

TEXTE

42/2013

Emissionen aus offener Verbrennung

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 206 43 200/01
UBA-FB 001524/ANH,13

Emissionen aus offener Verbrennung

**Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur
Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“**

von

Wolfram Jörß

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4517.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

| | |
|--------------------------|---|
| Durchführung der Studie: | Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) Schopenhauerstr. 26 14129 Berlin |
| Abschlussdatum: | April 2010 |
| Herausgeber: | Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/ |
| Redaktion: | Fachgebiet II 4.1 Grundsatzfragen der Luftreinhaltung Johanna Appelhans |

Dessau-Roßlau, Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|-------|
| Inhaltsverzeichnis | 7 |
| Tabellenverzeichnis | 8 |
| 1 Einleitung..... | 9 |
| 2 Abschätzung der Emissionsfrachten | 9 |
| 2.1 Waldbrände | 10 |
| 2.2 Offene Verbrennung von Biomasse in Gärten, Land- und Forstwirtschaft | 12 |
| 2.3 Brandunfälle..... | 14 |
| 2.4 Illegale Müllverbrennung..... | 15 |
| 3 Fazit | 16 |
| 4 Literatur | 17 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Waldbrandstatistik für Deutschland..... | 10 |
| Tabelle 2: Emissionsfaktoren in [kg/ha] für Aerosolvorläufer aus Waldbränden nach [CORINAIR 2007]..... | 11 |
| Tabelle 3: Emissionsfaktoren für Waldbrände aus dem schweizerischen Emissionsinventar..... | 11 |
| Tabelle 4: Emissionsschätzung für Waldbrände in Deutschland..... | 12 |
| Tabelle 5: Aktivitätsraten für offene Biomasseverbrennung in Gärten, Land- und Forstwirtschaft in Deutschland | 13 |
| Tabelle 6: Emissionsfaktoren [kg/t Trockenmasse] für die Verbrennung von Ästen..... | 13 |
| Tabelle 7: Emissionsfaktoren [kg/t naturfeuchte Biomasse] für die Verbrennung von Ästen | 13 |
| Tabelle 8: Emissionen aus der offenen Biomasseverbrennung in Gärten, Land- und Forstwirtschaft in Deutschland | 14 |
| Tabelle 9: Brandunfälle in Deutschland 2004..... | 14 |
| Tabelle 10: Emissionsfaktoren für Fahrzeugbrände | 14 |
| Tabelle 11: Aktivitätsraten für illegale Müllverbrennung in Deutschland | 15 |
| Tabelle 12: Emissionsfaktoren für illegale Müllverbrennung | 15 |
| Tabelle 13: Emissionen aus der illegalen Müllverbrennung in Deutschland..... | 16 |

1 Einleitung

Im Forschungsvorhaben PAREST¹ wurden Emissionsszenarien von 2000 /2005 bis 2020 für Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und die Aerosol-Vorläufersubstanzen SO₂, NO_x, NH₃ und NMVOC für Deutschland und Europa erstellt, Minderungsmaßnahmen evaluiert und daraus die PM-Immissionsbelastung für Deutschland modelliert.

In diesem Teilbericht zu PAREST wird eine Abschätzung der Emissionen aus offener Verbrennung vorgestellt. Diese grobe Abschätzung soll dazu dienen die Relevanz dieser Quellgruppe einzuschätzen, die in der Referenz-Emissionsdatenbasis von PAREST nicht erfasst ist.

Das PAREST -Referenz-Emissionsszenario selbst wird in einem getrennten Teilbericht ausführlich vorgestellt [Jörß et al. 2010].

Weitere emissionsseitige Teilberichte im Rahmen von PAREST behandeln z.B.

- Maßnahmen- und Sensitivitätsszenarien sowie Unsicherheitsbetrachtungen für Deutschland [Theloke et al. 2010], [Kugler et al. 2010], [Jörß und Degel 2010], [Jörß und Handke 2010] sowie
- die räumliche Verteilung der Emissionen über Deutschland [Thiruchittampalam et al. 2010]
- die europäischen Hintergrundemissionen [Denier van der Gon et al. 2009] und [Denier van der Gon et al. 2010].

Zusätzlich wurden diverse PAREST-Berichte zur Immissionsmodellierung (z.B. [Stern 2010 a], [Stern 2010 b], [Stern 2010 c], [Kerschbaumer 2010 a], [Kerschbaumer 2010 b]) sowie ein zentraler Schlussbericht [Bultjes et al. 2010] erstellt.

2 Abschätzung der Emissionsfrachten

Grundansatz der Untersuchung war es, für Deutschland aggregierte Emissionsabschätzungen für Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und die Aerosolvorläufer SO₂, NO_x, NH₃ und NMVOC aus denjenigen Quellgruppen der offenen Verbrennung zu machen, wie sie in [Rentz et al. 2008] für Emissionen an persistenten organischen Schadstoffen (POPs) bilanziert worden waren. So ist sichergestellt, dass die hier vorgestellten Abschätzungen für Emissionen an Feinstaub und Aerosolvorläufern kompatibel mit anderen im Auftrag des Umweltbundesamt vorgenommenen Abschätzungen sind. Bezugsjahre für die Untersuchung im Rahmen von PAREST waren in erster Linie das Basisjahr 2005 und in zweiter Linie die Prognosejahre 2010 bis 2020.

[Rentz et al. 2008] differenziert verschiedene Quellen offener Verbrennung. Untersucht werden im Weiteren:

- Waldbrände,
- offene Verbrennung von Biomasse in Gärten, Land- und Forstwirtschaft,
- Brandunfälle und
- illegale Müllverbrennung.

¹ PAREST – Particle Reduction Strategies – ist ein Forschungsvorhaben für das Umweltbundesamt, durchgeführt unter dem FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Das Forschungskonsortium besteht aus

- TNO, Institut für Umwelt und Luftqualität, Niederlande,
- Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin (IZT)
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart (IER)
- Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig (IfT) und
- Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)

Das Projekt ist im Internet zu finden unter www.parest.de.

2.1 Waldbrände

Aktivitätsraten

Die Anzahl und Flächen von Waldbränden der Vergangenheit in Deutschland werden wie in Anlehnung an [Rentz et al. 2008] aus der Waldbrandstatistik entnommen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Waldbrandstatistik für Deutschland

| Jahr | Vorsatz (Brandstiftung) | | Fahrlässigkeit | | Sonst. handlungsbed. Einwirkungen | | Natürliche Ursachen | | Unbekannte Ursachen | | Zusammen | | Schaden (geschätzt) | |
|---|-------------------------|-------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|---------------------|----------------|---------------------|-------------|------------|-------------|---------------------|--------------|
| | Anzahl | Fläche (ha) | Anzahl | Fläche (ha) | Anzahl | Fläche (ha) | Anzahl | Fläche (ha) 2) | Anzahl | Fläche (ha) | Anzahl | Fläche (ha) | Mio. € | €/ ha |
| 1977 1) | 172 | 80 | 384 | 151 | 248 | 215 | 2 | 0 | 294 | 167 | 1.100 | 613 | 1,3 | 2.085 |
| 1978 1) | 94 | 32 | 212 | 76 | 157 | 103 | 8 | 0 | 163 | 78 | 634 | 289 | 0,6 | 2.123 |
| 1979 1) | 75 | 34 | 219 | 79 | 203 | 154 | 2 | 0 | 201 | 89 | 700 | 356 | 0,6 | 1.724 |
| 1980 1) | 132 | 57 | 471 | 368 | 375 | 886 | 4 | 1 | 388 | 233 | 1.370 | 1.545 | 1,9 | 1.258 |
| 1981 1) | 125 | 33 | 255 | 143 | 79 | 207 | 1 | 0 | 184 | 114 | 644 | 497 | 1,3 | 2.572 |
| 1982 1) | 223 | 138 | 441 | 164 | 198 | 327 | 3 | 1 | 379 | 121 | 1.244 | 751 | 1,9 | 2.519 |
| 1983 1) | 197 | 92 | 296 | 150 | 227 | 256 | 22 | 1 | 367 | 293 | 1.109 | 792 | 3,4 | 4.326 |
| 1984 1) | 183 | 105 | 460 | 264 | 148 | 303 | 2 | 0 | 370 | 203 | 1.163 | 875 | 2,6 | 2.980 |
| 1985 1) | 146 | 47 | 163 | 67 | 72 | 86 | 2 | 0 | 139 | 42 | 522 | 242 | 0,7 | 2.747 |
| 1986 1) | 146 | 36 | 151 | 48 | 121 | 152 | 5 | 1 | 195 | 56 | 618 | 293 | 0,7 | 2.443 |
| 1987 1) | 99 | 41 | 168 | 136 | 105 | 96 | 2 | 0 | 110 | 46 | 484 | 319 | 0,8 | 2.565 |
| 1988 1) | 143 | 21 | 164 | 432 | 104 | 86 | 6 | 0 | 142 | 127 | 559 | 282 | 0,7 | 2.539 |
| 1989 1) | 237 | 64 | 192 | 39 | 135 | 117 | 12 | 1 | 230 | 60 | 806 | 281 | 0,9 | 3.275 |
| 1990 1) | 225 | 86 | 311 | 131 | 152 | 146 | 28 | 6 | 285 | 113 | 1.001 | 481 | 5,4 | 11.162 |
| 1991 | 460 | 127 | 395 | 245 | 333 | 309 | 11 | 4 | 647 | 236 | 1.846 | 920 | 1,7 | 1.834 |
| 1992 | 550 | 309 | 710 | 680 | 386 | 1.274 | 133 | 966 | 1.233 | 1.679 | 3.012 | 4.908 | 12,8 | 2.604 |
| 1993 | 385 | 178 | 466 | 444 | 112 | 119 | 79 | 11 | 652 | 740 | 1.694 | 1.493 | 5,4 | 3.630 |
| 1994 | 345 | 170 | 485 | 352 | 111 | 84 | 131 | 50 | 624 | 459 | 1.696 | 1.114 | 1,3 | 1.193 |
| 1995 | 273 | 149 | 345 | 230 | 40 | 18 | 51 | 15 | 528 | 180 | 1.237 | 592 | 1,5 | 2.505 |
| 1996 | 334 | 204 | 555 | 477 | 133 | 300 | 16 | 1 | 710 | 400 | 1.748 | 1.381 | 4,2 | 3.036 |
| 1997 | 355 | 115 | 381 | 172 | 154 | 126 | 36 | 9 | 541 | 178 | 1.467 | 599 | 1,5 | 2.542 |
| 1998 | 221 | 61 | 202 | 108 | 172 | 86 | 66 | 9 | 371 | 134 | 1.032 | 397 | 1,6 | 4.037 |
| 1999 | 330 | 122 | 226 | 91 | 56 | 24 | 63 | 9 | 503 | 167 | 1.178 | 415 | 1,4 | 3.477 |
| 2000 | 306 | 96 | 199 | 65 | 87 | 104 | 89 | 31 | 529 | 286 | 1.210 | 581 | 2,1 | 3.642 |
| 2001 | 159 | 33 | 113 | 19 | 58 | 30 | 20 | 2 | 237 | 38 | 587 | 122 | 0,5 | 3.598 |
| 2002 | 157 | 25 | 102 | 38 | 43 | 13 | 23 | 3 | 188 | 43 | 513 | 122 | 0,5 | 3.715 |
| 2003 | 537 | 320 | 492 | 168 | 152 | 389 | 111 | 23 | 1.232 | 415 | 2.524 | 1.315 | 3,2 | 2.421 |
| 2004 | 157 | 46 | 153 | 52 | 33 | 61 | 11 | 2 | 272 | 114 | 626 | 274 | 0,5 | 1.816 |
| 2005 | 114 | 38 | 92 | 45 | 45 | 26 | 19 | 2 | 226 | 72 | 496 | 183 | 0,4 | 2.147 |
| 2006 | 154 | 35 | 216 | 202 | 42 | 26 | 76 | 15 | 442 | 204 | 930 | 482 | 0,9 | 1.894 |
| 2007 | 187 | 48 | 224 | 75 | 30 | 32 | 23 | 2 | 315 | 98 | 779 | 256 | 0,8 | 3.216 |
| Veränderung von 2006 zu 2007 in %: | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21 | 36 | 4 | -63 | -29 | 23 | -70 | -84 | -29 | -52 | -16 | -47 | -10 | 70 |
| Durchschnitt der Jahre: | | | | | | | | | | | | | | |
| 1977-1990 1) | 157 | 62 | 278 | 161 | 166 | 224 | 7 | 1 | 246 | 124 | 854 | 544 | 1,6 | 3.165 |
| 1991-2007 | 296 | 122 | 315 | 204 | 117 | 178 | 56 | 68 | 544 | 320 | 1.328 | 891 | 2,4 | 2.783 |

1) nur früheres Bundesgebiet; 2) 0 bedeutet weniger als die Hälfte der kleinsten Einheit

Quelle: [BMELV 2009]

Die abgebrannten Flächen pro Jahr schwanken stark, der langjährige Mittelwert (1991 –2007) beträgt 891 ha, bei einer Standardabweichung von 1128 ha und einem Median von 581 ha ein eindeutiger Trend ist nicht erkennbar. Fasst man die vorliegenden als Daten als Stichprobe mit 17 Ziehungen einer normalverteilten Zufallsgröße aus, so beträgt der Erwartungswert (d.h. die beste Schätzung für ein zukünftiges Jahr) 891 ha (also der Mittelwert) +/- 65% (Schwellen des 95%-Konfidenzintervalls; zur konzeptionellen Behandlung von Unsicherheiten und dazu gehörigen Rechenwegen vgl. [Jörß und Handke 2010] sowie [Degel und Jörß 2009]).

Emissionsfaktoren

Die in der Literatur zu findenden Emissionsfaktoren für Waldbrände variieren deutlich:

Tabelle 2: Emissionsfaktoren in [kg/ha] für Aerosolvorläufer aus Waldbränden nach [CORINAIR 2007]

| | NM VOC | NO_x | NH₃ | SO_x |
|---|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Boreal forest | 354 | 135 | 30 | 30 |
| Temperate forest | 496 | 189 | 43 | 43 |
| Mediterranean forest | 133 | 51 | 11 | 11 |
| Shrubland | 76 | 29 | 7 | 7 |
| Grass/Steppe | 30 | 13 | 3 | 3 |
| Notes: NO _x as NO ₂ , SO _x as SO ₂ . | | | | |
| Quality codes for all forest fire emissions should probably be "D". | | | | |
| Quelle: [CORINAIR 2007] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007 Table 8.2: Default emission factors (kg/ha) for forest and vegetation fires. Kapitel B1103, Stand Dezember 2006, Seite B1103-2 | | | | |

Emissionsfaktoren für Feinstaub berichten [Hardy et al. 1992] für „wildfire average“, allerdings in der Einheit kg pro Mg verbrannter Biomasse: 15 kg PM₁₀/Mg bzw. 13,5 Kg PM_{2,5}/Mg. Für ein Umrechnung nach kg/ha lehnen wir uns an [Rentz et al. 2008] an: Dort werden(nach Bundeswaldinventur) 220 t Holzvorrat pro Hektar angenommen, von denen ca. 10 % im Falle eines Brandes verbrennen. Damit kann man die Emissionsfaktoren aus [Hardy et al. 1992] umrechnen zu 330 kg PM₁₀/ha bzw. 297 kg PM_{2,5}/ha.

Das schweizerische Emissionsinventar [Heldstab et al. 2008] geht dagegen von deutlich höheren Emissionsfaktoren aus:

Tabelle 3: Emissionsfaktoren für Waldbrände aus dem schweizerischen Emissionsinventar

| | SO_x | NO_x | NM VOC | PM2.5 | PM10 |
|---|-------------------------|-------------------------|---------------|--------------|-------------|
| Einheit | kg SO ₂ / ha | kg NO ₂ / ha | kg / ha | kg / ha | kg / ha |
| | 400 | 800 | 5500 | 4000 | 5000 |
| Unsicherheit | +/- 50% | +/- 50% | +/- 55% | +/- 75% | +/- 60% |
| Quelle: EF aus [Heldstab et al. 2008] mit Unsicherheiten aus [BUWAL 2005] | | | | | |

Emissionen

Im Sinne einer konservativen Abschätzung wurde hier mit den höheren schweizerischen Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 3 gerechnet (und für Ammoniak nach Tabelle 2, Unsicherheitscode D angenähert mit +/- 80%). Tabelle 4 vergleicht die Ergebnisse der Berechnung mit den Emissionssummen des PAREST Referenzszenarios [Jörß et al 2010].

Tabelle 4: Emissionsschätzung für Waldbrände in Deutschland

| | Einheit | SO ₂ | NO _x | NM _{VOC} | NH ₃ | PM _{2.5} | PM ₁₀ |
|--|---------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Emissionen aus Waldbränden | | | | | | | |
| Emission 2005 | Mg/a | 73 | 147 | 1.009 | 8 | 734 | 917 |
| Unsicherheit 2005 | % | +/-50% | +/-50% | +/-55% | +/-80% | +/-75% | +/-60% |
| Emission 2010 - 2020 | Mg/a | 356 | 712 | 4.892 | 38 | 3.558 | 4.447 |
| Unsicherheit 2010 - 2020 | % | +324/-91% | +324/-91% | +325/-91% | +330/-91% | +329/-91% | +326/-91% |
| Emissionssummen Deutschland PAREST-Referenz (Inlandsprinzip) ohne Waldbrände | | | | | | | |
| PAREST REF 2005 | Gg/a | 562 | 1.544 | 1.438 | 607 | 136 | 262 |
| PAREST REF 2020 | Gg/a | 455 | 904 | 1.381 | 609 | 101 | 228 |
| Quellen: Für PAREST REF vgl. [Jörß et al. 2010] | | | | | | | |

Im Vergleich mit den deutschlandweiten Emissionssummen des PAREST Referenzszenarios (beachte die um den Faktor 1000 verschiedenen Einheiten!) zeigt sich, dass Waldbrände nicht für 2005, sondern nur für ein Jahr mit stärkeren Waldbränden, und nur für die Schadstoffe Feinstaub und NM_{VOC} im niedrigen einstelligen Prozentbereich von Relevanz sind.

2.2 Offene Verbrennung von Biomasse in Gärten, Land- und Forstwirtschaft

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsrate wird aus [Rentz et al. 2008] übernommen²:

Die Ermittlung einer Aktivitätsrate für die offene Verbrennung von Biomasse, beispielsweise in Form von Garten- oder Parkabfällen, Pflanzenresten in der Landwirtschaft oder Schlagabraum nach Forstarbeiten, kann nur über eine grobe Abschätzung erfolgen. Vielerorts existieren diesbezüglich Auflagen oder Verbote. Laut statistischem Bundesamt wurden 2004 etwa 4 Mio. t Garten- und Parkabfälle getrennt erfasst und einer Behandlung zugeführt. Es wird unterstellt, dass 0,1-1% dieser Menge (4.000-40.000 t) zusätzlich offen verbrannt wird. Für diese Aktivitätsrate wird eine Gleichverteilung angenommen. Die Menge an offen verbrannten Holzresten und Schlagabraum wird über die jährlich geschlagene Holzmenge geschätzt. In Deutschland wurden 2004 etwa 54,5 Mio m³ Holz geschlagen [BMVEL 2005, S. 7]. Unter der Annahme, dass Schlagabraum zu 10% der geschlagenen Holzmenge anfällt und 0,1-1% dieser Menge offen verbrannt wird (0,01 – 0,1% der Produktionsmenge), ergeben sich ca. 5.450 m³ – 54.500 m³ Holz (3.500-35.000 t). Für diese Aktivitätsrate wird ebenfalls eine Gleichverteilung angenommen. In der Schweiz wurden zum Vergleich 5,2 Mio m³ Holz produziert (3,3 Mio t) [SBS 2005]. Das BUWAL geht dabei von einer offen verbrannten Menge von 63.000 t/a aus [Nussbaumer 2004, S. 59]. Dies entspricht einem Anteil von 2% der Produktionsmenge.

² Zitat aus [Rentz et al. 2008], Seite 50

Tabelle 5 zeigt die aus [Rentz et al. 2008] für PAREST übernommenen Aktivitätsraten:

Tabelle 5: Aktivitätsraten für offene Biomasseverbrennung in Gärten, Land- und Forstwirtschaft in Deutschland

| Quellgruppe | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--|---------|-------|--------------|--------|------------|
| Garten und Landwirtschaft | [t/a] | 4.000 | 22.000 | 40.000 | Uniform |
| Forstwirtschaft | [t/a] | 3.500 | 19.250 | 35.000 | Uniform |
| Summe | [t/a] | 7.500 | 41.250 | 75.000 | Uniform |
| Bezugsjahr in PAREST: 2000 bis 2020 konstant | | | | | |
| Quelle: [Rentz et al. 2008] | | | | | |

Emissionsfaktoren

Für Emissionsfaktoren bezogen auf trockene Biomasse wird in [Heldstab et al. 2008] [EEA 2002] zitiert:

Tabelle 6: Emissionsfaktoren [kg/t Trockenmasse] für die Verbrennung von Ästen

| Schadstoff | Emissionsfaktor [kg/t Trockenmasse] | Unsicherheit [kg/t] |
|--|--|------------------------|
| NOx | 3,6 | +/- 1,1 (31%) |
| NMVOG | 9,5 | +/- 2,8 (29%) |
| SOx | 0,7 | +/- 0,22 (31%) |
| NH3 | 0,8 | +/- 0,2 (25%) |
| PM10 | 14 | +/- 5 (36%) |
| PM2.5 | 13 | +/- 5 (38%) |
| Quellen: Emissionsfaktoren: [EEA 2002] nach [Heldstab et al. 2008], Table 110 Emission factors for calculating emissions from burning of branches in agriculture and forestry Unsicherheiten: [BUWAL 2006 a] | | |

Da die Aktivitätsraten auf natürlich feuchte Biomasse definiert sind, müssen die Emissionsfaktoren aus Tabelle 6 noch umgerechnet Als Wassergehalt nehmen wir dazu 50% an (vgl. [Solarmix 2009]). Für den Umrechnungsfaktor nehmen wir eine Unsicherheit von +/- 25% an. Tabelle 7 zeigt das Ergebnis für PAREST:

Tabelle 7: Emissionsfaktoren [kg/t naturfeuchte Biomasse] für die Verbrennung von Ästen

| Schadstoff | Einheit | Min | Berichtswert | Max |
|------------|---------|------|--------------|-------|
| NOx | [kg/t] | 1,00 | 1,80 | 3,13 |
| NMVOG | [kg/t] | 2,68 | 4,75 | 8,20 |
| SOx | [kg/t] | 0,19 | 0,35 | 0,61 |
| NH3 | [kg/t] | 0,24 | 0,40 | 0,67 |
| PM10 | [kg/t] | 3,60 | 7,00 | 12,67 |
| PM2.5 | [kg/t] | 3,20 | 6,50 | 12,00 |

Emissionen

Tabelle 8 zeigt die Mittelwerte für die jährlichen Emissionen, die sich aus den genannten Annahmen ergeben.

Tabelle 8: Emissionen aus der offenen Biomasseverbrennung in Gärten, Land- und Forstwirtschaft in Deutschland

| Schadstoff | Emission [Gg/a] |
|----------------------|-----------------|
| NO _x | 0,1 |
| NM ₁₀ VOC | 0,2 |
| SO _x | 0,0 |
| NH ₃ | 0,0 |
| PM ₁₀ | 0,3 |
| PM _{2.5} | 0,3 |

Im Vergleich mit den Emissionssummen des PAREST-Referenzszenarios (Tabelle 4) zeigt sich, dass diese Emissionsquelle nur von untergeordneter Relevanz ist: 0,3 Gg/a PM_{2,5} entsprechen ca. 0,3% der im Referenzszenario 2020 bilanzierten PM_{2,5}-Emissionen. Für die anderen Schadstoffe ist dieser Anteil noch deutlich niedriger.

2.3 Brandunfälle

Für Brandunfälle differenziert [Rentz et al. 2008] verschiedene Sorten von Brandunfällen und nennt dazu für 2004 Aktivitätsraten, d.h. Anzahl von Bränden in Deutschland.

Tabelle 9: Brandunfälle in Deutschland 2004

| Brandunfälle | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|----------------------|------------|--------|--------------|--------|------------|
| Gebäude | [Brände/a] | 59.400 | 66.000 | 72.600 | Normal |
| Industrieanlagen | [Brände/a] | 12.600 | 14.000 | 15.400 | Normal |
| Landwirtschaft | [Brände/a] | 5.400 | 6.000 | 6.600 | Normal |
| Fahrzeuge | [Brände/a] | 19.800 | 22.000 | 24.200 | Normal |
| Freiflächen | [Brände/a] | 18.000 | 20.000 | 22.000 | Normal |
| Kleinteile/Sonstiges | [Brände/a] | 66.600 | 74.000 | 81.400 | Normal |

Quelle: [Rentz et al. 2008]

Trotz intensiver Recherche konnte in PAREST allerdings keine Literaturquelle identifiziert werden, aus denen Emissionsfaktoren zu den untersuchten Schadstoffen (Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} sowie Aerosolvorläufer SO₂, NO_x, NH₃ und NM₁₀ VOC) in der benötigten Einheit [kg Schadstoff/Brand] abgeleitet werden konnten. Lediglich in [EPA 1992] wurden Angaben zu Fahrzeugbränden gefunden:

Tabelle 10: Emissionsfaktoren für Fahrzeugbrände

| Quellgruppe | Einheit | Particulate | TOC - non-methane | NO _x | SO _x |
|---------------------------|---------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| automobile components | kg/Mg | 50 | 16 | 2 | Negligible |
| Emission factor rating: D | | | | | |

Quelle: [EA 1992]

Auf eine weiter gehende Abschätzung der Emissionen aus Brandunfällen wurde angesichts der schwachen Datenlage verzichtet.

2.4 Illegale Müllverbrennung

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsrate wird aus [Rentz et al. 2008] übernommen³:

Die illegale Mitverbrennung von Abfällen kann sowohl in Holz- und Kohleöfen der Haushalte und Kleinverbraucher als auch bei der offenen Verbrennung von Biomasse erfolgen. Eine Aktivitätsrate für die illegale Müllverbrennung lässt sich naturgemäß ebenfalls nur grob schätzen. In der Schweiz wird hierfür 1% der Menge an Siedlungsabfällen angenommen [FOEN 2006, S. 59]. Dieser Anteil erscheint für Deutschland bei einem Aufkommen an Haushaltsabfällen 2004 von 37,6 Mio. t/a bzw. 456 kg/Einwohner (vgl. Statistisches Bundesamt) allerdings als zu hoch. Es wird somit unterstellt, dass 0,01% - 0,1% des Abfallaufkommens illegal verbrannt werden. Für diese Aktivitätsrate wird auch eine Gleichverteilung angenommen.

Tabelle 11 zeigt die aus [Rentz et al. 2008] für PAREST übernommenen Aktivitätsraten:

Tabelle 11: Aktivitätsraten für illegale Müllverbrennung in Deutschland

| Quellgruppe | Einheit | Min | Berichtswert | Max | Verteilung |
|--|---------|-------|--------------|--------|------------|
| Illegale Müllverbrennung | [t/a] | 4.000 | 22.000 | 40.000 | Uniform |
| Bezugsjahr in PAREST: 2000 bis 2020 konstant | | | | | |
| Quelle: [Rentz et al. 2008] | | | | | |

Emissionsfaktoren

Emissionsfaktoren für illegale Müllverbrennung wurden [Heldstab et al. 2008] entnommen:

Tabelle 12: Emissionsfaktoren für illegale Müllverbrennung

| Schadstoff | Einheit | Min | Berichtswert | Max |
|--|---------|---------------|--------------|------|
| SO₂ | [kg/t] | 0,45 | 0,75 | 1,05 |
| NO_x | [kg/t] | 1,5 | 2,5 | 3,5 |
| NM VOC | [kg/t] | 8 | 16 | 24 |
| PM₁₀ | [kg/t] | 8 | 16 | 24 |
| PM_{2,5} | [kg/t] | 0,8 | 1,6 | 2,4 |
| NH₃ | | Keine Angaben | | |
| Quellen: [Heldstab et al. 2008], Unsicherheiten: [BUWAL 2006 b] | | | | |

³ Zitat aus [Rentz et al. 2008], Seite 50

Emissionen

Tabelle 13 zeigt die Mittelwerte für die jährlichen Emissionen, die sich aus den genannten Annahmen ergeben.

Tabelle 13: Emissionen aus der illegalen Müllverbrennung in Deutschland

| Schadstoff | Emission [Gg/a] |
|--------------------|-----------------|
| SO ₂ | 0,0165 |
| NO _x | 0,055 |
| NM _{VO} C | 0,352 |
| PM ₁₀ | 0,352 |
| PM _{2.5} | 0,0352 |
| NH ₃ | k.A. |

Im Vergleich mit den Emissionssummen des PAREST-Referenzszenarios (Tabelle 4) zeigt sich, dass diese Emissionsquelle nur von untergeordneter Relevanz ist: 0,35 Gg/a PM₁₀ entsprechen ca. 0,15% der im Referenzszenario 2020 bilanzierten PM₁₀-Emissionen. Für die anderen Schadstoffe ist dieser Anteil noch deutlich niedriger.

3 Fazit

Die Abschätzung der Emissionen an Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) und Aerosol-Vorläufersubstanzen SO₂, NO_x, NH₃ und NM_{VO}C aus offener Verbrennung in Deutschland ergibt, dass lediglich die Quellgruppe Waldbrände nennenswert zu den national aggregierten Emissionen beiträgt. In einem Jahr mit durchschnittlich bis überdurchschnittlich vielen Waldbränden dürften die daraus entstehenden Emissionen der Schadstoffe Feinstaub (PM_{2,5} und PM₁₀) und NM_{VO}C in der Größenordnung von 2-3% von der deutschlandweiten Emissionssumme liegen. Für die anderen betrachteten Quellgruppen liegt die Relevanz noch ca. eine Größenordnung tiefer (offene Verbrennung von Biomasse in Gärten und Land- und Forstwirtschaft; illegale Müllverbrennung) bzw. konnte keine Abschätzung vorgenommen werden (Brandunfälle).

4 Literatur

- [BMELV 2009] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Daten und Tabellen im statistischen Monatsbericht, Tabelle 7A Waldbrände und ihre Ursachen. <http://www.bmelv-statistik.de>, 2009.
- [BMVEL 2005] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft BMVEL: Holzmarktbericht 2/2004. Bonn, 2005; zitiert nach [Rentz et al. 2008]
- [Bultjes et al. 2010] Peter Bultjes, Jochen Theloke, Rainer Stern, Wolfram Jörß (2010): PAREST-Endbericht, Schlussbericht an das Umweltbundesamt zum Forschungsvorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [BUWAL 2005] BUWAL (2005): Waldbrände. Kommentare zur EMIS-Datenbank. Internes Dokument (5. Januar 2005):. Herausgegeben von Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweiz. Bern.
- [BUWAL 2006 a] BUWAL (2006): Abfallverbrennung in der Land- und Forstwirtschaft - NFR 4 F. Kommentare zur EMIS-Datenbank. Internes Dokument (27. Juni 2006):. Herausgegeben von Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweiz. Bern.
- [BUWAL 2006 b] BUWAL (2006): Abfallverbrennung illegal - NFR 6 C. Kommentare zur EMIS-Datenbank. Internes Dokument (11. Januar 2006):. Herausgegeben von Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweiz. Bern.
- [Degel und Jörß 2009] Degel, Melanie und Jörß, Wolfram (2009): „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung - Teilbericht Stationäre Verbrennungsmotoren“. UBA-TEXTE Nr. 45/2009, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- [Denier van der Gon et al. 2009] H.AC. Denier van der Gon, A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh (2009): „Gridded European emission data for projection years 2010, 2015 and 2020“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Denier van der Gon et al. 2010] H.AC. Denier van der Gon, A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh, R. Droge (2010): „A high resolution European emission data base for the year 2005“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [EEA 2002] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. European Environment Agency. 3rd edition. <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR3/en/page002.html> [19.03.2007]; zitiert nach [Heldstab et al. 2008]
- [EPA 1992] United States Environment Protection Agency (1992): “Emissions Factors & AP 42” (<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>), Chapter 2.5 “Open Burning” (<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/final/c02s05.pdf>)

- [FOEN 2006] Federal Office for the Environment (FOEN) 2006: Swiss National Implementation Plan, to be submitted to the Conference of the Parties to the Stockholm Convention, First Edition. Bern (CH), 2006.
- [Hardy et al. 1992] Hardy, C.C.; Ward, D.E.; Einfeld, W. (1992). PM_{2.5} emissions from a major wildfire using a GIS, rectification of airborne measurements. In: Proceedings of the 29th annual meeting of the Pacific Northwest International Section, Air and Waste Management Association; 1992 Nov. 11-13; Bellevue, WA, Pittsburgh, PA: Air and Waste Management Association.
- [Heldstab et al. 2008] Heldstab, Jürg; Kassler, Florian; Müller, Beat; Ballaman, Richard; Hoehn, Sophie; Leippert, Fabio (2008): Switzerland's Informative Inventory Report 2008 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2008 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN. Bern.
- [Jörß et al. 2010] W. Jörß, U. Kugler, J. Theloke (2010): „Emissionen im PAREST-Referenzszenario 2005 – 2020“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Jörß und Degel 2010] W. Jörß und M. Degel (2010): „Energieszenarien für PAREST“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Jörß und Handke 2010] W. Jörß und V. Handke (2010): „Unsicherheiten der PAREST-Referenz-Emissionsdatenbasis“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT
- [Kerschbaumer 2010 a] Andreas Kerschbaumer (2010): „Meteorologie – Vergleich zum besseren Verständnis der unterschiedlichen Schadstoffkonzentrationsimulationen mit verschiedenen Chemie-Transport-Modellen“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Kerschbaumer 2010 b] Andreas Kerschbaumer (2010): „Abhängigkeit der RCG-Simulationen von unterschiedlichen meteorologischen Treibern“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Kugler et al. 2010] U. Kugler, W. Jörß, J. Theloke (2010): „Verkehrsemissionsmodellierung für PAREST – Modellvergleich und Alternative Szenarien“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Nussbaumer 2004] Nussbaumer, T.: Dioxin- und PAK- Emissionen der privaten Abfallverbrennung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 2004. Zitiert nach [Rentz et al. 2008]

- [Rentz et al. 2008]: Otto Rentz, Ute Karl, Martina Haase, Matthias Koch (2008): "Nationaler Durchführungsplan unter dem Stockholmer Abkommen zu persistenten organischen Schadstoffen (POPs)"; Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe (TH); Forschungsbericht 205 67 444, im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 01/2008
- [SBS 2005] Schweizer Bundesamt für Statistik: Holzproduktion 2004 - 2005. 2006; zitiert nach [Rentz et al. 2008]
- [Solarmix 2009] Solarmix (2009): Broschüre "Brennstoff Holz"; http://www.solarmix.de/Heizen_mit_Holz/HmH_Brennstoff_Holz.pdf, (19.2.2009)
- [Stern 2010 a] R. Stern (2010): "Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: PM10- und PM2.5-Minderungspotenziale von Maßnahmenpaketen zur weiteren Reduzierung der Immissionen in Deutschland"; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Stern 2010 b] R. Stern (2010): "Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: Verkehrsmodell TREMOD und Verkehrsmodell TREMOVE"; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung
- [Stern 2010 c] Stern, R. (2010) „Analyse der Unsicherheiten/Bandbreiten in der im PAREST-Projekt verwendeten Kausalkette Emission-Transmission-Immission“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: FU Berlin
- [Theloke et al. 2010] J. Theloke, U. Kugler, W. Jörß, B. Thiruchittampalam, T. Geftler, M. Uzbasich (2010): „Beschreibung der maßnahmenbasierten Minderungsszenarien in PAREST“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“
- [Thiruchittampalam et al. 2010] B. Thiruchittampalam, R. Köble, J. Theloke, U. Kugler, M. Uzbasich, T. Geftler (2010): „Dokumentation des PAREST Emissionsverteilungsmodells für Deutschland“; Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“