	Dumper/Kipper	Diesel	1	1	1	2	3	4	4	4
N ₂ O	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Pumpen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Kompressoren aller Art	Diesel	1	2	2	2	1	1	1	1
N ₂ O	Hubarbeitsbühnen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Beton-/Belagfräsen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Grabenfräse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Minibagger	Diesel	0	0	1	1	1	1	1	1
N ₂ O	Raupenbagger	Diesel	2	3	5	6	7	7	7	8
N ₂ O	Radbagger	Diesel	1	1	2	1	1	1	1	1
Benzol	Strassenfertiger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Rambären aller Art mit Hydraulik-Aggregaten	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Walzen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Vibratoren maschinell	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (4T)	1	1	0	0	0	0	0	0
Benzol	Stampfer, Vibratoren handgeführt	Benzin (2T)	21	23	3	1	0	0	0	0
Benzol	Seilbagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Pneu-/Mobilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Grader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	LKW ohne Strassen-Zulassung	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Planierraupen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Lader (Pneu & Raupen) aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Dumper/Kipper	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Notstromaggregate/Generatoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Notstromaggregate/Generatoren	Benzin (4T)	1	1	0	0	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Benzol	Pumpen aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Pumpen aller Art	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Kompressoren aller Art	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Hubarbeitsbühnen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Tunnel-Lokomotiven	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Beton-/Belagfräsen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Beton-/Belagfräsen	Benzin (4T)	3	3	1	0	0	0	0	0
Benzol	Grabenfräse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Minibagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Raupenbagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Radbagger	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 64 > Industrie: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Gabelstapler aller Art	Diesel	54	90	155	78	16	8	8	8
HC	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	25	41	73	63	14	7	6	6
HC	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	46	16	4	3	2	1	1	1
HC	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	6	10	10	6	2	2	2	2
HC	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	11	16	17	10	3	3	3	3
HC	Traktoren Ind	Diesel	7	11	12	8	3	2	2	2
HC	Traktoren Ind	Benzin (4T)	9	14	14	11	6	4	4	4
HC	Pistenfahrzeuge	Diesel	74	91	107	51	19	17	18	19
HC	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	7	6	2	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	-	-	-	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	0	1	0	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	1	1	0	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	0	1	1	0	0	0	0	0
HC	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	2	3	5	2	1	1	1	1
HC	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	3	5	5	3	1	1	1	1
CO	Gabelstapler aller Art	Diesel	237	396	688	375	96	39	34	34
CO	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	425	709	1'251	1'468	642	469	464	461
CO	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	37	15	8	6	4	3	3	3
CO	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	31	47	49	31	13	9	10	10
CO	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	35	53	55	32	14	12	12	12
CO	Traktoren Ind	Diesel	35	52	55	36	17	11	11	11
CO	Traktoren Ind	Benzin (4T)	156	235	251	272	271	279	285	289

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
PM	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	1	2	3	1	0	0	0	0
PM	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	2	3	3	1	0	0	0	0
CO ₂	Gabelstapler aller Art	Diesel	24'058	40'099	70'861	69'279	40'761	30'222	29'922	29'745
CO ₂	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	1'426	2'377	4'194	4'812	1'967	1'394	1'373	1'364
CO ₂	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	5'523	9'205	16'351	14'907	9'320	6'885	6'817	6'777
CO ₂	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	3'537	5'369	5'732	7'819	9'236	10'068	10'552	10'834
CO ₂	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	6'429	9'748	10'408	11'940	12'932	13'504	13'822	14'012
CO ₂	Traktoren Ind	Diesel	3'529	5'331	5'699	6'429	6'900	7'178	7'331	7'424
CO ₂	Traktoren Ind	Benzin (4T)	522	788	839	890	826	829	843	854
CO ₂	Pistenfahrzeuge	Diesel	43'127	53'082	63'776	74'750	84'553	92'058	97'132	101'455
CO ₂	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	32	50	109	725	965	1'191	1'340	1'428
CO ₂	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	1'138	1'794	2'975	2'278	2'453	2'873	3'125	3'044
CO ₂	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	-	-	-	39	51	64	72	77
CO ₂	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	276	435	722	793	1'039	1'289	1'452	1'547
CO ₂	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	75	118	188	205	262	324	365	389
CO ₂	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	279	439	702	797	997	1'236	1'391	1'483
CO ₂	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	1'131	1'784	3'052	3'523	4'613	5'780	6'497	6'900
CO ₂	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	79	125	212	246	324	404	454	484
CO ₂	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	2'027	3'084	3'277	3'762	5'004	6'242	7'027	7'491
CH ₄	Gabelstapler aller Art	Diesel	1	2	4	2	0	0	0	0
CH ₄	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	1	1	2	2	0	0	0	0
CH ₄	Gabelstapler aller Art	Flüssiggas	3	1	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Kehr- & Reinigungsmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Hubarbeitsbühnen (Ind)	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Traktoren Ind	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Traktoren Ind	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Pistenfahrzeuge	Diesel	2	2	3	1	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Personenwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Personenwagen	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Personenwagen	Flüssiggas	-	-	-	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Lieferwagen	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Lastwagen/Busse	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Generatoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
NMHC	Gabelstapler aller Art	Diesel	52	87	151	76	15	8	8	8
NMHC	Gabelstapler aller Art	Benzin (4T)	24	40	70	61	14	6	6	6

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Benzol	Flughafenvorfeld Abfertigungsgeräte	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Generatoren Industrie/Gewerbe/öffentliche Hand	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 65 > Landwirtschaft: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	1'348	1'106	858	555	304	145	83	66
HC	Traktoren LW	Diesel	477	502	513	350	172	101	70	56
HC	Mähdrescher	Diesel	19	22	23	9	2	2	2	2
HC	Spritzenmaschinen	Diesel	7	6	4	3	1	0	0	0
HC	Feldhäcksler	Diesel	2	3	3	2	1	1	1	1
HC	Zweiachsmäher	Diesel	1	16	32	26	10	7	7	7
HC	Transporter & Ladewagen	Diesel	38	39	40	21	6	3	3	3
HC	Hoflader	Diesel	2	6	11	10	5	4	4	4
HC	Motorsägen LW	Benzin (2T)	1'295	1'452	1'459	621	259	251	248	246
HC	Traktoren (hobby)	Diesel	-	1	3	7	9	9	8	2
HC	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	9	11	10	12	11	10	5
HC	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	1	1	1	1	1
CO	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	23'228	19'059	14'862	10'929	8'094	6'412	5'489	4'992
CO	Traktoren LW	Diesel	2'223	2'408	2'559	1'726	848	481	321	252
CO	Mähdrescher	Diesel	105	130	137	47	10	7	7	7
CO	Spritzenmaschinen	Diesel	30	25	19	13	5	3	2	2
CO	Feldhäcksler	Diesel	12	15	19	14	4	2	2	2
CO	Zweiachsmäher	Diesel	5	69	140	122	55	35	30	31
CO	Transporter & Ladewagen	Diesel	163	176	189	103	34	18	13	12
CO	Hoflader	Diesel	7	27	46	48	29	20	18	19
CO	Motorsägen LW	Benzin (2T)	2'770	3'105	3'342	2'767	2'378	2'165	2'134	2'117
CO	Traktoren (hobby)	Diesel	-	2	8	21	28	27	25	9
CO	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	163	199	184	249	283	301	301
CO	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	2	2	2	3	3
NO _x	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	157	129	101	68	42	22	12	8
NO _x	Traktoren LW	Diesel	2'862	3'307	3'631	2'641	1'412	805	585	490
NO _x	Mähdrescher	Diesel	192	269	271	114	22	7	7	7
NO _x	Spritzenmaschinen	Diesel	31	28	21	14	8	6	5	5
NO _x	Feldhäcksler	Diesel	25	32	38	28	10	2	2	2
NO _x	Zweiachsmäher	Diesel	5	78	154	160	107	85	86	88
NO _x	Transporter & Ladewagen	Diesel	177	213	233	144	65	41	36	33
NO _x	Hoflader	Diesel	8	30	47	64	56	57	61	63
NO _x	Motorsägen LW	Benzin (2T)	6	7	9	21	28	27	27	27

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
NO _x	Traktoren (hobby)	Diesel	-	3	17	44	56	54	41	25
NO _x	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	1	1	1	2	1	1	1
NO _x	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	10	3	3	3	4
PM	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Traktoren LW	Diesel	318	343	355	252	122	47	19	6
PM	Mähdrescher	Diesel	13	15	15	6	1	0	0	0
PM	Spritzmaschinen	Diesel	4	3	3	2	1	0	0	0
PM	Feldhäcksler	Diesel	1	2	2	2	1	0	0	0
PM	Zweiachsmäher	Diesel	1	9	18	18	9	3	0	0
PM	Transporter & Ladewagen	Diesel	20	23	25	15	5	2	0	0
PM	Hoflader	Diesel	1	3	6	7	5	2	0	0
PM	Motorsägen LW	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Traktoren (hobby)	Diesel	-	0	2	5	5	4	3	1
PM	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
CO ₂	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	77'893	63'912	49'760	36'226	25'917	19'646	16'388	14'788
CO ₂	Traktoren LW	Diesel	225'159	252'544	284'805	273'706	271'475	267'208	262'590	260'443
CO ₂	Mähdrescher	Diesel	11'208	15'267	16'781	12'604	9'629	9'981	10'025	10'035
CO ₂	Spritzmaschinen	Diesel	2'480	2'147	1'706	1'466	1'300	1'139	1'028	963
CO ₂	Feldhäcksler	Diesel	1'385	1'824	2'281	2'656	2'948	3'134	3'210	3'258
CO ₂	Zweiachsmäher	Diesel	409	6'030	12'524	17'203	20'683	22'092	22'841	23'363
CO ₂	Transporter & Ladewagen	Diesel	13'989	16'192	18'312	15'179	13'157	11'413	10'334	9'714
CO ₂	Hoflader	Diesel	646	2'340	4'035	7'501	10'050	11'444	12'284	12'825
CO ₂	Motorsägen LW	Benzin (2T)	9'579	10'738	11'296	8'462	6'351	5'578	5'497	5'452
CO ₂	Traktoren (hobby)	Diesel	-	284	1'474	3'803	5'105	5'982	6'581	6'967
CO ₂	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	546	663	610	819	907	951	899
CO ₂	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	1'855	3'193	3'976	4'433	4'700
CH ₄	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	46	38	29	19	10	5	3	2
CH ₄	Traktoren LW	Diesel	11	12	12	9	4	2	2	1
CH ₄	Mähdrescher	Diesel	0	1	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Spritzmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Feldhäcksler	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Zweiachsmäher	Diesel	0	0	1	1	0	0	0	0
CH ₄	Transporter & Ladewagen	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
CH ₄	Hoflader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Motorsägen LW	Benzin (2T)	91	102	102	43	18	18	17	17
CH ₄	Traktoren (hobby)	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
NMHC	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	1'302	1'068	829	536	294	140	80	63
NMHC	Traktoren LW	Diesel	466	490	500	341	168	98	68	55
NMHC	Mähdrescher	Diesel	19	22	22	9	2	2	2	2

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
NMHC	Spritzmaschinen	Diesel	7	6	4	3	1	0	0	0
NMHC	Feldhäcksler	Diesel	2	3	3	2	1	1	1	1
NMHC	Zweiachsmäher	Diesel	1	15	31	25	9	7	7	7
NMHC	Transporter & Ladewagen	Diesel	37	38	40	21	6	3	3	3
NMHC	Hoflader	Diesel	2	6	10	10	4	4	4	4
NMHC	Motorsägen LW	Benzin (2T)	1'204	1'350	1'357	577	241	233	230	228
NMHC	Traktoren (hobby)	Diesel	-	1	3	7	9	9	8	2
NMHC	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	9	11	9	12	11	10	5
NMHC	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	1	1	1	1	1
N ₂ O	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	1	1	1	1	0	0	0	0
N ₂ O	Traktoren LW	Diesel	8	10	11	11	11	10	10	10
N ₂ O	Mähdrescher	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
N ₂ O	Spritzmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Feldhäcksler	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Zweiachsmäher	Diesel	0	0	1	1	1	1	1	1
N ₂ O	Transporter & Ladewagen	Diesel	1	1	1	1	1	0	0	0
N ₂ O	Hoflader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	1
N ₂ O	Motorsägen LW	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Traktoren (hobby)	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
Benzol	Einachsmäher/Motoreinachser	Benzin (4T)	67	55	7	4	2	1	1	1
Benzol	Traktoren LW	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
Benzol	Mähdrescher	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Spritzmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Feldhäcksler	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Zweiachsmäher	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Transporter & Ladewagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Hoflader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Motorsägen LW	Benzin (2T)	65	73	12	5	2	2	2	2
Benzol	Traktoren (hobby)	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Traktoren (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Zuckerrübenvollernter	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
PM	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	22	19	15	7	2	0	0	0
PM	Vollerter	Diesel	-	0	1	1	0	0	0	0
PM	Prozessoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Holzhacker	Diesel	0	1	2	1	0	0	0	0
PM	Entrindungsmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Radbagger FW	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	1	2	2	0	0	0	0
PM	Konventionelle Seilkräne	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
PM	Mobilseilkräne	Diesel	0	0	1	0	0	0	0	0
PM	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
CO ₂	Motorsägen FW	Benzin (2T)	7'266	9'688	8'254	4'771	3'073	2'471	2'285	2'183
CO ₂	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	93	513	883	587	400	327	296	278
CO ₂	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	366	329	281	190	132	112	108	105
CO ₂	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	15'789	14'099	12'773	11'419	10'740	9'893	9'298	8'935
CO ₂	Vollerter	Diesel	-	108	1'033	1'400	1'317	1'337	1'337	1'337
CO ₂	Prozessoren	Diesel	10	59	134	138	161	170	173	175
CO ₂	Holzhacker	Diesel	330	979	2'285	3'703	4'284	4'703	4'884	4'975
CO ₂	Entrindungsmaschinen	Diesel	73	293	367	294	224	151	76	76
CO ₂	Radbagger FW	Diesel	32	182	321	491	660	748	808	841
CO ₂	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	865	2'381	4'695	5'936	6'525	6'858	7'024
CO ₂	Konventionelle Seilkräne	Diesel	446	547	472	416	353	275	221	185
CO ₂	Mobilseilkräne	Diesel	38	431	664	655	508	412	412	412
CO ₂	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	284	520	635	698	741
CH ₄	Motorsägen FW	Benzin (2T)	69	92	72	21	9	8	7	7
CH ₄	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	1	5	8	2	1	1	1	1
CH ₄	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	3	3	3	1	0	0	0	0
CH ₄	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Vollerter	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Prozessoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Holzhacker	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Entrindungsmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Radbagger FW	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Tragschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Konventionelle Seilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Mobilseilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
NMHC	Motorsägen FW	Benzin (2T)	918	1'224	953	282	118	103	96	91
NMHC	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	12	65	102	28	11	10	9	8
NMHC	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	46	42	34	12	5	5	5	4
NMHC	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	29	25	21	10	3	2	2	2

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
NMHC	Vollernter	Diesel	-	0	2	1	0	0	0	0
NMHC	Prozessoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
NMHC	Holzhammer	Diesel	1	2	4	2	1	1	1	1
NMHC	Entrindungsmaschinen	Diesel	0	0	1	0	0	0	0	0
NMHC	Radlaster FW	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
NMHC	Tragsschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	1	4	3	1	1	1	1
NMHC	Konventionelle Seilkräne	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
NMHC	Mobilseilkräne	Diesel	0	1	1	0	0	0	0	0
NMHC	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
N ₂ O	Motorsägen FW	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
N ₂ O	Vollernter	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Prozessoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Holzhammer	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Entrindungsmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Radlaster FW	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Tragsschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Konventionelle Seilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Mobilseilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ O	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0
Benzol	Motorsägen FW	Benzin (2T)	49	66	8	2	1	1	1	1
Benzol	Freischneidegeräte	Benzin (2T)	1	3	1	0	0	0	0	0
Benzol	Andere Kleingeräte	Benzin (2T)	2	2	0	0	0	0	0	0
Benzol	Seil- und Zangenschlepper	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Vollernter	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Prozessoren	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Holzhammer	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Entrindungsmaschinen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Radlaster FW	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Tragsschlepper und Klemmbankschlepper	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Konventionelle Seilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Mobilseilkräne	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Kombiseilgeräte	Diesel	-	-	-	0	0	0	0	0

Tab. 67 > Gartenpflege/Hobby: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	10	10	2	2	2
HC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	101	507	941	325	112	111	111	111
HC	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	8	40	75	38	14	14	14	14
HC	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	2	0	0	0	0
HC	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	9	97	21	1	1	1	1
HC	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	30	34	36	31	22	16	16	16
HC	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	91	45	-	-	-	-	-	-
HC	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	13	34	66	42	25	17	17	17
HC	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	335	364	358	190	95	97	98	98
HC	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	5	17	15	9	7	7	7
HC	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	13	15	18	16	10	7	7	7
HC	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	3	5	4	4	1	1	1
HC	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	17	20	17	13	10	3	3	3
HC	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	17	26	24	19	6	5	5
HC	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	10	-	-	-	-	-	-
HC	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	65	65	60	29	11	11	11	11
HC	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	5	5	5	2	2	2
HC	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	28	8	3	3	3	3
HC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	1	1	0	0	0
HC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	12	61	115	38	12	11	11	11
HC	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	1	3	6	4	2	2	2	2
HC	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
HC	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0	4	3	1	1	1	1
HC	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	70	91	113	88	67	47	46	46
HC	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	114	72	-	-	-	-	-	-
HC	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	1	3	6	5	3	2	2	2
HC	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	137	137	129	73	28	28	28	28
HC	Motorschleppen (hobby)	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
HC	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	4	4	5	3	3	2	2	2
HC	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
HC	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	31	47	46	34	22	7	6	6
HC	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	2	3	2	2	1	0	0
HC	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	1	-	-	-	-	-	-
HC	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	0	1	1	0	0	0	0
CO	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	96	128	137	139	140
CO	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider	Benzin (2T)	214	1'072	2'112	1'813	1'606	1'353	1'351	1'350

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
	(prof)									
CO	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	17	84	167	202	196	168	169	169
CO	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	21	5	6	6	6
CO	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	20	215	108	17	14	14	14
CO	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	546	614	676	880	895	913	918	919
CO	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	192	96	-	-	-	-	-	-
CO	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	232	579	1'153	1'333	1'334	1'353	1'358	1'359
CO	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	708	769	815	904	888	844	849	849
CO	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	87	290	374	373	381	383	383
CO	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	217	264	308	401	400	408	410	410
CO	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	31	43	55	58	59	59	59
CO	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	159	191	158	154	148	148	148	148
CO	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	144	228	282	294	300	301	302
CO	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	22	-	-	-	-	-	-
CO	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	136	136	134	162	160	139	140	140
CO	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	44	73	87	90	91	92
CO	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	66	41	32	28	28	28
CO	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	12	16	17	17	17
CO	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	28	142	281	201	169	139	137	137
CO	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	1	7	14	23	25	21	21	21
CO	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	1	1	1	1	1
CO	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	1	10	15	16	14	14	14
CO	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	1'557	2'002	2'481	2'595	2'634	2'663	2'672	2'674
CO	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	252	155	-	-	-	-	-	-
CO	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	27	67	134	155	161	163	163	163
CO	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	318	318	313	384	396	342	342	342
CO	Motorschlitten (hobby)	Benzin (4T)	11	11	11	14	14	14	14	14
CO	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	1	2	3	3	3	3	3
CO	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	83	101	118	108	103	102	102	102
CO	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	3	5	7	7	7	7	7
CO	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	300	442	433	392	339	339	340	340
CO	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	18	28	28	27	27	27	27
CO	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	3	-	-	-	-	-	-
CO	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	8	11	15	15	16	16	16
NO _x	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	1	1	0	0	0
NO _x	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	0	2	6	13	12	12	12	12
NO _x	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	0	0	0	1	1	2	2	2
NO _x	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
NO _x	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	0	1	1	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
PM	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Motorschlitzen (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	318	412	415	422	423
CO ₂	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	746	3'731	7'252	4'984	3'738	3'485	3'479	3'477
CO ₂	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	59	294	573	560	455	433	435	435
CO ₂	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	70	17	17	17	17
CO ₂	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	68	742	302	39	36	36	36
CO ₂	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	1'804	2'029	2'217	2'843	2'703	2'703	2'716	2'720
CO ₂	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	669	334	-	-	-	-	-	-
CO ₂	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	777	1'942	3'850	4'280	4'028	4'005	4'019	4'023
CO ₂	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	2'464	2'675	2'788	2'793	2'354	2'174	2'185	2'188
CO ₂	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	291	971	1'231	1'127	1'126	1'132	1'133
CO ₂	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	728	884	1'030	1'319	1'207	1'207	1'213	1'214
CO ₂	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	105	148	178	181	178	179	179
CO ₂	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	544	652	539	506	466	448	448	448

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CO ₂	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	503	795	929	926	908	912	913
CO ₂	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	77	-	-	-	-	-	-
CO ₂	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	475	475	459	445	373	358	359	360
CO ₂	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	148	232	271	273	276	277
CO ₂	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	222	127	85	73	72	71
CO ₂	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	40	51	50	51	51
CO ₂	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	94	472	919	545	393	356	353	352
CO ₂	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	5	24	47	62	57	55	55	55
CO ₂	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	2	3	4	4	4
CO ₂	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	3	33	41	38	37	37	37
CO ₂	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	4'852	6'255	7'758	8'015	7'972	7'891	7'906	7'912
CO ₂	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	857	534	-	-	-	-	-	-
CO ₂	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	84	210	419	479	487	482	483	484
CO ₂	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	1'052	1'052	1'025	1'042	921	878	881	882
CO ₂	Motorschleppen (hobby)	Benzin (4T)	34	34	34	42	43	43	42	42
CO ₂	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	2	6	9	10	10	10	10
CO ₂	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	257	312	366	331	313	303	303	302
CO ₂	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	11	17	21	20	21	21	21
CO ₂	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	1'012	1'506	1'478	1'293	1'068	1'029	1'028	1'028
CO ₂	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	59	94	91	87	83	83	83
CO ₂	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	10	-	-	-	-	-	-
CO ₂	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	25	36	46	46	46	46	46
CH ₄	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
CH ₄	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	7	35	66	23	8	8	8	8
CH ₄	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	1	3	5	3	1	1	1	1
CH ₄	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
CH ₄	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	1	7	1	0	0	0	0
CH ₄	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	1	1	1	1	1	1	1	1
CH ₄	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	6	3	-	-	-	-	-	-
CH ₄	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	0	1	2	1	1	1	1	1
CH ₄	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	23	25	25	13	7	7	7	7
CH ₄	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	0	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	0	1	1	1	0	0	0	0
CH ₄	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	1	1	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	1	1	1	1	0	0	0
CH ₄	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	1	-	-	-	-	-	-
CH ₄	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	5	5	4	2	1	1	1	1
CH ₄	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	0	0	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CH ₄	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	2	1	0	0	0	0
CH ₄	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
CH ₄	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	1	4	8	3	1	1	1	1
CH ₄	Heckenscheren (hobby)	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Blasgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	0	0	0	0	0
CH ₄	Blasgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Rasenmäher (hobby)	Benzin (4T)	2	3	4	3	2	2	2	2
CH ₄	Rasenmäher (hobby)	Benzin (2T)	8	5	-	-	-	-	-	-
CH ₄	Aufsitzmäher (hobby)	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Motorsägen (hobby)	Benzin (2T)	10	10	9	5	2	2	2	2
CH ₄	Motorschlitten (hobby)	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	1	2	2	1	1	0	0	0
CH ₄	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0	-	-	-	-	-	-
CH ₄	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
NMHC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	9	10	2	2	2
NMHC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (prof)	Benzin (2T)	94	472	875	302	104	103	103	103
NMHC	Heckenscheren (prof)	Benzin (2T)	7	37	70	36	13	13	13	13
NMHC	Blasgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	-	2	0	0	0	0
NMHC	Blasgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	9	90	20	1	1	1	1
NMHC	Rasenmäher (prof)	Benzin (4T)	29	33	35	30	21	15	15	15
NMHC	Rasenmäher (prof)	Benzin (2T)	84	42	-	-	-	-	-	-
NMHC	Aufsitzmäher (prof)	Benzin (4T)	13	32	64	41	24	17	17	17
NMHC	Motorsägen (prof)	Benzin (2T)	311	338	333	176	88	90	91	91
NMHC	Vertikutierer (prof)	Benzin (4T)	-	5	16	14	9	6	6	6
NMHC	Fräsen/Motorhacken (prof)	Benzin (4T)	12	15	17	15	10	7	7	7
NMHC	Häcksler (prof)	Benzin (4T)	-	3	4	4	4	1	1	1
NMHC	Schneefräsen (prof)	Benzin (4T)	16	20	16	13	9	3	2	2
NMHC	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	16	25	23	18	5	5	5
NMHC	Reinigungsgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	10	-	-	-	-	-	-
NMHC	Trennschleifgeräte (prof)	Benzin (2T)	60	60	55	27	10	11	11	11
NMHC	Bohrgeräte (prof)	Benzin (4T)	-	-	4	5	5	1	2	2
NMHC	Bohrgeräte (prof)	Benzin (2T)	-	-	26	7	3	3	3	3
NMHC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (4T)	-	-	-	1	1	0	0	0
NMHC	Motorsensen, Rasentrimmer, Freischneider (hobby)	Benzin (2T)	11	57	107	35	11	11	10	10

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Benzol	Vertikutierer (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Fräsen/Motorhacken (hobby)	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Häcksler (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Schneefräsen (hobby)	Benzin (4T)	2	2	0	0	0	0	0	0
Benzol	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Reinigungsgeräte (hobby)	Benzin (2T)	-	0	-	-	-	-	-	-
Benzol	Holzspalter (prof)	Benzin (4T)	-	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 68 > Schiffe: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Segelboote mit Motor	Diesel	17	18	11	5	3	3	2	2
HC	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	7	8	6	4	4	4	4	4
HC	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	59	64	26	5	4	4	4	4
HC	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	31	28	16	7	3	2	2	2
HC	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	200	183	89	33	37	34	32	30
HC	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	4	3	1	0	0	0	0	0
HC	Miet- & private Motorboote	Diesel	27	29	16	8	5	3	3	3
HC	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	708	769	358	113	169	179	182	184
HC	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	164	178	71	10	11	11	11	11
HC	Fahrgastschiffe	Diesel	239	225	239	181	107	61	37	22
HC	Fahrgastschiffe	Dampf	1	1	0	0	0	0	0	0
HC	Lastschiffe	Diesel	92	144	106	76	47	31	21	14
HC	Fährschiffe	Diesel	38	38	59	47	29	17	10	6
HC	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	7	9	9	7	5	3	2	1
HC	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	10	11	10	4	2	1	1	1
CO	Segelboote mit Motor	Diesel	11	12	11	10	8	7	7	7
CO	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	95	103	73	54	52	50	48	47
CO	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	123	134	82	51	48	45	44	43
CO	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	25	23	18	16	14	13	12	12
CO	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	2'563	2'348	1'146	471	613	563	527	506
CO	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	7	7	4	2	2	2	2	2
CO	Miet- & private Motorboote	Diesel	33	36	29	31	32	33	34	34
CO	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	10'558	11'471	5'199	2'078	3'646	3'853	3'917	3'955
CO	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	344	374	205	121	130	134	136	137
CO	Fahrgastschiffe	Diesel	218	205	243	254	221	183	163	153
CO	Fahrgastschiffe	Dampf	1	1	1	1	1	1	1	1
CO	Lastschiffe	Diesel	75	117	96	96	89	82	78	76
CO	Fährschiffe	Diesel	35	35	61	68	60	53	49	47
CO	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	7	9	10	12	13	12	11	11

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
CO	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	6	7	7	8	7	7	8	8
NO _x	Segelboote mit Motor	Diesel	21	23	19	18	14	13	12	12
NO _x	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	1	1	2	2	2	2	2	2
NO _x	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	3	3	2	2	2	2	2	2
NO _x	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	51	47	39	38	23	16	15	14
NO _x	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	23	21	39	42	35	32	30	29
NO _x	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	0	0	0
NO _x	Miet- & private Motorboote	Diesel	54	58	48	53	38	30	30	30
NO _x	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	101	110	196	234	237	243	247	250
NO _x	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	7	8	6	5	5	5	5	5
NO _x	Fahrgastschiffe	Diesel	454	427	505	485	355	208	130	92
NO _x	Fahrgastschiffe	Dampf	4	5	6	4	4	4	4	3
NO _x	Lastschiffe	Diesel	155	243	199	183	143	96	68	53
NO _x	Fährschiffe	Diesel	73	73	127	129	97	59	38	27
NO _x	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	17	21	25	26	22	13	8	5
NO _x	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	12	14	15	13	9	7	7	7
PM	Segelboote mit Motor	Diesel	2	2	2	2	1	1	1	1
PM	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	1	1	0	0	0	-	-	-
PM	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	4	4	4	3	2	0	0	0
PM	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	0	0	0	0	0	-	-	-
PM	Miet- & private Motorboote	Diesel	4	4	4	5	3	0	0	0
PM	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	-	-	-	-	-	-	-	-
PM	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	2	2	1	1	0	-	-	-
PM	Fahrgastschiffe	Diesel	26	25	28	22	12	7	4	2
PM	Fahrgastschiffe	Dampf	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	Lastschiffe	Diesel	9	14	11	9	5	3	2	1
PM	Fährschiffe	Diesel	4	4	7	6	3	2	1	1
PM	Güterschiffe Rhein, Hauptmotoren	Diesel	1	1	1	1	1	0	0	0
PM	Güterschiffe Rhein, Hilfsmotoren	Diesel	1	1	1	1	0	0	0	0
CO ₂	Segelboote mit Motor	Diesel	2'050	2'227	1'929	1'999	1'899	1'804	1'747	1'713
CO ₂	Segelboote mit Motor	Benzin (4T)	351	381	336	286	258	246	238	233
CO ₂	Segelboote mit Motor	Benzin (2T)	459	499	331	238	223	211	205	201
CO ₂	Berufsfischer & Arbeitsboote	Diesel	3'937	3'607	3'251	3'449	3'150	2'889	2'706	2'595
CO ₂	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (4T)	9'540	8'740	7'948	6'426	5'373	4'844	4'533	4'348
CO ₂	Berufsfischer & Arbeitsboote	Benzin (2T)	27	25	17	11	9	8	8	7
CO ₂	Miet- & private Motorboote	Diesel	4'213	4'578	3'981	4'893	5'388	5'636	5'734	5'789
CO ₂	Miet- & private Motorboote	Benzin (4T)	37'570	40'822	35'953	31'827	31'965	33'016	33'564	33'889
CO ₂	Miet- & private Motorboote	Benzin (2T)	1'250	1'359	904	650	670	689	701	707
CO ₂	Fahrgastschiffe	Diesel	25'560	24'040	28'393	30'883	30'464	29'100	28'072	27'700
CO ₂	Fahrgastschiffe	Dampf	6'119	8'140	10'847	11'650	10'693	10'155	9'768	9'615

Tab. 70 > Militär: Emissionen (in t/a)

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
HC	Pz 68 Familie	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
HC	Leo Familie	Diesel	2	2	2	1	1	1	1	1
HC	Pz Haubitze	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Schützenpanzer	Diesel	15	15	12	1	1	1	0	0
HC	andere Panzer	Diesel	-	1	2	9	4	2	2	2
HC	Aufklärfahrzeuge	Diesel	0	0	1	1	0	0	0	0
HC	Raupenlader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Pneuladeschaufel	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
HC	Raupenbagger Mil.	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
HC	Schreitbagger Mil.	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Bulldozer	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
HC	Rammgerät	Diesel	-	-	0	0	0	0	0	0
HC	Kranwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Patrouillenboote	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	andere Boote	Benzin (4T)	1	1	1	0	0	0	0	0
HC	Sortiment Lenzeinsatz	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
HC	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	3	3	3	1	1	0	0	0
HC	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	18	18	18	11	6	4	4	4
HC	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	31	31	29	13	5	5	5	5
HC	Unterstützungsbrücke 46m	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
HC	Sortiment Wassertransport	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CO	Pz 68 Familie	Diesel	2	2	2	-	-	-	-	-
CO	Leo Familie	Diesel	12	11	12	7	4	4	4	4
CO	Pz Haubitze	Diesel	2	2	2	2	1	1	1	1
CO	Schützenpanzer	Diesel	82	82	70	6	6	6	1	1
CO	andere Panzer	Diesel	-	3	12	48	17	9	7	7
CO	Aufklärfahrzeuge	Diesel	1	1	8	5	2	1	1	1
CO	Raupenlader	Diesel	2	2	2	1	0	0	0	0
CO	Pneuladeschaufel	Diesel	5	5	5	2	1	0	0	0
CO	Raupenbagger Mil.	Diesel	4	4	4	1	0	0	0	0
CO	Schreitbagger Mil.	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
CO	Bulldozer	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
CO	Rammgerät	Diesel	-	-	0	0	0	0	0	0
CO	Kranwagen	Diesel	1	1	1	0	0	0	0	0
CO	Patrouillenboote	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	andere Boote	Benzin (4T)	11	12	7	4	5	5	5	5
CO	Sortiment Lenzeinsatz	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
CO	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	9	9	9	5	2	2	2	2
CO	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	362	362	362	357	344	344	344	344
CO	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	66	66	65	56	49	46	46	46

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
PM	Unterstützungsbrücke 46m	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
PM	Sortiment Wassertransport	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂	Pz 68 Familie	Diesel	268	283	298	-	-	-	-	-
CO ₂	Leo Familie	Diesel	1'733	1'733	1'733	1'025	590	525	525	525
CO ₂	Pz Haubitze	Diesel	289	289	289	218	125	125	94	94
CO ₂	Schützenpanzer	Diesel	10'424	10'424	8'958	1'063	1'063	1'063	325	325
CO ₂	andere Panzer	Diesel	-	482	1'829	12'483	12'540	12'540	12'540	12'540
CO ₂	Aufklärfahrzeuge	Diesel	88	93	1'114	1'139	1'144	1'144	1'144	1'144
CO ₂	Raupenlader	Diesel	255	255	256	260	263	263	263	263
CO ₂	Pneuladeschaufel	Diesel	570	570	571	581	587	587	587	587
CO ₂	Raupenbagger Mil.	Diesel	400	400	401	408	412	412	412	412
CO ₂	Schreitbagger Mil.	Diesel	75	75	75	77	77	77	77	77
CO ₂	Bulldozer	Diesel	23	26	29	-	-	-	-	-
CO ₂	Rammgerät	Diesel	-	-	29	29	27	27	27	27
CO ₂	Kranwagen	Diesel	132	132	132	135	28	6	6	6
CO ₂	Patrouillenboote	Diesel	44	44	43	51	56	71	71	71
CO ₂	andere Boote	Benzin (4T)	43	45	46	41	37	38	38	38
CO ₂	Sortiment Lenzeinsatz	Diesel	-	-	-	-	16	16	16	16
CO ₂	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	1'340	1'341	1'342	1'359	1'366	1'366	1'366	1'366
CO ₂	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	1'163	1'163	1'161	1'124	1'039	1'018	1'018	1'018
CO ₂	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	229	229	222	174	132	119	119	119
CO ₂	Unterstützungsbrücke 46m	Diesel	-	-	-	-	206	206	206	206
CO ₂	Sortiment Wassertransport	Diesel	-	34	34	35	35	35	35	35
CH ₄	Pz 68 Familie	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
CH ₄	Leo Familie	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Pz Haubitze	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Schützenpanzer	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	andere Panzer	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Aufklärfahrzeuge	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Raupenlader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Pneuladeschaufel	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Raupenbagger Mil.	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Schreitbagger Mil.	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Bulldozer	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
CH ₄	Rammgerät	Diesel	-	-	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Kranwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Patrouillenboote	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	andere Boote	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Sortiment Lenzeinsatz	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
CH ₄	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
CH ₄	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	1	1	1	0	0	0	0	0
CH ₄	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	2	2	2	1	0	0	0	0

Schadstoff	Kategorie	Motortyp	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
N ₂ O	Unterstützungsbrücke 46m	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
N ₂ O	Sortiment Wassertransport	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Pz 68 Familie	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
Benzol	Leo Familie	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Pz Haubitze	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Schützenpanzer	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	andere Panzer	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Aufklärungfahrzeuge	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Raupenlader	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Pneuladeschaufel	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Raupenbagger Mil.	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Schreibbagger Mil.	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Bulldozer	Diesel	0	0	0	-	-	-	-	-
Benzol	Rammgerät	Diesel	-	-	0	0	0	0	0	0
Benzol	Kranwagen	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Patrouillenboote	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	andere Boote	Benzin (4T)	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Sortiment Lenzeinsatz	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
Benzol	Stromerzeugungsaggregate	Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0
Benzol	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (4T)	1	1	0	0	0	0	0	0
Benzol	Stromerzeugungsaggregate	Benzin (2T)	2	2	0	0	0	0	0	0
Benzol	Unterstützungsbrücke 46m	Diesel	-	-	-	-	0	0	0	0
Benzol	Sortiment Wassertransport	Diesel	-	0	0	0	0	0	0	0

A14 Expertengruppen und ihre Mitglieder**A14-1 Baumaschinen/Industrie**

Name	Firma/Organisation	Verband
Roger Widmer	Probst Maveg AG	VSBM (Verband der schweiz. Baumaschinenwirtschaft)
Nicole Loichat	Schweizerischer Baumeisterverband	SBV (Schweiz. Baumeisterverband)
Urs Ritter	Linde MH Schweiz	swisslifter (Schweiz. Hubstaplerverband)
Fulvio Sartori	Seilbahnen Schweiz	SBS (Seilbahnen Schweiz)
René Boschung	Marcel Boschung AG	SIK (Schweiz. Interessensgemeinschaft der Fabrikanten und Händler von Kommunal-Maschinen und Geräten)
François Jaussi	Liebherr Machines Bulle SA	-

A14-2 Land-/Forstwirtschaft

Name	Firma/Organisation	Verband
Marco Landis	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon	-
Willi von Atzigen	Schweiz. Verband für Landtechnik	SVLT (Schweiz. Verband für Landtechnik)
Daniel Bernhard	Matra	SLV (Schweiz. Landmaschinen-Verband)
Pius Wiss	Wiss AG	FUS (Verband Forstunternehmer Schweiz)
Dr. Oliver Thees	Eidg. Forschungsanstalt WSL	-

A14-3 Kleingeräte

Name	Firma/Organisation
Hugo Helbling	Husqvarna Schweiz AG
Martin Buser	Husqvarna Schweiz AG
Eric Krebs	Honda Motor Europe Ltd
Arthur Lörli	Walker Vertriebs AG

A14-4 Motorenspezialisten

Name	Firma/Organisation
François Jaussi	Liebherr Machines Bulle SA
Marco Landis	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon

> Verzeichnisse

Begriffe

Emissionsfaktor

Spezifische Emission, d. h. Schadstoffausstoss bezogen auf eine Referenzgrösse (z. B. Emission pro gefahrene Strecke [g/km], pro geleistete Arbeit [g/kWh] oder pro Treibstoffverbrauch [g/kg])

Lastfaktor

Verhältnis der effektiven Leistung zur Nennleistung einer Maschine

Maschinengattung

Die Maschinen und Geräte des Offroad-Sektors werden im vorliegenden Bericht in acht Maschinengattungen eingeteilt: Baumaschinen, Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Gartenpflege/Hobby, Schiffe, Schiene und Militär (vgl. Annex 2)

Maschinenkategorie

Ist eine Teilmenge einer Maschinengattung.
(z. B. werden die Baumaschinen unterteilt in Hydraulik-Bagger, Pneu-/Mobilkräne, Lader, Dumper, Grabenfräsen, Pumpen etc.) (vgl. Annex 2)

Maschinensegment

Ist eine Teilmenge einer Maschinenkategorie.
(z. B. Hydraulik-Bagger mit Dieselmotoren von mehr als 37 kW Leistung)

Maschinensubsegment

Ist eine Teilmenge eines Maschinensegments, welche Maschinen mit einem ähnlichen Baujahr (entsprechend den Emissionsstufen) umfasst.

Mengengerüst

Beschreibt die mengenmässige Zusammensetzung eines Objekts oder Vorgangs, indem es zu jeder Komponente eine Menge angibt. Im vorliegenden Bericht umfasst das Mengengerüst des Non-road-Sektors die Komponenten «Bestände» und «Betriebsstunden», differenziert nach Maschinenkategorie, Motortyp, Leistungsklasse und Baujahr.

Non-road-Sektor

Umfasst alle mit einem Verbrennungsmotor ausgerüsteten mobilen Maschinen und Geräte, die nicht zur Beförderung von Personen und Gütern auf der Strasse bestimmt sind.
(N.B.: Die so genannten «Offroader» (schwere Personenwagen) zählen nicht zum Offroad-Sektor.)

Abkürzungen

ART

Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon

BAFU

Bundesamt für Umwelt, Bern (Bezeichnung seit Anfang 2006)

BFE

Bundesamt für Energie

BFS

Bundesamt für Statistik

BUWAL

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
(Bezeichnung bis Ende 2005)

CH₄

Methan

CO

Kohlenmonoxid

CO₂

Kohlendioxid

CORINAIR

Core Inventory of Air Emissions

DB

Deutsch Bahn

EEA

European Environment Agency

EFKO

Eidgenössische Fahrzeugkontrolle

EMPA

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf

EPA

Environmental Protection Agency (USA)

EU

Europäische Union

Euro 1/I, 2/II, 3/III, 4/IV, 5/V

Europäische Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen

FAT

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik in Tänikon

FUS

Verband Forstunternehmer Schweiz

FC

Treibstoffverbrauch (Fuel Consumption)

FW

Forstwirtschaft

HC

Kohlenwasserstoffe

IFEU

Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

KWF

Kuratorium für Wald- und Forstwirtschaft e.V. (Deutschland)

LBA

Logistikbasis der Armee

LBZ

Landwirtschaftliche Betriebszählung

LW

Landwirtschaft

MOFIS

Motorfahrzeug-Informationssystem, Datenbank der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (EFKO)

NMHC

Non-Methane Hydrocarbons, Sammelbegriff für alle Kohlenwasserstoffe ausser Methan

NO_x

Stickoxide

N₂O

Distickstoffmonoxid, Lachgas

OZD

Oberzolldirektion

PM

Partikelmasse (Particulate Matters)

SAV

Verordnung über die Abgasemissionen von Schiffsmotoren auf schweizerischen Gewässern

SBB

Schweizerische Bundesbahnen

SBS

Seilbahnen Schweiz

SBV

Schweizer Baumeisterverband

SIK

Schweiz. Interessensgemeinschaft der Fabrikanten und Händler von Kommunal-Maschinen und Geräten

SLV

Schweiz. Landmaschinen-Verband

SVLT

Schweiz. Verband für Landtechnik

UIC

Union Internationale des Chemins de Fer

VBS

Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport

VKS

Vereinigung der (kantonalen) Schifffahrtsämter

VSBM

Verband der Schweizerischen Baumaschinenwirtschaft

VSSU

Verband schweizerischer Schifffahrtsunternehmen

Abbildungen

Abb. 1	Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010	14	Abb. 15	Entwicklung der Bestände nach Maschinengattungen (1980–2050)	52
Abb. 2	Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010	16	Abb. 16	Entwicklung der Bestände nach Motortyp (1980–2050)	53
Abb. 3	Relative Entwicklung der Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors im Vergleich zu den Werten des Jahres 2010	18	Abb. 17	Entwicklung der Bestände mit Dieselmotoren nach Leistungsklassen (1980–2050, ohne Schiffe und Strassenfahrzeuge des Flughafenvorfeldes)	54
Abb. 4	Die Gliederungsstufen der Non-road-Datenbank am Beispiel der Zusammensetzung eines Maschinen- bzw. Gerätesegments	25	Abb. 18	Durchschnittliche Betriebsstunden pro Gerät und Jahr	55
Abb. 5	Bestandesmodell am Beispiel von Strassenfertigern (Gattung Baumaschinen)	27	Abb. 19	Summe der Betriebsstunden nach Maschinengattungen und Motortyp im Jahr 2010	55
Abb. 6	Reduktion der jährlichen Betriebsstunden einer Maschine in Abhängigkeit vom Alter	28	Abb. 20	Entwicklung der gesamten Betriebsstunden nach Maschinengattungen (1980–2050)	57
Abb. 7	Altersverteilung Bestände und Betriebsstunden der Dumper	29	Abb. 21	Entwicklung der spezifischen Betriebsstunden pro Gerät und Jahr (1980–2050)	57
Abb. 8	Vergleich der Emissionsgrenzwerte mit den Emissionsfaktoren: Stickoxide (NO _x)	38	Abb. 22	Entwicklung der gesamten Betriebsstunden von Dieselmotoren nach Leistungsklassen (1980–2050, ohne Schiffe und Strassenfahrzeuge des Flughafenvorfeldes)	58
Abb. 9	Vergleich der Emissionsgrenzwerte mit den Emissionsfaktoren: Partikelmasse (PM)	39	Abb. 23	Entwicklung des Bestandes an Dieselmotoren, die mit Partikelfilter aus- oder nachgerüstet sind	60
Abb. 10	Emissionsfaktoren der einzelnen Emissionsstufen für Dieselmotoren	40	Abb. 24	Baumaschinen: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	62
Abb. 11	Herleitung eines Subsegments aus Segment und Emissionsstufe	42	Abb. 25	Industrie: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	64
Abb. 12	Sensitivität der NO _x -Emissionen auf die verzögerte Einführung von Emissionsstufen	43	Abb. 26	Landwirtschaft: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	66
Abb. 13	Illustration der Emissionsstufen für Strassenfertiger (Baumaschinen)	44	Abb. 27	Forstwirtschaft: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	68
Abb. 14	Bestände nach Maschinengattungen und Motortyp im Jahr 2010	51	Abb. 28	Gartenpflege: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	70

Abb. 29 Schiffe: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	72	Abb. 44 Landwirtschaft: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	98
Abb. 30 Schiene: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	74	Abb. 45 Landwirtschaft: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	100
Abb. 31 Militär: Bestände im Jahr 2010 und Entwicklung der Betriebsstunden (1980–2050)	76	Abb. 46 Forstwirtschaft: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	102
Abb. 32 Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010 in PJ/a	78	Abb. 47 Forstwirtschaft: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	104
Abb. 33 Entwicklung des Energieverbrauch des Non-road-Sektors	80	Abb. 48 Gartenpflege/Hobby: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	106
Abb. 34 Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010	82	Abb. 49 Gartenpflege/Hobby: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	108
Abb. 35 Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010	83	Abb. 50 Schiffe: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	110
Abb. 36 Relative Entwicklung der Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors im Vergleich zu den Werten des Jahres 2010	85	Abb. 51 Schiffe: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	112
Abb. 37 Entwicklung der Schadstoffemissionen	86	Abb. 52 Schiene: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	114
Abb. 38 Altersverteilung der Baumaschinen und der landwirtschaftlichen Maschinen	87	Abb. 53 Schiene: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	116
Abb. 39 Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des Non-road-Sektors	88	Abb. 54 Militär: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	118
Abb. 40 Baumaschinen: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	90	Abb. 55 Militär: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	120
Abb. 41 Baumaschinen: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	92	Abb. 56 Bau- und landwirtschaftliche Maschinen: Tatsächliche Entwicklung der Partikelemissionen und durch schweizerische Gesetzgebung beeinflussbarer Bereich	124
Abb. 42 Industrie: Energieverbrauch im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	94		
Abb. 43 Industrie: Emissionen im Jahr 2010 und zeitliche Entwicklung (1980–2050)	96		

<p>Abb. 57 Vergleich des aktuellen Mengengerüstes mit dem Bericht UW-0828 129</p> <p>Abb. 58 Dieselmaschinen: Vergleich mit den Emissionsfaktoren des Berichts UW-0828 131</p> <p>Abb. 59 Benzingeräte: Vergleich mit den Emissionsfaktoren des Berichts UW-0828 132</p> <p>Abb. 60 Vergleich des Energieverbrauches des Jahres 2010 mit den prognostizierten Werten des Berichts UW-0828, nach Maschinengattung 133</p> <p>Abb. 61 Vergleich der Entwicklung des Energieverbrauches mit Bericht UW-0828 134</p> <p>Abb. 62 Vergleich der Emissionen des Jahres 2010 mit den prognostizierten Werten des Berichts UW-0828, nach Maschinengattung 136</p> <p>Abb. 63 Vergleich der Entwicklung der Emissionen der regulierten Schadstoffe mit Bericht UW-0828 137</p> <p>Tabellen</p> <hr/> <p>Tab. 1 Bestände und Betriebsstunden des Non-road-Sektors im Jahr 2010 12</p> <p>Tab. 2 Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010 13</p> <p>Tab. 3 Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010 15</p> <p>Tab. 4 Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010 17</p> <p>Tab. 5 Vergleich des Non-road-Sektors mit dem Strassenverkehr für das Jahr 2010 19</p>	<p>Tab. 6 EU-Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren (in g/kWh) 31</p> <p>Tab. 7 Inkraftsetzungsjahr der EU-Grenzwerte für Dieselmotoren 32</p> <p>Tab. 8 Gegenüberstellung der Werte der drei Datenquellen und der Emissionsfaktoren, die durch die Motorenspezialisten festgelegt wurden (nur Partikelemissionswerte) 36</p> <p>Tab. 9 Emissionen zweier bedeutender Schienenfahrzeugtypen der SBB 41</p> <p>Tab. 10 Verwendete Dynamikfaktoren bestimmter Maschinenkategorien 47</p> <p>Tab. 11 Verschlechterungsfaktoren (bis Emissionsstufe EU-IIIa) 48</p> <p>Tab. 12 Mengengerüst des Non-road-Sektors für das Jahr 2010 56</p> <p>Tab. 13 Geplanter Einbau von Partikelfiltern in Motoren ab 18 kW der Stufen EU-IIIB und EU-IV nach Hersteller 59</p> <p>Tab. 14 Energieverbrauch des Non-road-Sektors im Jahr 2010 79</p> <p>Tab. 15 Emissionen der regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010 83</p> <p>Tab. 16 Emissionen der nicht-regulierten Luftschadstoffe des Non-road-Sektors im Jahr 2010 84</p> <p>Tab. 17 Vergleich des Non-road-Sektors mit dem Strassenverkehr für das Jahr 2010 122</p> <p>Tab. 18 Spezifische Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors und des Strassenverkehrs im Jahr 2010 123</p> <p>Tab. 19 Vergleich der Lastfaktoren mit dem Bericht UW-0828 127</p> <p>Tab. 20 Maschinengattungen und Maschinenkategorien des Non-road-Sektors 141</p>
---	---

Tab. 21	EU-Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren (in g/kWh)	146	Tab. 36	Emissionsfaktoren dieselmotorentriebener Schiffe (in g/kWh)	163
Tab. 22	Inkraftsetzungsjahr der Emissionsgrenzwerte für Non-road-Dieselmotoren	147	Tab. 37	Emissionsfaktoren dieselmotorentriebener Boote (in g/kWh)	164
Tab. 23	EU-Emissionsgrenzwerte für benzinbetriebene Kleingeräte (in g/kWh)	148	Tab. 38	Emissionsfaktoren benzinbetriebener Boote (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe	166
Tab. 24	Emissionsgrenzwerte für dieselmotorentriebene Schiffe (in g/kWh)	149	Tab. 39	Emissionsfaktoren benzinbetriebener Boote (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol	167
Tab. 25	Emissionsgrenzwerte für dieselmotorentriebene Boote (in g/kWh)	151	Tab. 40	Emissionsfaktoren dampfmotorentriebener Schiffe (in g/kWh)	168
Tab. 26	Emissionsgrenzwerte für benzinbetriebene Boote (in g/kWh)	152	Tab. 41	Emissionsfaktoren von Schienenfahrzeugen (in g/kWh)	169
Tab. 27	Emissionsgrenzwerte für Schienenfahrzeuge (in g/kWh)	153	Tab. 42	Wirkungsgrade elektrisch betriebener Maschinen und Geräte	170
Tab. 28	Emissionsfaktoren von dieselmotorentriebenen Maschinen (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe	154	Tab. 43	Benzol-Emissionen von Benzinmotoren nach Jahr	171
Tab. 29	Emissionsfaktoren von dieselmotorentriebenen Maschinen (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe	156	Tab. 44	Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der CO ₂ -Emissionen	172
Tab. 30	Annahmen bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen	157	Tab. 45	Korrekturfaktoren zur Ermittlung der Partikel-Emissionen (PM) bei Einsatz von Partikelfiltern	173
Tab. 31	Emissionsfaktoren flüssiggasbetriebener Maschinen (in g/kWh)	158	Tab. 46	Nennleistungen, Normlastfaktoren und effektive Lastfaktoren für die einzelnen Maschinenkategorien	174
Tab. 32	Emissionsfaktoren von Geräten mit 4-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe	159	Tab. 47	Maschinenkategorien mit dynamischem Schadstoffausstoss	178
Tab. 33	Emissionsfaktoren von Geräten mit 4-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol	160	Tab. 48	Bestände	179
Tab. 34	Emissionsfaktoren von Geräten mit 2-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – regulierte Schadstoffe	161	Tab. 49	Gesamte Betriebsstunden (in Mio. h/a)	179
Tab. 35	Emissionsfaktoren von Geräten mit 2-Takt-Benzinmotoren (in g/kWh) – nicht-regulierte Schadstoffe ausser Benzol	162	Tab. 50	Spezifische Betriebsstunden (in h/a)	179
			Tab. 51	Bestände und Betriebsstunden nach Maschinenkategorie	180
			Tab. 52	Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors	184

Tab. 53	Energieverbrauch nach Maschinengattung (in PJ/a)	185
Tab. 54	Emissionen nach Maschinengattung (in t/a)	186
Tab. 55	Baumaschinen: Energieverbrauch (in PJ/a)	188
Tab. 56	Industrie: Energieverbrauch (in PJ/a)	189
Tab. 57	Landwirtschaft: Energieverbrauch (in PJ/a)	190
Tab. 58	Forstwirtschaft: Energieverbrauch (in PJ/a)	190
Tab. 59	Gartenpflege/Hobby: Energieverbrauch (in PJ/a)	191
Tab. 60	Schiffe: Energieverbrauch (in PJ/a)	192
Tab. 61	Schiene: Energieverbrauch (in PJ/a)	193
Tab. 62	Militär: Energieverbrauch (in PJ/a)	193
Tab. 63	Baumaschinen: Emissionen (in t/a)	194
Tab. 64	Industrie: Emissionen (in t/a)	200
Tab. 65	Landwirtschaft: Emissionen (in t/a)	204
Tab. 66	Forstwirtschaft: Emissionen (in t/a)	207
Tab. 67	Gartenpflege/Hobby: Emissionen (in t/a)	210
Tab. 68	Schiffe: Emissionen (in t/a)	218
Tab. 69	Schiene: Emissionen (in t/a)	222
Tab. 70	Militär: Emissionen (in t/a)	223

Literatur

Ammann H. 2007: Berechnung der mittleren Auslastung von Traktoren, Zweiachsmähern und Transportern. Internes Arbeitspapier (nicht veröffentlicht). Agroscope ART, Tänikon.

BAFU 2008: Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980–2020. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

BAFU 2009: Luftreinhaltung auf Baustellen. Richtlinie über betriebliche und technische Massnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen (Baurichtlinie Luft). Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. [www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01014/index.html?lang=de].

BAFU 2010: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

BAFU 2014: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2012. National Inventory Report 2014. [www.bafu.admin.ch/climate-reporting/00545/13193/index.html?lang=en].

BFE 2011: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010. [www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_385997457.pdf].

BfS 2012: STAT-TAB. Interaktive Datenbank des Bundesamtes für Statistik. Bundesamt für Statistik (BfS), Neuenburg. [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infotehk/online/db/stattab.html].

BFS 2014: Bevölkerungsentwicklung. Ständige Wohnbevölkerung nach den drei Grundscenarien. [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key/ent_erw.html].

BLS 2012: Geschäftsbericht 2012. [www.bls.ch/d/unternehmen/investorrelations-geschbericht-2012.pdf].

BUWAL 1996: Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors. Umweltmaterialien Nr. 49. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

BUWAL 1997: Offroad-Motoren: Abgase vermindern. Report No. 1/97 Sonderdruck.

BUWAL 1999: Aromatenfreie Gerätebenzine lassen Maschinisten aufatmen.

Dieterich K. 2012: «Lösungen für die Energiewende – Energieforschung bei Bosch» in Zusammenarbeit von Forschung und Wirtschaft für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz. ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE), Umweltforum Berlin. [www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2012-2/th2012_02_02.pdf].

DLG 2008: DLG-Prüfberichte, Testzentrum Technik, Betriebsmittel. [www.dlg.org/landtechnik.html?&L=51].

Dolder 2014: Nennmindesteffizienz und Effizienzklassen von Elektromotoren. [www.dolder-ing.ch/wissen/Elektro/elektromotor_wirkungsgrad_effizienz.htm].

EC 1997: Richtlinie 97/68/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Massnahmen zur Bekämpfung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. European Commission (EC), Brüssel.

EC 2004: Richtlinie 2004/26/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 97/68/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Massnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. European Commission (EC), Brüssel.

EC 2014: Non-Road Mobile Machinery. Revision of Directive 97/68/EC. Presentation held at the GEME (Expert group on emissions from Non-Road Mobile Machinery Engine) Meeting of Feb. 13, 2014 (nicht publiziert).

EEA 2013: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories.

EMPA 2006: Stellungnahme zum Anhörungsverfahren über die Revision der Binnenschiffahrtsverordnung und der Abgasvorschrift für Schiffsmotoren. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf.

EPA 2004: Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modelling – Compression Ignition.

EWI 2005: Neue Offroad-Datenbank 2000. Mengengerüste. Jaakko Pöyry Infra (ehemals Elektrowatt Infra, EWI) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (nicht veröffentlicht).

EZV 2014: Swiss-Impex. [www.swiss-impex.admin.ch/].

Fridell E., Bäckström S., Jerksjö M., Lindgren M. 2014: «Emissions from Non-Road Mobile Machinery – Focus on Engine Load» in Graz, Austria.

De Haan P., Zah R. 2013: Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. TA-Swiss 59/2013. Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-Swiss).

IFEU 2003: Erarbeitung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs unter Einbeziehung möglicher Schadstoffminderungstechnologien. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Heidelberg.

IFEU 2004: Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Heidelberg.

IFEU 2009: Aktualisierung des Modells TREMOD – Mobile Machinery (TREMOD-MM). Endbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Heidelberg.

IFEU 2013: Aktualisierung der Emissionsberechnung für die Binnenschifffahrt und Übertragung der Daten in TREMOD. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Heidelberg.

INFRAS 2008: Einsatzfelder und Nutzung des Alkylatbenzins. Lagebericht für die Schweiz im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und der Schweizerischen Metallunion. Bern.

INFRAS 2012: Luftschadstoffemissionen der Schifffahrt in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft. [www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/lufthygiene/aktuelle/aktionsplan_schiffsemissionen-bsbl-infras.pdf].

Integer 2013: Emissions Control in Non-Road Mobile Machinery (NRM) Markets: 2013 Edition. Integer Research Limited, London.

Jardin Suisse 2012: Zahlen zum Schweizerischen Gartenbau. [www.jardinsuisse.ch/nc/ueber-uns-branche/die-gruene-branche.html].

KWF 2012: KWF – Forstmaschinenstatistik zeigt deutliche Stabilisierung des Marktes. [www.kwf-tagung.org/fr/aktuelles/news-detailanzeige/eintrag/39.html].

Ledermann T., Schneider F. 2008: Verbreitung der Direktsaat in der Schweiz. Agrarforschung 15(8), 408–413.

Mayer A. 2005: Elimination of Engine Generated Nanoparticles. expert Verlag, Renningen.

Nipkow J. 1989: Elektrizität sparen bei Motoren. Schweizer Ingenieur und Architekt 18(107). [www.dx.doi.org/10.5169/seals-77095].

Off-Highway Research 2005: The Market for Construction Equipment and Agricultural Tractors in Switzerland. September 2005.

Off-Highway Research 2008: The Market for Construction Equipment and Agricultural Tractors in Switzerland. November 2008.

Off-Highway Research 2012: The Market for Construction Equipment and Agricultural Tractors in Switzerland. April 2012.

SBB 2012: Die SBB in Zahlen und Fakten. [www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/medien/publikationen/geschaefts-nachhaltigkeitsbericht/archiv/jcr_content/contentPar/downloadlist/downloadList/p_sbb_qb_2012_br_p_spooler_download.pdf].

SBS 2014: Stellungnahme Seilbahnen Schweiz (SBS): Vernehmlassungsantwort zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes betreffend teilweise Befreiung der Treibstoffe für Pistenfahrzeuge von der Mineralölsteuer. [www.seilbahnen.org/de/index.php?section=downloads&download=1102].

SBV 2013: BIV 2013. Betriebsinterne Verrechnungsansätze und Inventar-Grunddaten. Schweizerischer Baumeisterverband (SBV).

TASPO 2013: Bosch Gartengeräte-Absatz: «Starke Verkaufsdynamik». TASPO. [www.taspo.de/aktuell/alle-news/detail/beitrag/56716-bosch-gartengerate-absatz-starke-verkaufsdynamik.html].

VÖV 2012: Marktanalyse und Marktprognose Schienengüterverkehr 2030. VÖV (Verband öffentlicher Verkehr) in Zusammenarbeit mit INFRAS Forschung und Beratung, BAKBasel und IVT (Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich), Bern.