

Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland

nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe

sowie

nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV)

Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland

Nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Titel des Programms, Kontaktdaten und Websites.....	19
2 Zusammenfassung.....	20
2.1 Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung	20
2.2 Seit 2005 mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion und der Verbesserung der Luftqualität	21
2.2.1 Erzielte Emissionsreduktionen.....	21
2.2.2 Fortschritte im Hinblick auf die Luftqualitätsziele	23
2.2.3 Derzeitige grenzüberschreitende Auswirkungen inländischer Emissionsquellen	24
2.3 Voraussichtliche künftige Entwicklung bis 2030 ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen	25
2.3.1 Voraussichtliche Emissionen und Emissionsreduktionen (Szenario „mit Maßnahmen“)... ..	25
2.3.2 Voraussichtliche Auswirkungen im Hinblick auf die Verbesserung der Luftqualität (Szenario „mit Maßnahmen“)... ..	27
2.3.3 Unsicherheiten.....	27
2.4 Für die Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen	28
2.5 Zusammenfassung der zur Verabschiedung vorgesehenen Strategien und Maßnahmen nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden	30
2.6 Kohärenz	32
2.7 Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen der Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktionen, auf die Luftqualität in den eigenen Gebieten und in benachbarten Mitgliedstaaten sowie auf die Umwelt; damit verbundene Unsicherheiten	33
3 Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung.....	34
3.1 Politische Prioritäten und ihre Beziehung zu Prioritäten in anderen relevanten Politikbereichen	34
3.2 Zuständigkeiten der nationalen, regionalen und lokalen Behörden	35
4 Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion und der Verbesserung der Luftqualität; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen, bezogen auf das Jahr 2005.....	36

4.1	Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen zur Emissionsreduktion	36
4.1.1	Entwicklung der Emissionen von 2005 bis 2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022	36
4.1.1.1	Entwicklung der Emissionen – Überblick	36
4.1.1.2	Entwicklung der SO ₂ -Emissionen von 2005-2020	39
4.1.1.3	Entwicklung der NO _x -Emissionen von 2005-2020	41
4.1.1.4	Entwicklung der NMVOC-Emissionen von 2005-2020	44
4.1.1.5	Entwicklung der NH ₃ -Emissionen von 2005-2020	48
4.1.1.6	Entwicklung der PM _{2,5} -Emissionen von 2005-2020	50
4.1.2	Einhaltung gültiger Emissionsreduktionsverpflichtungen	52
4.2	Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Verbesserung der Luftqualität; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen in Bezug auf die Luftqualität	53
4.2.1	Methodik zur Beurteilung der Entwicklung der Luftqualität	53
4.2.2	Entwicklung der NO ₂ -Konzentration 2005 bis 2020	54
4.2.2.1	NO ₂ -Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert (40 µg/m ³)	56
4.2.2.2	NO ₂ -Überschreitungssituation – Stundengrenzwert (200 µg/m ³ nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr)	57
4.2.3	Entwicklung der PM ₁₀ -Konzentration 2005 bis 2020	59
4.2.3.1	PM ₁₀ -Überschreitungssituation – Tagesgrenzwert (50 µg/m ³ nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr)	62
4.2.3.2	PM ₁₀ -Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert (40 µg/m ³)	64
4.2.4	Entwicklung der PM _{2,5} -Konzentrationen 2005 bis 2020	64
4.2.4.1	Average Exposure Indicator (AEI)	64
4.2.4.2	PM _{2,5} -Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert (25 µg/m ³)	65
4.2.5	Entwicklung der O ₃ -Konzentrationen 2005 bis 2020	67
4.2.5.1	O ₃ -Überschreitungssituation – langfristiges Ziel (120 µg/m ³ für maximalen 8-Stunden-Mittelwert eines Tages)	67
4.2.5.2	O ₃ -Überschreitungssituation – Zielwert (120 µg/m ³ für 3-Jahresmittel der maximalen 8-Stunden-Mittelwerte eines Tages nicht öfter als 25-mal bezogen auf ein Jahr)	69
4.2.6	CO-Überschreitungssituation	71
4.2.7	SO ₂ -Überschreitungssituation	71
4.3	Derzeitige grenzüberschreitende Auswirkungen nationaler Emissionsquellen	71

5	Voraussichtliche künftige Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen	76
5.1	Voraussichtliche Emissionen und Emissionsreduktionen (Szenario „mit Maßnahmen“)	76
5.1.1	Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen	76
5.1.2	Unsicherheiten bei den Prognosen (mit derzeitigen Maßnahmen) im Hinblick auf die Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2020, 2025 und ab 2030	87
5.1.3	Datum der Emissionsprognosen	89
5.1.4	Sensitivität - Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2023 für Deutschland	89
5.2	Voraussichtliche Auswirkungen im Hinblick auf die Verbesserung der Luftqualität (Szenario „mit Maßnahmen“), einschließlich voraussichtlicher Umfang der Einhaltung.....	93
5.2.1	Qualitative Beschreibung der voraussichtlichen Verbesserung der Luftqualität	93
6	Zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2020 und 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen.....	94
6.1	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene).....	94
6.2	Auswirkungen von einzelnen Strategien/Maßnahmen oder von Strategie- und Maßnahmenpaketen, die für die Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogen werden, auf die Luftqualität und die Umwelt	113
6.3	Zusätzliche Angaben zu den Maßnahmen aus Anhang III Teil 2 der Richtlinie (EU) 2016/2284 für den Agrarsektor, mit denen die Emissionsreduktionsverpflichtungen eingehalten werden sollen.....	113
7	Zur Verabschiedung vorgesehene Strategien nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden	118
7.1	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie-/Maßnahmenpakete; zuständige Behörden	118
7.2	Erläuterung, wie die Auswahl vorgenommen wurde, und Bewertung, wie die ausgewählten Strategien und Maßnahmen die Kohärenz mit Plänen und Programmen in anderen relevanten Politikbereichen gewährleisten.....	123
8	Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen von Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktion, Luftqualität und Umwelt und damit verbundene Unsicherheiten	124
8.1	Voraussichtliche Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen (mit zusätzlichen Maßnahmen).....	124
8.2	Nichtlinearer Emissionsreduktionspfad.....	125
8.3	Flexibilitätsregelungen	125

8.4	Voraussichtliche Verbesserung der Luftqualität (mit zusätzlichen Maßnahmen).....	125
8.5	Voraussichtliche Auswirkungen auf die Umwelt (mit zusätzlichen Maßnahmen)	128
9	Quellenverzeichnis	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung Z-1:	Entwicklung der deutschen SO ₂ -, NO _x -, NMVOC-, NH ₃ - und PM _{2,5} -Emissionen im Zeitraum 2005-2020 nach der Emissionsberichterstattung 2022.....	23
Abbildung 1:	Entwicklung der deutschen SO ₂ -, NO _x -, NMVOC-, NH ₃ - und PM _{2,5} -Emissionen im Zeitraum 1990-2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022.....	37
Abbildung 2:	Entwicklung der deutschen SO ₂ -, NO _x -, NMVOC-, NH ₃ - und PM _{2,5} -Emissionen im Zeitraum 2005-2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022.....	37
Abbildung 3:	Entwicklung der SO ₂ -Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	39
Abbildung 4:	Entwicklung der NO _x -Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	41
Abbildung 5:	NO _x -Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	42
Abbildung 6:	Entwicklung der NMVOC-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	45
Abbildung 7:	NMVOC-Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	46
Abbildung 8:	Entwicklung der NH ₃ -Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	49
Abbildung 9:	Entwicklung der PM _{2,5} -Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	50
Abbildung 10:	PM _{2,5} -Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022	51
Abbildung 11:	Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen NO ₂ -Konzentrationen	54
Abbildung 12:	Modellierte Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen NO ₂ -Konzentrationen mit Punktinformationen der Messwerte der verkehrsnahen Stationen	55
Abbildung 13:	Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für NO ₂ nach Beurteilungsgebieten (Jahresmittelwert)	57
Abbildung 14:	Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für NO ₂ nach Beurteilungsgebieten (Stundenmittelwert)	59
Abbildung 15:	Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM ₁₀ -Konzentrationen	60

Abbildung 16:	Modellierte Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM ₁₀ -Konzentrationen mit Punktinformationen der Messwerte der verkehrs- und industrienahen Stationen	61
Abbildung 17:	Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für PM ₁₀ nach Beurteilungsgebieten (Tagesmittelwert)	63
Abbildung 18:	Darstellung des Average Exposure Indicator (AEI) für PM _{2,5} seit 2010	65
Abbildung 19:	Modellierte Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM _{2,5} -Konzentrationen mit Punktinformationen	66
Abbildung 20:	Entwicklung der höchsten täglichen 8-Stunden-Mittelwerte für O ₃	68
Abbildung 21:	Entwicklung der 3-Jahresmittelwerte der höchsten täglichen 8-Stunden-Mittelwerte für O ₃	69
Abbildung 22:	Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für O ₃ nach Beurteilungsgebieten (Zielwert)	70
Abbildung 23:	Kartendarstellung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den Konzentrationen von PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ und O ₃ in benachbarten europäischen Ländern im Jahresmittel	73
Abbildung 24:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021	88
Abbildung 25:	Kartendarstellung der PM ₁₀ -Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m ³	126
Abbildung 26:	Kartendarstellung der PM _{2,5} -Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m ³	126
Abbildung 27:	Kartendarstellung der NO ₂ -Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m ³	127
Abbildung 28:	Kartendarstellung der O ₃ -Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m ³	127
Abbildung 29:	Entwicklung des Flächenanteils empfindlicher Landökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung von 2000 bis 2019 und für 2030	129

Abbildung 30:	Überschreitungssituation des Critical Load für Versauerung durch Schwefel- und Stickstoffeinträge im Jahr 2005 und in 2030.....	131
Abbildung 31:	Überschreitungssituation des Critical Load für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge im Jahr 2005 und in 2030.....	132
Abbildung 32:	stationsbezogene Ergebnisse zur phytotoxischen Ozondosis (POD) für Weizen (oben), Fichte (Mitte) und Buche (unten) von 2009 bis 2021 aufgetragen als Punktwolke gegenüber der spezifischen kritischen Belastungsschwelle	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Titel des Programms, Kontaktdaten und Websites.....	19
Tabelle 2:	Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung.....	20
Tabelle 3:	Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen	25
Tabelle 4:	Für die Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen.....	28
Tabelle 5:	Zusammenfassung der zur Verabschiedung vorgesehenen Strategien und Maßnahmen nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden	30
Tabelle 6:	Kohärenz.....	32
Tabelle 7:	Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen der Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktionen, auf die Luftqualität in den eigenen Gebieten und in benachbarten Mitgliedstaaten sowie auf die Umwelt; damit verbundene Unsicherheiten.....	33
Tabelle 8:	Politische Prioritäten und ihre Beziehung zu Prioritäten in anderen relevanten Politikbereichen	34
Tabelle 9:	Zuständigkeiten der nationalen, regionalen und lokalen Behörden	35
Tabelle 10:	Absolute Emissionen in kt/a zu der Entwicklung der deutschen SO ₂ -, NO _x -, NMVOC-, NH ₃ - und PM _{2,5} -Emissionen im Zeitraum 2005-2020 nach der Emissionsberichterstattung 2022 entsprechend Abbildung 1	38
Tabelle 11:	Einhaltung gültiger Emissionsreduktionsverpflichtungen.....	52
Tabelle 12:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des NO ₂ -Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp	56

Tabelle 13:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete (Anzahl) mit Überschreitung des zulässigen NO ₂ -Jahresmittelwertes57
Tabelle 14:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des NO ₂ -Stundengrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp58
Tabelle 15:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen NO ₂ -Stundenmittelwertes59
Tabelle 16:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des PM ₁₀ -Tagesgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp62
Tabelle 17:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM ₁₀ -Tagesmittelwertes63
Tabelle 18:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des PM ₁₀ -Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp64
Tabelle 19:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM ₁₀ -Jahresmittelwertes64
Tabelle 20:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des PM _{2,5} -Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp65
Tabelle 21:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM _{2,5} -Jahresmittelwertes66
Tabelle 22:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des O ₃ -Langfristzieles zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp68
Tabelle 23:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des langfristigen Zieles für O ₃69
Tabelle 24:	Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des O ₃ -Zielwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp70
Tabelle 25:	Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des Zielwertes für O ₃71
Tabelle 26:	Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM ₁₀ -Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in µg/m ³74
Tabelle 27:	Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM _{2,5} -Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als

	Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	74
Tabelle 28:	Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den NO_2 - Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75
Tabelle 29:	Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den O_3 - Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75
Tabelle 30:	Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen	76
Tabelle 31:	Ausgewählte Trendprognosen des Primärenergie-, Endenergie- und Bruttostromverbrauchs sowie der Bruttostromerzeugung für die Jahre 2030 und 2040 im Mit-Maßnahmen-Szenario des PB 2021 im Vergleich zum Jahr 2018	80
Tabelle 32:	Vergleich ausgewählter Trendprognosen des Primärenergie-, Endenergie- und Bruttostromverbrauchs sowie der Bruttostromerzeugung für die Jahre 2030 und 2040 in den Mit- Maßnahmen-Szenarien des PB 2021 und des PB 2023.....	90
Tabelle 33:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie- /Maßnahmenebene) – Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung bis idealerweise 2030	95
Tabelle 34:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie- /Maßnahmenebene) – Novellierung der 17. BImSchV in 2023	97
Tabelle 35:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie- /Maßnahmenebene) – optionale Maßnahme Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe.....	98
Tabelle 36:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie- /Maßnahmenebene) – 65 Prozent erneuerbare Energien beim	

	Einbau von neuen Heizungen (Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)).....99
Tabelle 37:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027.....101
Tabelle 38:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029.....103
Tabelle 39:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Maßnahmenpaket Landwirtschaft....105
Tabelle 40:	Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Maßnahmenpaket Verkehr107
Tabelle 41:	Zusätzliche Angaben zu den Maßnahmen aus Anhang III Teil 2 der Richtlinie (EU) 2016/2284 für den Agrarsektor, mit denen die Emissionsreduktionsverpflichtungen eingehalten werden sollen113
Tabelle 42:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030...118
Tabelle 43:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden - Novellierung der 17. BImSchV in 2023118
Tabelle 44:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe (optional)119
Tabelle 45:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen – (Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)).....119

Tabelle 46:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027120
Tabelle 47:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029120
Tabelle 48:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Maßnahmenpaket Landwirtschaft121
Tabelle 49:	Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Maßnahmenpaket Verkehr122
Tabelle 50:	Voraussichtliche Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen (mit zusätzlichen Maßnahmen)124
Tabelle 51:	Auswertung aller 2x2 km ² -Zellen für die beiden Modellläufe127
Tabelle 52:	Voraussichtliche Auswirkungen auf die Umwelt (mit zusätzlichen Maßnahmen)128

Abkürzungsverzeichnis

AEI	Average Exposure Indicator
AR	Aktivitätsrate
BATC	Best Available Techniques Conclusions (dt.: Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken)
BC	Black Carbon
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BEV	Battery Electric Vehicle (dt.: Elektroauto)
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen

BREF	BAT (Best Available Techniques) Reference Documents
BVT	Beste verfügbare Techniken
CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CLOVE	Consortium for ultra-low vehicle emissions
CLRTAP	Genfer Luftreinhaltekonvention (engl.: Convention on Long-Range Trans-boundary Air Pollution)
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CVD	Clean Vehicles Directive
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EF	Emissionsfaktor
EM	Emission
EMMa	Emissionsminderungsmaßnahmen (Mesap-Datenbank am UBA)
EU	Europäische Union
EU-ETS	European Union Emissions Trading System (EU-Emissionshandel)
FCEV	Fuel cell electric vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
FKZ	Forschungskennzahl
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GFA	Großfeuerungsanlage
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GRETA	Gridding Emission Tool for ArcGIS
GT	Gasturbine
GuD	Gas- und Dampfturbinenkraftwerke
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HH	Haushalte
ICON	Icosahedral Nonhydrostatic (Modell ICON ist das Globalmodell des Deutschen Wetterdienstes)
IEF	gewichtet gemittelter Emissionsfaktor einer Gruppe von Emissionsquellen (engl.: implied emission factor)
IIR	Informative Inventory Report
KFA	Kleinfeuerungsanlage
km²	Quadratkilometer
KSPr	Klimaschutzprogramm der Bundesregierung
kt/a	Kilotonnen pro Jahr
KVBG	Kohleverstromungsbeendigungsgesetz
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
MAP	Marktanreizprogramm zur Förderung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt
Mesap	Modulare Energiesystemanalyse und Planung
MFA	mittelgroße Feuerungsanlage
µg/m³	Mikrogramm pro Kubikmeter

mg/m³	Milligramm pro Kubikmeter
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MW	Megawatt
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
NEC	Nationale Emissionshöchstmenge (engl.: National Emission Ceiling)
NFR	Berichtsformat für die Berichterstattung an die UNECE (engl.: Nomenclature for Reporting)
NH₃	Ammoniak
NM VOC	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (engl. Non-Methane Volatile Organic Compounds)
N₂O	Lachgas
NO_x	Stickstoffoxide
NO₂	Stickstoffdioxid
PaMs	Strategien und Maßnahmen (engl.: Policies and Measures)
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle (Fahrzeug mit Hybridantrieb)
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Feinstaub (engl.: Particulate Matter)
PM_{2,5}	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern
PM₁₀	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern
POD	phytotoxische Ozondosis
PtL	„Power to Liquid“ (Synthetischer flüssiger Kraftstoff aus Strom)
RCG	Chemie-Transportmodell REM-Calgrid
RED	Renewable Energy Directive (dt. Erneuerbare-Energien-Richtlinie)
RDE	Real Driving Emissions (dt.: Emissionen im praktischen Fahrbetrieb)
SNCR	Selektive nicht-katalytische Reduktion (engl.: Selective non-catalytic reduction)
SCR	Selektive katalytische Reduktion (engl.: Selective catalytic reduction)
SO₂	Schwefeldioxid
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
TREMOD	Transport-Emissionsmodell (Emissionsberechnungsmodell für den Bereich Verkehr)
TREMOD-MM	Transport-Emissionsmodell für Mobile Maschinen (Emissionsberechnungsmodell für den Bereich mobile Maschinen)
UBA	Umweltbundesamt
UNECE	Europäische Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (engl.: United Nations Economic Commission for Europe)
WM	With Measures (Szenario „mit Maßnahmen“)
WAM	With Additional Measures (Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“, mitunter auch als NEC-Compliance-Szenario bezeichnet)

ZSE

Zentrales-System-Emissionen (Mesap-Datenbank am UBA)

1 Titel des Programms, Kontaktdaten und Websites

Tabelle 1: Titel des Programms, Kontaktdaten und Websites

Titel des Programms	Nationales Luftreinhalteprogramm
Datum	15. Mai 2024
Mitgliedstaat	Deutschland
Name der für die Erstellung des Programms zuständigen Behörde	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) Arbeitsgruppe C I 2
Telefonnummer der zuständigen Dienststelle	+49 30 18 305-0
E-Mail-Adresse der zuständigen Dienststelle	CI2@bmu.bund.de
Link zur Webseite, auf der das Programm veröffentlicht wird	https://www.umweltbundesamt.de/nlrp2023
Links zu der Website der Konsultation im Zusammenhang mit dem Programm	https://www.bmu.de/gesetz/nationales-luftreinhalteprogramm

2 Zusammenfassung

2.1 Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung

Mit der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (kurz: NEC-RL) verfolgt die EU das Ziel, durch verpflichtende Reduktion der nationalen Emissionen die Luftbelastung, insbesondere mit Blick auf Feinstaub, in den Mitgliedstaaten und damit europaweit weiter deutlich zu senken. Die NEC-Richtlinie wurde durch die Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV) in nationales Recht umgesetzt.

Das Programm steht im Kontext der gefährdeten rechtzeitigen Erreichung der Ziele der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung und soll insbesondere dazu beitragen, Ziel 3 „ein gesundes Leben für alle Menschen“ zu erreichen.

Das nationale Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland dient der Erfüllung der Berichtspflicht gegenüber der Europäischen Kommission nach Artikel 6 und Artikel 10 der NEC-Richtlinie sowie nach §§ 4 und 16 der 43. BImSchV und wurde nach Beschluss durch das Bundeskabinett am 22.05.2019 erstmalig an die Europäische Kommission berichtet. Es beschreibt die Entwicklung der nationalen Emissionen bis 2030 sowie die zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen nach derzeitigem Kenntnisstand vorgesehenen Maßnahmen.

Alle im Programm genannten oder sich aus ihm ergebenden Maßnahmen im Bereich des Bundes sind im Rahmen der im jeweiligen Einzelplan bzw. Sondervermögen verfügbaren finanziellen und personellen Mittel zu erbringen.

Tabelle 2: Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung

<p>Politische Prioritäten und ihr Bezug zu Prioritäten in anderen relevanten Politikbereichen</p>	<p>Die Politikziele in den Bereichen Luftreinhaltung und Luftqualität und deren Einordnung gegenüber den Zielen in anderen Politikbereichen konzentrieren sich auf die Erreichung der nationalen Emissionsreduktionsverpflichtungen für die Jahre 2020-2029 und ab 2030, bezogen auf das Basisjahr 2005 (in %) sowie der Einhaltung der Luftqualitätsziele bezogen auf die nationalen bzw. EU-Luftqualitätsziele. Darüber hinaus besteht eine Kohärenz mit den relevanten Prioritäten in den Bereichen Klimawandel und Energiepolitik sowie emissionsrelevante Prioritäten in anderen Politikbereichen.</p> <p>Ziel ist, die Luftschadstoffemissionen und die Luftbelastung in Deutschland weiter zu senken und die nationalen Grenzwerte einzuhalten sowie eine weitere Annäherung an die Zielwerte der neuen WHO-Empfehlungen zu erreichen.</p> <p>Emissionsrelevante Prioritäten in anderen Politikbereichen:</p> <p>Klima: Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen; es werden vorhandene Synergieeffekte mit Luftreinhaltemaßnahmen genutzt Landwirtschaft: Immissionsschutzrecht, Düngerecht, Ackerbaustrategie, Investitionsprogramm Landwirtschaft, Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK), Nutztierstrategie/Umbau der Tierhaltung</p> <p>Industrie: Ausstieg aus der Verstromung von Kohle idealerweise bis 2030</p> <p>Verkehr: Einführung der Euro 7 Norm, weitere Ausgestaltung der LKW-Maut sowie eine Förderung des Ausbaus der Elektromobilität</p>
---	--

<p>Zuständigkeiten der nationalen, regionalen und lokalen Behörden</p>	<p>Im Politikrahmen für die Luftqualität und Luftreinhaltung sind der Bund (national), die Länder (regional) und die Städte und Kommunen (lokal) zuständig. Die zuständigen Behörden unterscheiden sich nach ihrer Art und haben verschiedene Zuständigkeiten in den Bereichen Luftqualität und Luftreinhaltung.</p>
--	--

2.2 Seit 2005 mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion und der Verbesserung der Luftqualität

2.2.1 Erzielte Emissionsreduktionen

Die anthropogenen Emissionen der für die NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 relevanten Luftschadstoffe sind in den vergangenen Jahren, seit 2015 auch die NH₃-Emissionen, deutlich zurückgegangen (vgl. Abbildung Z-1). Negative Auswirkungen auf und Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sind jedoch noch immer bedeutend. Die Emissionsentwicklung der vergangenen zehn bis 15 Jahre zeigt, dass in vielen Quellgruppen hohe technische Minderungspotenziale bereits umgesetzt worden sind und es in Deutschland bei konstanten oder wachsenden Aktivitätsraten zunehmend anspruchsvoller und kostenaufwendiger wird, Emissionsminderungen mit Hilfe von prozess-, verfahrens- oder systemintegrierten Minderungsmaßnahmen zu verwirklichen.

Im Zeitraum 2005 bis 2020 nahmen die SO₂-Gesamtemissionen in Deutschland um fast 51 % ab, das entspricht gut 240 kt/a. Vor allem im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher konnten die SO₂-Emissionen durch einen vermehrten Einsatz von Heizöl mit geringem Schwefelgehalt seit dem Jahr 2008 deutlich reduziert werden. Auch in der Energiewirtschaft, dem Verarbeitenden Gewerbe und bei Industrieprozessen gingen die Emissionen zurück.

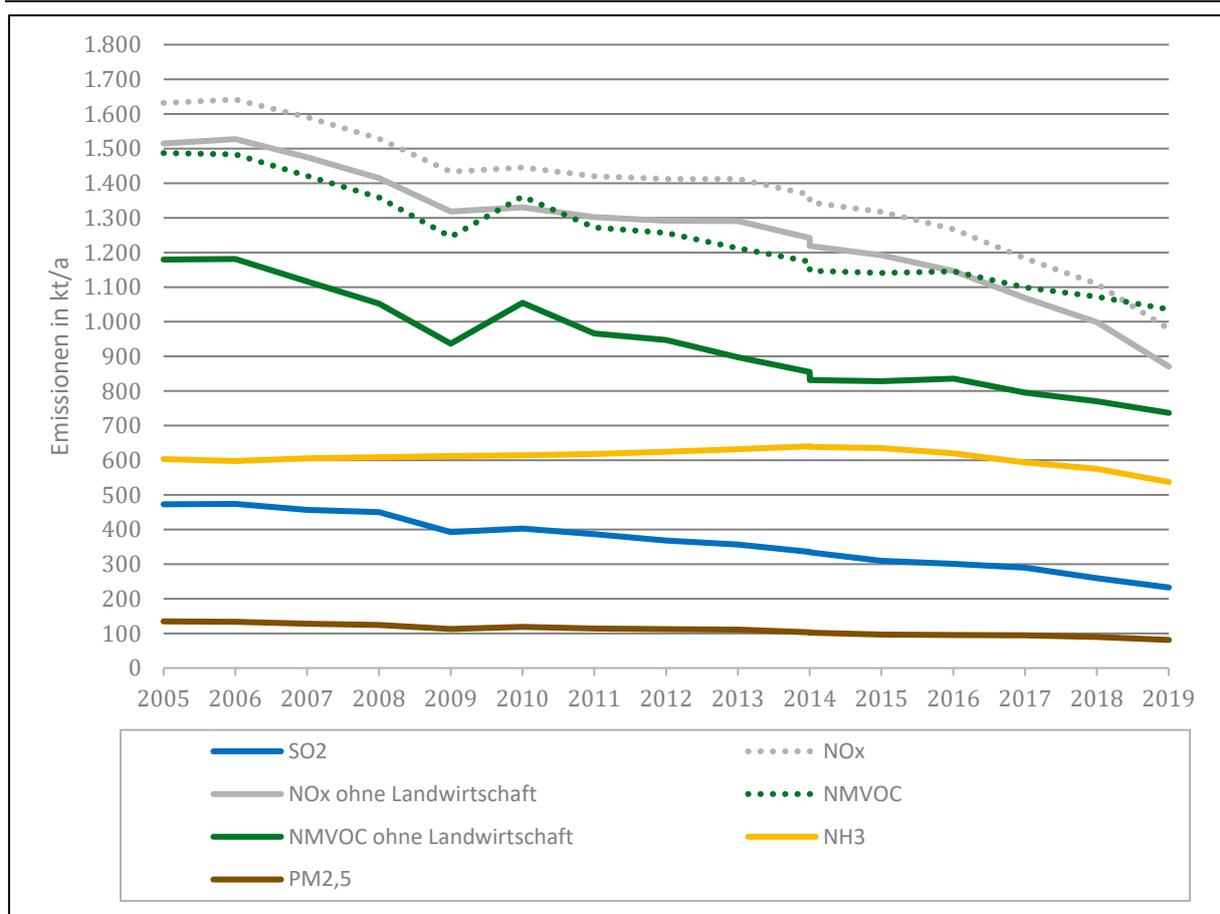
Die gesamten deutschen NO_x-Emissionen nahmen von 2005 bis 2020 um 40 % ab, das entspricht gut 654 kt/a. Die deutlichsten Emissionsabnahmen sind im Straßenverkehr zu verzeichnen. Trotz steigender Fahrleistungen bei schweren und leichten Nutzfahrzeugen und bei Pkw ließen sich die Stickstoffoxid-Emissionen durch die Verschärfung von Emissionsgrenzwerten und die damit verbundene stetige Flottenerneuerung stark mindern. In der Energiewirtschaft stiegen die NO_x-Emissionen bis 2014 durch einen zunehmenden Einsatz von Erdgas, Biogas und Biomasse. Seit 2014 sinken die NO_x-Emissionen in diesem Sektor vor allem durch den sinkenden Steinkohleverbrauch. Leichte Emissionsreduktionen sind auch bei den Industrieprozessen, im Verarbeitenden Gewerbe, bei den Haushalten und Kleinverbrauchern und in der Landwirtschaft zu verzeichnen.

Hauptverursacher der gesamten deutschen NH₃-Emissionen ist mit einem Anteil von 93 % im Jahr 2005 und 95 % im Jahr 2020 die Landwirtschaft. Im Zeitraum 2005 bis 2020 nahmen die gesamten deutschen Ammoniak-Emissionen um knapp 11 % ab. Dabei nahmen die Emissionen bis 2014 zunächst zu, erst ab dem Jahr 2015 ist ein Emissionsrückgang zu verzeichnen. Die Emissionszunahme bis 2014 ist vor allem auf den Anstieg der Ausbringung von Gärresten aus der Vergärung von Energiepflanzen in Biogasanlagen zurückzuführen. Bei der Mineräldünger- ausbringung ist der steigende Anteil des Harnstoffs, mit vergleichsweise hohen Emissionsfaktoren, für steigende Emissionen verantwortlich. In den letzten Jahren ist der Absatz von Düngemitteln jedoch deutlich zurückgegangen, und die NH₃-Emissionen sind entsprechend gesunken. Zusätzlich geht eine leichte Abnahme der Ammoniak-Emissionen aus der rückläufigen Entwicklung des Tierbestandes (außer Geflügel) sowie der technischen Optimierung im Verkehr hervor.

Im Zeitraum 2005-2020 konnten die gesamten deutschen NMVOC-Emissionen um gut 30 % gemindert werden, das entspricht gut 451 kt/a. Die NMVOC-Emissionen aus Industrieprozessen nahmen im Zeitraum 2005 bis 2020 deutlich ab. Dieser Rückgang ist auf die Umsetzung verschiedener europäischer Regelungen (Lösemittelrichtlinie 1999/13/EG (auch VOC-Richtlinie), die im Jahr 2010 in der IED-Richtlinie 2010/75/EU aufging und die sogenannte DECOPAINT-Richtlinie 2004/42/EG) sowie deren nationale Umsetzung (31. BImSchV, 2. BImSchV, TA-Luft sowie die Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung) zurückzuführen. Deutliche Minderungen sind auch im Straßenverkehr u. a. durch die Weiterentwicklung von Katalysatoren bei Benzin-Pkw zu verzeichnen. Die NMVOC-Emissionen aus der Verdunstung von Kraftstoffen und aus Kleinfeuerungsanlagen konnten ebenfalls in den vergangenen Jahren reduziert werden, die NMVOC-Emissionen aus der Landwirtschaft stiegen dagegen leicht an.

Die gesamten deutschen PM_{2,5}-Direktemissionen gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um fast 40 % zurück, das entspricht etwa 54 kt/a. Deutliche Minderungen sind vor allem im Verkehr zu verzeichnen. Während die PM_{2,5}-Auspuff-Emissionen durch die stetige Verschärfung von Emissionsgrenzwerten (Euro-Normen) für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und durch die damit einhergehende Flottenmodernisierung deutlich gemindert werden konnten, war ein entsprechender Rückgang der Emissionen aus dem Abrieb von Reifen und Bremsbelägen und dem Straßenabrieb nicht zu verzeichnen. Auch in den Quellgruppen Industrieprozesse, Verarbeitendes Gewerbe, Energiewirtschaft und bei übrigen Feuerungsanlagen in privaten Haushalten sowie im gewerblichen Bereich gingen die PM_{2,5}-Emissionen in den vergangenen Jahren zurück. Zwar nahm der Einsatz von Brennholz zu Heizzwecken in den vergangenen Jahren sehr deutlich zu, durch die Umsetzung der anspruchsvollen Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV für Kleinfeuerungsanlagen konnten die Partikelemissionen aber insgesamt reduziert werden.

Abbildung Z-1: Entwicklung der deutschen SO₂-, NO_x-, NMVOC-, NH₃- und PM_{2,5}-Emissionen im Zeitraum 2005-2020 nach der Emissionsberichterstattung 2022



2.2.2 Fortschritte im Hinblick auf die Luftqualitätsziele

Auch die gemessenen Luftschadstoffbelastungen beispielsweise für Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) zeigen im Zeitraum 2005 bis 2020 einen grundsätzlich rückläufigen Trend.

Überschreitungen des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ treten ausschließlich an verkehrsnahen Messstationen auf. Überschreitungen des NO₂-Stundengrenzwertes (200 µg/m³ nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr) gab es in den Jahren nur vereinzelt, seit 2017 wurde keine Überschreitung mehr registriert. Die verkehrsnahen Stickstoffdioxidbelastung zeigt seit 2005 einen deutlichen Rückgang.

Die Immissionsbelastung mit Feinstaub wird nicht nur durch direkte Emissionen von Feinstaub verursacht, sondern auch durch Emissionen von Vorläuferstoffen, die erst in der Luft Feinstaubpartikel bilden. Einhergehend mit großräumigen und lokalen Minderungen der direkten PM₁₀-Emissionen sowie von Vorläufergasen der sekundären Feinstaubbildung weisen auch die gemessenen PM₁₀-Konzentrationen seit 2005 eine deutliche Abnahme auf. Der Verlauf ist dabei durch starke zwischenjährliche Schwankungen geprägt. Neben der Stärke der Emissionsquellen hängt die Belastung wesentlich von meteorologischen Bedingungen ab. Die Zahl der von Überschreitungen des PM₁₀-Tagesgrenzwertes (50 µg/m³ nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr) betroffenen Stationen ging seit Inkrafttreten des Grenzwertes 2005 deutlich zurück. Zu Überschreitungen des PM₁₀-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ kam es seit Inkrafttreten des Grenzwertes im Jahr 2005 nur selten, hauptsächlich an verkehrsnahen Stationen. Seit 2012 wurde bezogen auf den PM₁₀-Jahresmittelgrenzwert keine Überschreitung mehr registriert.

Analog zu den rückläufigen PM₁₀-Konzentrationen gehen auch die Jahresmittel der Konzentrationen der PM_{2,5}-Fraktion zurück. Die Einhaltung des Grenzwertes (25 µg/m³ im Jahresmittel) ist in Deutschland nicht gefährdet. Seit Inkrafttreten im Jahr 2010 kam es nur einmalig an einer verkehrsnahen Station zu einer Überschreitung.

Seit vielen Jahren ist in Deutschland ein Rückgang der gemessenen Ozon-Spitzenkonzentrationen mit den Ausnahmen in 2015 und 2018 zu verzeichnen. Dagegen hat sich die mittlere Ozonbelastung seit 2005 kaum verändert. Der ab dem Jahr 2010 einzuhaltende Ozon-Zielwert für den Schutz der Gesundheit gilt als überschritten, wenn an mehr als 25 Tagen im 3-Jahresmittel tägliche maximale 8-Stunden-Mittelwerte über 120 µg/m³ auftreten. Dies tritt vor allem an Stationen im ländlichen Hintergrund auf, in geringerem Ausmaß auch an Stationen im städtischen Hintergrund (vereinzelt auch industrienah). Durch den relativ ozonreichen Sommer 2018 verzeichneten vor allem die Beurteilungsjahre 2018, 2019 und 2020 wieder mehr Überschreitungen als die Jahre zuvor.

2.2.3 Derzeitige grenzüberschreitende Auswirkungen inländischer Emissionsquellen

Aufgrund der zentralen Lage Deutschlands hat der grenzüberschreitende Transport von Luftschadstoffen eine große Bedeutung. Schadstoffe werden sowohl von Deutschland in die Nachbarstaaten als auch von den Nachbarstaaten nach Deutschland transportiert. Außerdem beeinflussen natürlich auftretende Emissionen und das Wetter wesentlich den Transport und die Konzentration von Luftschadstoffen.

Der Einflussbereich der deutschen anthropogenen Emissionen beschränkt sich hauptsächlich auf die an Deutschland angrenzenden Staaten. Für die Nachbarstaaten erfolgte entsprechend eine statistische Auswertung der für das Jahr 2020 durchgeführten Chemie-Transportmodellläufe.

Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages aus Deutschland erreichen im Jahresmittelwert für PM₁₀ Werte bis 1,6 µg/m³ in Luxemburg, 1,4 µg/m³ in den Niederlanden und 1,2 µg/m³ in Tschechien. Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages aus Deutschland erreichen im Jahresmittelwert für PM_{2,5} Werte bis 1,4 µg/m³ in Luxemburg, 1,2 µg/m³ in den Niederlanden und 1,1 µg/m³ in Tschechien. Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages erreichen im Jahresmittelwert für NO₂ Werte bis 1,3 µg/m³ in Luxemburg, 1,3 µg/m³ in den Niederlanden und 0,6 µg/m³ in Tschechien. Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages erreichen im Jahresmittelwert für O₃ Werte bis 2,1 µg/m³ in Österreich und Tschechien und 2,0 µg/m³ in Luxemburg.

2.3 Voraussichtliche künftige Entwicklung bis 2030 ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen

2.3.1 Voraussichtliche Emissionen und Emissionsreduktionen (Szenario „mit Maßnahmen“)

Tabelle 3: Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen

Schadstoffe	Gesamtemissionen (kt), in Übereinstimmung mit den Inventaren für das Jahr x-3 (2022)				Emissionsreduktion in % gegenüber 2005			Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung für 2020-2029 ggü. 2005 (in %)	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung ab 2030 ggü. 2005 (in %)
	berichtet ¹		Szenario „mit Maßnahmen“		berichtet	Szenario „mit Maßnahmen“			
	Basisjahr 2005	2020	2025	2030		2020 ²	2025		
SO _x (als SO ₂)	473	233	244	198	50,8	48,3	58,1	21	58
NO _x (als NO ₂)	1632	979	834	655				-	-
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	1515	871	732	559	42,5	51,6	63,1	39	65
NMVOC	1487	1036	1039	1032				-	-
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	1180	737	755	759	37,5	36,0	35,7	13	28
NH ₃	603	537	457	421	10,9	24,3	30,2	5	29
PM _{2,5}	135	81	84	79	39,8	37,9	41,7	26	43

¹ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envygj4g/

² Die Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 für 2020-2029 gegenüber 2005 wurden in 2020 gemäß Inventarberichterstattung 2022 für alle Schadstoffe eingehalten.

Die voraussichtliche Emissionsentwicklung im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM – with measures), d. h. allein mit bereits beschlossenen Maßnahmen, zeigt eine Einhaltung des indikativen Zwischenziels für 2025 gemäß RL (EU) 2016/2284 Art. 4 (2) für alle reduktionspflichtigen Luftschadstoffe außer NO_x. Hier wird zwar die Reduktionsverpflichtung von 39 % ab 2020 bis 2029 gegenüber 2005 eingehalten, ein Abweichen vom linearen Reduktionspfad ist aber gemäß NEC-Richtlinie nur möglich, wenn dies wirtschaftlich oder technisch effizienter ist und wäre im nationalen Luftreinhalteprogramm entsprechend zu begründen. Aufgrund der teilweise bereits in 2025 erwarteten Minderung durch die im Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM – with additional measures) enthaltenen Maßnahmen ist das im vorliegenden Programm nicht notwendig. Ab 2030 wird die Minderungsverpflichtung nur bei SO₂, NMVOC und NH₃ ohne weiterführende Maßnahmen erfüllt. Bei NO_x und PM_{2,5} wird die Reduktionsverpflichtung im WM-Szenario verfehlt, sodass weiterführende Maßnahmen für eine zusätzliche Minderung notwendig sind.

Im WM-Szenario führt die voraussichtliche Schwefeldioxid-Emissionsentwicklung zu einer absoluten Emissionsreduktion von 229 kt/a in 2025 und 275 kt/a ab 2030 gegenüber dem Basisjahr 2005. Dies entspricht einer prozentualen Reduktion gegenüber dem Basisjahr von rund 48 % in 2025 bzw. rund 58 % ab 2030, was einer Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtung gemäß der NEC-Richtlinie entspricht. Wichtigste Treiber sind dabei vor allem der gesetzlich verankerte, schrittweise Ausstieg aus der Kohleverstromung, die Umsetzung der 13. und 17. BImSchV (gemäß der jeweiligen Fassung vom Juli 2021) sowie der vermehrte Einsatz von Brennstoffen mit geringerem Schwefelgehalt in den Bereichen der Haushalte und Kleinverbraucher sowie der Energiewirtschaft, dem verarbeitenden Gewerbe und den Industrieprozessen.

Die NO_x-Emissionen reduzieren sich im WM-Szenario um 51,6 % (782 kt/a) in 2025 sowie 63,1 % (955 kt/a) ab 2030 gegenüber 2005. Dabei wird trotz des deutlichen Rückgangs der Emissionen weder das indikative Zwischenziel in 2025 noch die Reduktion ab 2030 erreicht. Vor allem Emissionsminderungen durch die Entwicklung des Anlagenbestandes von Feuerungsanlagen im Bereich der Energiewirtschaft sowie der Ausstieg aus der Kohleverstromung (idealerweise bis 2030) tragen zu einem großen Teil der Reduzierung bei. Weitere wichtige Faktoren sind außerdem die fortschreitende Flottenerneuerung und Elektrifizierung der Flotte im Straßenverkehr, die zu einem Rückgang der NO_x-Emissionen beitragen.

Die Projektion der NMVOC-Emissionen führt zu einer deutlichen Erfüllung der Reduktionsverpflichtung in 2025 (36 % Minderung gegenüber 2005) sowie in 2030 (ebenfalls rund 36 % gegenüber 2005). Der Rückgang ist wie in den Vorjahren auf die Umsetzung verschiedener europäischer Regelungen (Lösemittelrichtlinie 1999/13/EG (auch VOC-Richtlinie)) sowie deren nationale Umsetzung (31. BImSchV, 2. BImSchV, TA-Luft sowie die Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung) zurückzuführen. Deutliche Minderungen sind auch im Straßenverkehr zu verzeichnen.

Die projizierten Ammoniakemissionen erfüllen im WM-Szenario sowohl das indikative Zwischenziel in 2025, als auch die Reduktionsverpflichtung ab 2030. Mit einer Minderung von 147 kt/a (rund 24 %) in 2025 sowie 182 kt/a (rund 30 %) in 2030 gegenüber dem Basisjahr 2005 werden deutliche Emissionsminderungen projiziert. Die Minderungen im WM-Szenario gehen vor allem auf die bei einigen Tierarten als weiter rückläufig angenommenen Bestände, auf den geringer angenommenen Mineräldüngereinsatz im Vergleich zur vorangegangenen Projektion und auf eine als deutlich sinkend angenommene Menge an Energiepflanzenanbau zum Zweck der Vergärung zurück. Außerdem zeigt auch das zuletzt in 2020 angepasste Düngerecht weitere Wirkung.

Die projizierten Feinstaubemissionen verfehlen die Einhaltung ab 2030 um gut einen Prozentpunkt, halten jedoch in 2025 den linearen Reduktionspfad mit einer knapp 38-prozentigen Minderung gegenüber dem Basisjahr 2005 ein. Gegenüber 2005 wird eine absolute Emissionsreduktion von 51 kt/a in 2025 und 56 kt/a in 2030 projiziert. Die Emissionsminderungen werden hauptsächlich in den Bereichen Energiewirtschaft, Verkehr sowie im gewerblichen Bereich und bei übrigen Feuerungsanlagen in privaten Haushalten erzielt. Hier wird dem Ausstieg aus der Kohleverstromung (idealerweise bis 2030), der fortschreitenden Flottenerneuerung sowie Elektrifizierung der Flotte im Straßenverkehr sowie der weiteren Erneuerung des Anlagenparks zur Raumheizung und Warmwasserbereitstellung in Gebäuden maßgebende Wirkung zugeschrieben.

2.3.2 Voraussichtliche Auswirkungen im Hinblick auf die Verbesserung der Luftqualität (Szenario „mit Maßnahmen“)

Die Luftqualitätsgrenzwerte der EU wurden mit Ausnahme von NO₂ im Jahresmittel in 2021 flächendeckend eingehalten. Die Auswertung für 2022 liefert dasselbe Bild. Der NO₂-Jahresmittelgrenzwert wurde in 2021 an 3 verkehrsnahen Messstandorten und in 2022 an 2 verkehrsnahen Messstationen überschritten. Angesichts der Emissionsentwicklung gehen die betroffenen Länder davon aus, dass auch bei NO₂ ab 2024 keine Überschreitung des gültigen Grenzwertes mehr auftritt. Für 2025 und 2030 wurde daher im WM-Szenario keine Chemie-Transportmodellierung durchgeführt.

Anders ist die Situation bei den Zielwerten für Ozon. Angesichts des in Europa zu beobachtenden Anstiegs der mittleren Ozonkonzentrationen ist auch zukünftig nicht mit einer flächendeckenden Einhaltung des Zielwertes oder des Langfristzieles zu rechnen. Meteorologisch günstige Jahre können diesbezüglich eine Ausnahme begründen.

2.3.3 Unsicherheiten

Bei der Erstellung und Bewertung des Szenarios „mit-Maßnahmen“ (WM) sind verschiedene Unsicherheiten zu berücksichtigen. Neben den Unsicherheiten des zugrundeliegenden Emissionsinventares für Luftschadstoffe kommen die dem Mit-Maßnahmen-Szenario im Projektionsbericht der Bundesregierung 2021 (PB, 2021) zugrunde liegenden Unsicherheiten bei der Fortschreibung der Aktivitätsratenentwicklung hinzu. Naturgemäß existieren dabei Unsicherheiten, die mit fortschreitendem Abstand zum aktuellen Jahr zunehmen. Dies bestätigt sich auch durch den Vergleich zurückliegender Prognosen mit tatsächlich eingetretenen Entwicklungen. Um hinsichtlich dieser Unsicherheiten möglichst aktuelle Projektionen zu berücksichtigen, wird im Kapitel 5.1.4 eine qualitative Sensitivitätsbetrachtung gegenüber den Energieprojektionen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des im August 2023 veröffentlichten Projektionsberichts 2023 für Deutschland und den darin berücksichtigten Maßnahmen sowie Rahmendatenprojektionen ausgeführt.

Weiterhin bestehen Unsicherheiten bei der Bewertung der zukünftigen Minderungspotenziale der im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) des nationalen Luftreinhalteprogrammes betrachteten bereits umgesetzten Strategien und Maßnahmen im Bereich Luftreinhaltung. Zukünftige Ausnahmeregelungen von gültigen Grenzwerten können nur auf Basis historischer Daten abgeschätzt werden. Mitunter liegen auch für aktuelle Jahre keine statistischen Erhebungen zu Ausnahmeregelungen auf Bundesebene vor. Die tatsächliche Gewährung von Ausnahmen und entsprechende mittlere Emissionsfaktoren kommender Berichterstattungen können daher von den Annahmen in den Projektionen abweichen.

Einen deutlichen Einfluss auf die berichteten Emissionen, vor allem für PM_{2,5}, haben die Temperaturen der jeweiligen Heizperiode. Die Projektion wird auf Basis langjähriger mittlerer Temperaturverläufe berechnet. Für das Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021 wurde beispielsweise bei der Berechnung des Wärmebedarfs im Gebäudebereich ein Anstieg der mittleren Temperaturen in Folge des Klimawandels und ein damit verbundener Rückgang der Heizgradtage angenommen. Allein dieser Klimateffekt senkt die projizierten Treibhausgasemissionen deutlich. Die historischen Brennstoffeinsätze zur Wärmebereitstellung im Gebäudebereich in Abhängigkeit der Abweichung der tatsächlichen Temperaturen vom langjährigen Mittel und der damit verbundenen Schwankungen der Dauer und Intensität der Heizperiode streuen im Betrachtungszeitraum seit 2005 um den trendbereinigten Mittelwert, was beispielsweise einer Sensitivität gegenüber dem Witterungseinfluss von knapp ± 2 kt/a PM_{2,5}-Emissionen in 2030 entspricht.

Ähnlich sensitiv reagieren die Emissionsprojektionen auf zahlreiche weitere Annahmen, die im Rahmen dieses Programms nicht systematisch untersucht worden sind. Daraus leiten sich die Notwendigkeit eines Puffers zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen sowie des Vorhaltens weiterer optionaler Emissionsminderungsmaßnahmen, die im Falle einer von den Annahmen abweichenden tatsächlichen Entwicklung kurzfristig umgesetzt werden können, ab.

2.4 Für die Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen

Tabelle 4: Für die Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen

<p>Wichtigste in Betracht gezogene Politikoptionen</p>	<p>Zur Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 gemäß der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 wurden weitere Maßnahmen in den verschiedenen Sektoren, die über das mit-Maßnahmen-Szenario (WM – with measures) hinausgehen, in Betracht gezogen und hinsichtlich der Minderungspotenziale bewertet. Die Maßnahmenoptionen adressieren dabei unterschiedliche Luftschadstoffe in den Sektoren und sind sowohl in ihrer Art der Wirkung, der Zielsetzung und der Minderungspotenziale verschieden. Die in Betracht gezogenen Maßnahmenoptionen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030</u> Laut Koalitionsvertrag von 2021 ist zur Einhaltung der Klimaschutzziele auch ein beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung nötig, der idealerweise bis 2030 gelingt. Im Rahmen dieser Maßnahmenoption wird eine jährliche Abnahme der Energiebereitstellung durch den Einsatz von Kohle bis 2029 angenommen. Ab 2030 wird für diese Option angenommen, dass keine Aktivitäten in den Kohlekraftwerken mehr stattfinden. Dieser vorzeitige Ausstieg aus der Kohleverstromung (idealerweise bis 2030) bringt signifikante Emissionsminderungen für alle Luftschadstoffe. • <u>Novellierung der 17. BImSchV in 2023 (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen; Kabinettdfassung vom 23.8.2023)</u> Es wurde angenommen, dass in 2023 eine <i>Novellierung der 17. BImSchV</i> als Umsetzung einer EU-rechtlichen BVT-Anforderung (Frist Dezember 2023) erfolgt, die unter anderem zur Aufhebung von Ausnahmeregelungen hinsichtlich der maximalen NO_x-Emissionen im Jahresmittel führt. • <u>[Optional] Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen) für feste (außer Kohle), flüssige und biogene Brennstoffe</u>
--	--

	<p>Eine <i>Novellierung der 13. BImSchV</i> kann zu einer möglicherweise zusätzlich notwendigen NO_x-Emissionsminderung beitragen. Eine entsprechende Maßnahme wurde bereits im ersten nationalen Luftreinhalteprogramm von 2019 als optionale Maßnahme vorgesehen. Eine Novellierung ist zu prüfen, wenn die Minderungsverpflichtung trotz der vorgesehenen Maßnahmen verfehlt wird. Die Einführung eines strengeren NO_x-Grenzwertes von 85 mg/m³ im Jahresmittel führt zu Minderungen der NO_x-Emissionen in der Industrie sowie bei der Bereitstellung von Energie durch Großfeuerungsanlagen. Bei einer Prüfung ist insbesondere zu untersuchen, ob herabgesetzte Grenzwerte mit der Dekarbonisierung der Industrie (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff) vereinbar sind.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnungen (EU) 2015/1185 ab 2029 und (EU) 2015/1189 ab 2027</u> Die Einführung strengerer Staubemissionsgrenzwerte für das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Kesseln oder Zentralheizungen und Einzelraumfeuerungsanlagen für den Einsatz von fester Biomasse bis zu einer Nennwärmeleistung von 1000 kW und eine damit verbundene Anpassung der Ökodesign-Verordnungen (EU) 2015/1185 und (EU) 2015/1189 und gegebenenfalls weiterer, damit in Verbindung stehenden Verordnungen führt zu einer deutlichen Minderung der PM_{2,5}-Emissionen. • <u>Maßnahmenpaket Landwirtschaft</u> Zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen sind, trotz einer Einhaltung der Reduktionsverpflichtung im WM-Szenario, u.a. notwendig, da sich bei der Umsetzung der Maßnahme des Klimaschutzprogrammes 2030 „Erhöhung des Anteils der flüssigen Wirtschaftsdünger aus der Rinder- und Schweinehaltung, der in Biogasanlagen vergoren wird, auf 70 % bis zum Jahr 2030“, potenzielle Mehremissionen von Ammoniak ergeben und somit die Reduktionsverpflichtung verfehlt werden würde. Aus diesem Grund wurden drei zusätzliche Minderungsmaßnahmen zur Senkung der Ammoniakemissionen in einem Maßnahmenpaket Landwirtschaft zusammengefasst. <ol style="list-style-type: none"> 1. Steigerung des Anteils technisch dicht gelagerter Gärreste auf 100 % bis zum Jahr 2030 2. emissionsmindernde Maßnahmen in Milchkuhställen (emissionsarme Böden) 3. verstärkte Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger mit Injektions- / Schlitztechnik oder Ansäuerungstechnik <p>Maßnahme 1 steht im Einklang mit der Umsetzung der Vorgaben der TA Luft 2021 bezüglich der Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Gülle- und Gärrestelager bestehender Biogasanlagen ab Dezember 2026. Des Weiteren reduziert die technisch dichte Abdeckung von Gärrestlagern Methanemissionen und dient so dem Klimaschutz. Im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 wurden bereits verschiedene Maßnahmen zur Ausweitung von technisch dichten Gärrestlagern aufgenommen. Bei den Maßnahmen 2 und 3 handelt sich um bereits förderfähige Maßnahmen. Die Förderungen sollen weitergeführt werden, um weitere Emissionsminderungen zu erzielen.</p> <p>Das Maßnahmenpaket dient auch der Umsetzung des KoaV 2021 (S. 41, Abs. 2): „Wir ergreifen alle notwendigen Maßnahmen, um europarechtliche Verpflichtungen zur Minderung von Stickstoffeinträgen in Wasser und Luft sicher zu erreichen, und wenden damit Strafzahlungen an die EU ab.“</p> • <u>Maßnahmenpaket Verkehr</u> Das <i>Maßnahmenpaket Verkehr</i> setzt sich aus drei Einzelmaßnahmen zusammen, deren Minderungswirkungen sich beeinflussen und dementsprechend nur als Gesamtpaket betrachtet werden. Das Maßnahmenpaket führt zu Minderungseffekten aller relevanten Luftschadstoffe und setzt sich aus den Einzelmaßnahmen <ul style="list-style-type: none"> ○ Einführung einer Euro 7 Norm (vgl. KoaV S. 51), ○ Ausweitung der Lkw-Maut (vgl. KoaV S. 49) sowie
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> ○ dem Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität (vgl. KoaV S. 27 und 51) zusammen. <p>Die Maßnahmenbewertungen basieren weitgehend auf dem Verkehrsmodell TREMOD (Version 6.21) und dem aktuellen Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 4.2.</p> <p>Die hier enthaltenen Maßnahmen bilden eine Grundlage für die ressortinterne finanzielle Prioritätensetzung und stehen unter dem Vorbehalt der im Rahmen der Haushalts- und Finanzplanung verfügbaren Haushaltsmittel sowie der verfassungsmäßigen Zuständigkeit des Bundes. Sie beinhalten weder eine (Vor-)Festlegung im Hinblick auf den Etat noch präjudizieren sie den Haushaltsgesetzgeber.</p>
--	---

2.5 Zusammenfassung der zur Verabschiedung vorgesehenen Strategien und Maßnahmen nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden

Tabelle 5: Zusammenfassung der zur Verabschiedung vorgesehenen Strategien und Maßnahmen nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden

Betroffener Sektor	Strategien und Maßnahmen			
	Ausgewählte Strategien und Maßnahmen	Zeitplan für die Umsetzung der ausgewählten Strategien und Maßnahmen	Behörde(n), die für die Umsetzung und Durchsetzung der ausgewählten Strategien und Maßnahmen zuständig ist/sind (Art und Name)	Zeitplan für die Überprüfung der ausgewählten Strategien und Maßnahmen
Energieversorgung	Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030	Beginn: 2022 Abschluss: 2030		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
	(Optional) Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe	Beginn: Bei Bedarf zu prüfen Abschluss:		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025 unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Dekarbonisierung der Industrie.
	65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen (GEG)	Beginn: 2024 Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025

Energieverbrauch	Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnungen (EU) 2015/1185 ab 2029 und (EU) 2015/1189 ab 2027	Beginn: 2025 Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
Verkehr	Einführung einer Euro 7 Norm	Beginn: 2026 Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
	Ausweitung der Lkw-Maut	Beginn: 2023 Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
	Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität	Beginn: laufend Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
Industrieprozesse	(Optional) Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe	Beginn: Bei Bedarf zu prüfen Abschluss:		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025 unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Dekarbonisierung der Industrie.
Landwirtschaft	Maßnahmenpaket Landwirtschaft	Beginn: laufend Abschluss: fortlaufend		Neubewertung im Rahmen der Berichtserstattung der Emissionsprognosen 2025
Abfallwirtschaft/Abfall				
Querschnittsbereiche	Novellierung der 17. BImSchV in 2023	Beginn: 2023 Abschluss: 2029		Kabinettsbeschluss vom 23.8.2023. Nach Beteiligung des Bundestages und Beratung im Bundesrat wird ein Inkrafttreten bis Ende des Jahres 2023 angestrebt.
Sonstiges				

2.6 Kohärenz

Tabelle 6: Kohärenz

<p>Bewertung, wie die ausgewählten Strategien und Maßnahmen die Kohärenz mit Plänen und Programmen in anderen relevanten Politikbereichen gewährleisten</p>	<p>Die Strategien und Maßnahmen, die im nationalen Luftreinhalteprogramm zur Erreichung der Minderungsverpflichtungen der Richtlinie (EU) 2016/2284 ausgewählt wurden, weisen teilweise erhebliche Synergieeffekte mit anderen Politikfeldern auf.</p> <p>Dabei ergibt sich insbesondere eine hohe Kohärenz mit dem Politikfeld des Klimaschutzes, da die Emission von Luftschadstoffen in vielen Fällen mit der Emission von Klimagasen korreliert. Im Bereich des Klimaschutzes hat die Bundesregierung zahlreiche Programme zur Erreichung der Klimaschutzziele erlassen, wie beispielsweise</p> <ul style="list-style-type: none"> • den Klimaschutzplan 2050 vom November 2016, • das Klimaschutzprogramm 2030 vom Oktober 2019, • das Klimaschutzsofortprogramm 2022 vom 23. Juni 2021 sowie <p>deren Maßnahmen ebenso in der Erstellung des nationalen Luftreinhalteprogramms berücksichtigt wurden.</p> <p>Den Bewertungen im vorliegenden Programm liegen die Projektionen des Projektionsberichts 2021 zugrunde. Dies war die letzte veröffentlichte offizielle THG-Projektion der Bundesregierung, die zum Zeitpunkt der Erstellung der Projektionen für das NLRP vorlag. Die Referenzentwicklungen der THG-Emissionen des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes (NECP) wurden final am 10. Juni 2020 durch das Bundeskabinett beschlossen und anschließend an die EU-Kommission übermittelt und veröffentlicht. Im August 2023 wurde der Projektionsbericht 2023 für Deutschland veröffentlicht. Auf die potenziellen Auswirkungen der darin enthaltenen aktuelleren Projektion im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) wird im Kapitel 5.1.4 qualitativ eingegangen.</p> <p>Auch agrarpolitische Pläne und Programme haben einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen, insbesondere der Ammoniak-Emissionen. So setzt die Weiterentwicklung der gemeinsamen Agrarpolitik der EU und ihre Umsetzung in Deutschland die Rahmenbedingungen für die Emissionen selbst als auch für die Förderfähigkeit von Emissionsminderungsmaßnahmen.</p> <p>Darüber ergeben sich weitere Synergien der ausgewählten Maßnahmen im nationalen Luftreinhalteprogramm insbesondere mit Plänen und Programmen in den Bereichen Gesundheit, Biodiversität, Wasser, Stickstoff und Nachhaltigkeit. Beispiele sind</p> <ul style="list-style-type: none"> • das nationale Aktionsprogramm zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat, • das Aktionsprogramm Insektenschutz, • die Nutztierstrategie / Umbau der Tierhaltung • die Ackerbaustrategie 2035, • das Aktionsprogramm zur integrierten Stickstoffminderung sowie • die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie.
---	--

2.7 Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen der Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktionen, auf die Luftqualität in den eigenen Gebieten und in benachbarten Mitgliedstaaten sowie auf die Umwelt; damit verbundene Unsicherheiten

Tabelle 7: Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen der Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktionen, auf die Luftqualität in den eigenen Gebieten und in benachbarten Mitgliedstaaten sowie auf die Umwelt; damit verbundene Unsicherheiten

Voraussichtliche Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen (mit zusätzlichen Maßnahmen)	Mit der Berücksichtigung des vorläufigen Szenarios „mit-weiteren-Maßnahmen“ (WAM) würden die Emissionsreduktionsverpflichtungen aller Schadstoffe eingehalten.
Inanspruchnahme von Flexibilitätsregelungen (sofern zutreffend)	Die Inanspruchnahme von Flexibilitätsregelungen würde entfallen durch die vollständige Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen.
Voraussichtliche Verbesserung der Luftqualität (mit zusätzlichen Maßnahmen)	Bei den Simulationen in (2x2) km ² horizontaler Modellauflösung ergeben sich Minderungen im deutschlandweiten Durchschnitt der jahresmittleren Hintergrundkonzentrationen in 2030 gegenüber 2020 von 0,8 µg/m ³ bei PM ₁₀ , 0,7 µg/m ³ bei PM _{2,5} , 2,1 µg/m ³ bei NO ₂ und 0,3 µg/m ³ bei Ozon.
Voraussichtliche Auswirkungen auf die Umwelt (mit zusätzlichen Maßnahmen)	Mit den potenziellen Minderungen der Luftschadstoffemissionen bis 2030 erreicht Deutschland das Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die Gebiete, in denen die Eutrophierung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreitet, in 2030 gegenüber 2005 um 35 Prozent zu reduzieren. Auch die Gebiete in denen die Versauerung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreitet, gehen im Vergleich zu 2019 weiter deutlich zurück. Eine stationsbezogene Auswertung der Belastung mit Ozon anhand der phytotoxischen Ozondosis (POD) wurde für das Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM) nicht durchgeführt.
Methoden und Unsicherheiten	Die Methoden und Unsicherheiten sind unter anderen in den Kapiteln 6.1, 8.4 und 8.5 ausführlich beschrieben.

3 Der nationale Politikrahmen für Luftqualität und Luftreinhaltung

3.1 Politische Prioritäten und ihre Beziehung zu Prioritäten in anderen relevanten Politikbereichen

Tabelle 8: Politische Prioritäten und ihre Beziehung zu Prioritäten in anderen relevanten Politikbereichen

Nationale Emissionsreduktionsverpflichtungen, bezogen auf das Basisjahr 2005 (in %)	SO ₂	NO _x	NM VOC	NH ₃	PM _{2,5}
2020-2029	21 %	39 %	13 %	5 %	26 %
ab 2030	58 %	65 %	28 %	29 %	43 %
Luftqualitätsprioritäten: nationale politische Prioritäten im Zusammenhang mit nationalen bzw. EU-Luftqualitätszielen (einschließlich Grenzwerte, Zielwerte und Verpflichtungen in Bezug auf die Expositionskonzentration)	<p>Ziel ist, die Luftschadstoffemissionen und die Luftbelastung in Deutschland weiter zu senken. Bei der Feinstaubbelastung wurde bereits eine vollständige Einhaltung der geltenden EU-Grenzwerte erreicht. Der Grenzwert für Stickstoffdioxid, wurde in 2021 noch in drei Städten überschritten. Ziel ist es, den Jahresmittelgrenzwert für Stickstoffdioxid schnellstmöglich einzuhalten.</p> <p>Darüber hinaus befindet sich derzeit ein Vorschlag der Europäischen Kommission zur Annäherung der Luftqualitäts-Grenzwerte an die neuen WHO-Richtwerte in der Abstimmung. Ziel ist es die Luftqualität soweit schrittweise zu verbessern, dass sie den neusten Standards entspricht.</p>				
Relevante Prioritäten in den Bereichen Klimawandel und Energiepolitik	<p>Ziel der Klimapolitik der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2030 die Emissionen von Treibhausgasen um mindestens 65 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 zu senken. Beim internationalen Klimaschutz setzt sich Deutschland für eine ambitionierte und effektive Umsetzung des Abkommens von Paris ein.</p>				
Relevante politische Prioritäten in einschlägigen Politikbereichen, einschließlich Landwirtschaft, Industrie und Verkehr	<p>Landwirtschaft: Düngerecht, Ackerbaustrategie, Nutztierstrategie / Umbau der Tierhaltung</p> <p>Industrie: Ausstieg aus der Verstromung von Kohle (idealerweise bis 2030)</p> <p>Verkehr: Einführung der Euro 7 Norm, weitere Ausgestaltung der Lkw-Maut sowie eine Förderung des Ausbaus der Elektromobilität</p>				

3.2 Zuständigkeiten der nationalen, regionalen und lokalen Behörden

Tabelle 9: Zuständigkeiten der nationalen, regionalen und lokalen Behörden

Liste der zuständigen Behörden	Art der Behörde (z. B. Umweltaufsichtsbehörde, regionale Umweltaгентur, Gemeinde) Gegebenenfalls Name der Behörde	Beschreiben Sie die Zuständigkeiten in den Bereichen Luftqualität und Luftreinhaltung Zutreffendes auswählen:
Bund (Nationale Behörden)	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)	<ul style="list-style-type: none"> — Aufgaben der Politikgestaltung — Umsetzungsaufgaben — Durchsetzungsaufgaben (gegebenenfalls einschließlich Inspektionen und Genehmigungen) — Koordinierungsaufgaben
	Umweltbundesamt	<ul style="list-style-type: none"> — Berichterstattungs- und Überwachungsaufgaben — Ressortforschung als Grundlage für die Erstellung von Gesetzes- und Verordnungsentwürfen
	Thünen-Institut	<ul style="list-style-type: none"> — Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen von Ammoniak, NO_x, NMVOC und Feinstaub zur Berichterstattung des Umweltbundesamtes
Land (Regionale Behörden)	Oberste Immissionsschutzbehörden der Länder, Landesoberbehörden, Landesmittelbehörden und untere Landesbehörden	<ul style="list-style-type: none"> — Landesbezogene Aufgaben der Politikgestaltung — Mitwirkung bei der Bundesgesetzgebung im Bereich Immissionsschutzrecht — Landesbezogene Immissionsschutzgesetzgebung — Vollzug des Immissionsschutzrechts (u.a. Überwachung der Luftqualität und Luftreinhalteplanung)
Städte und Kommunen (Lokale Behörden)		<ul style="list-style-type: none"> — Vollzug des Immissionsschutzrechts

4 Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion und der Verbesserung der Luftqualität; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen, bezogen auf das Jahr 2005

4.1 Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Emissionsreduktion; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen zur Emissionsreduktion

4.1.1 Entwicklung der Emissionen von 2005 bis 2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022

4.1.1.1 Entwicklung der Emissionen – Überblick

Die anthropogenen Luftschadstoffemissionen in Deutschland sind seit 1990 für NO_x, NMVOC und SO₂ stark, für NH₃ und PM_{2,5} leicht zurückgegangen (siehe Abbildung 1).

Negative Auswirkungen auf und Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sind jedoch noch immer bedeutend. Die Emissionsentwicklung der vergangenen 15 Jahre (siehe Abbildung 2) zeigt, dass in vielen Quellgruppen hohe technische Minderungspotenziale bereits umgesetzt wurden und es in Deutschland bei konstanten oder wachsenden Aktivitätsraten zunehmend anspruchsvoller und kostenaufwendiger wird, Emissionsminderungen mit Hilfe von prozess-, verfahrens- oder systemintegrierten Minderungsmaßnahmen zu verwirklichen.

Die EU-Mitgliedstaaten sind unter der neuen NEC-Richtlinie zu Reduktionen der Emissionen von SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃ und PM_{2,5} ab 2020 verpflichtet. Die Reduktionen sind als prozentuale Minderung gegenüber den Emissionen im Basisjahr 2005 festgelegt. Zunächst werden im Folgenden die Entwicklungen der Emissionen Deutschlands im Zeitraum 2005 bis 2020 beschrieben, und es wird gezeigt, welche Strategien und Maßnahmen zu den erreichten Emissionsminderungen geführt haben. Das Umweltbundesamt hat die Emissionsdaten für den Zeitraum 1990 bis 2020 im Februar 2022 an die Europäische Kommission berichtet. Sie sind auf den Internetseiten der Europäischen Umweltagentur unter folgendem Link öffentlich verfügbar:

https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envygj4g/

Abbildung 1: Entwicklung der deutschen SO₂-, NO_x-, NMVOC-, NH₃- und PM_{2,5}-Emissionen im Zeitraum 1990-2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022

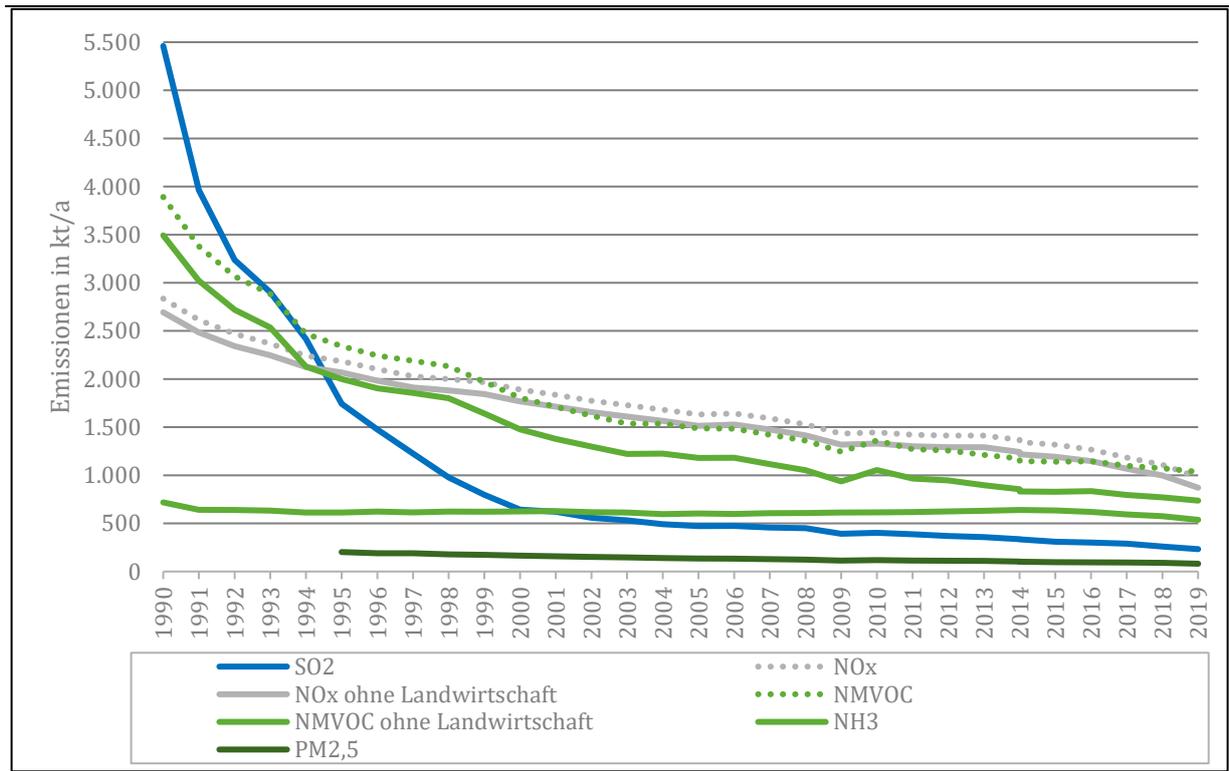


Abbildung 2: Entwicklung der deutschen SO₂-, NO_x-, NMVOC-, NH₃- und PM_{2,5}-Emissionen im Zeitraum 2005-2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022

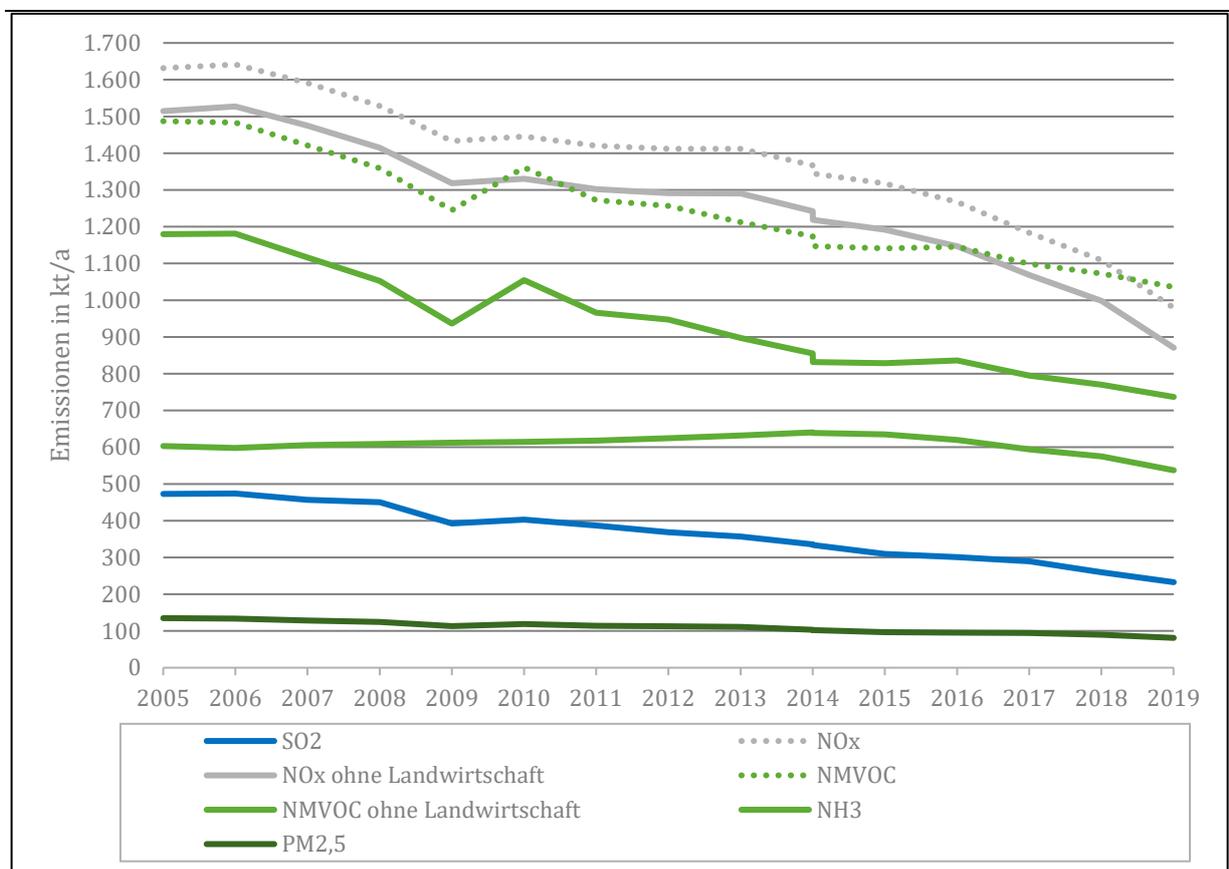


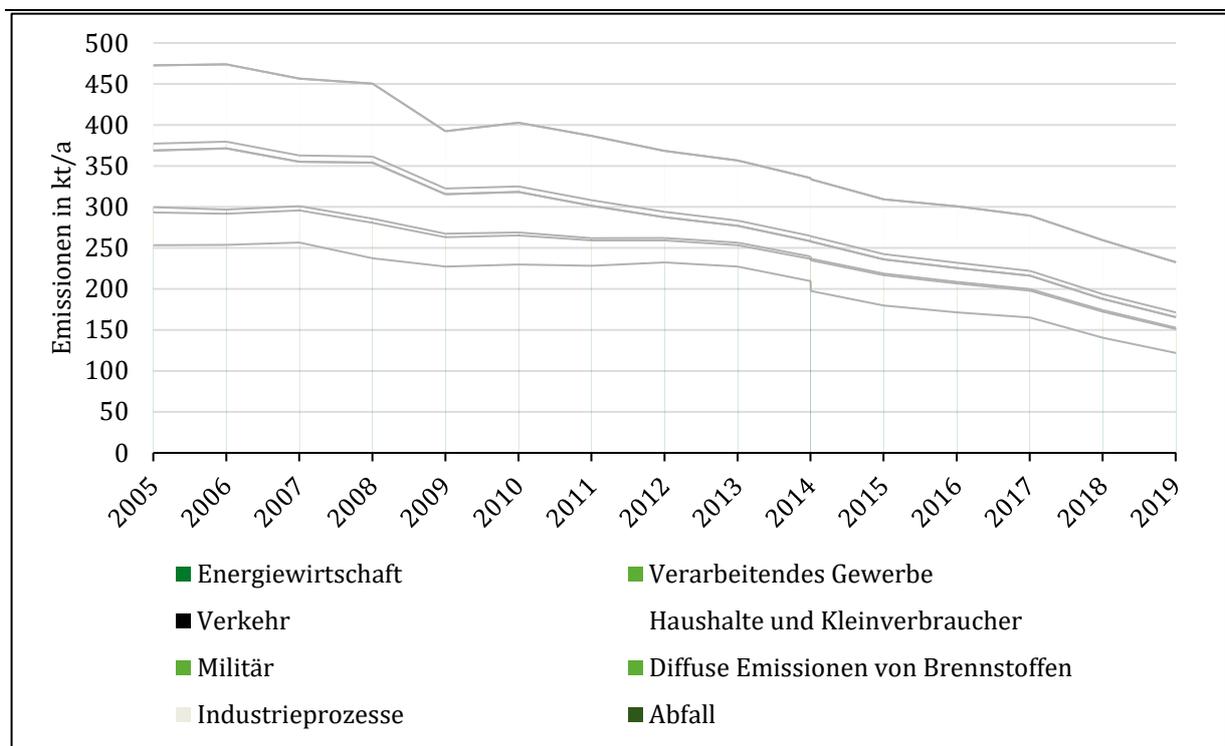
Tabelle 10: Absolute Emissionen in kt/a zu der Entwicklung der deutschen SO₂-, NO_x-, NMVOC-, NH₃- und PM_{2,5}-Emissionen im Zeitraum 2005-2020 nach der Emissionsberichterstattung 2022 entsprechend Abbildung 1³

Schadstoff / Schadstoffgruppe	Emissionsberichterstattung 2022															
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
SO _x (als SO ₂)	5460	3964	3237	2902	2416	1742	1475	1225	977	798	643	622	559	531	491	473
NO _x (als NO ₂)	2835	2614	2468	2368	2241	2184	2102	2029	2001	1967	1891	1835	1774	1728	1681	1632
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	2693	2484	2341	2248	2125	2067	1984	1911	1881	1845	1768	1713	1656	1611	1565	1515
NMVOC	3892	3380	3066	2884	2469	2342	2244	2190	2133	1971	1806	1711	1619	1538	1534	1487
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	3493	3022	2719	2536	2128	2000	1903	1856	1801	1641	1478	1377	1298	1221	1225	1180
NH ₃	718	641	640	633	613	613	623	615	624	621	624	628	616	613	596	603
PM _{2,5}	-	-	-	-	-	202	190	189	179	174	165	159	153	146	141	135
	Emissionsberichterstattung 2022															
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
SO _x (als SO ₂)	474	457	450	393	403	387	357	357	335	334	309	301	290	260	233	
NO _x (als NO ₂)	1641	1591	1528	1433	1446	1420	1412	1412	1367	1345	1317	1267	1183	1109	979	
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	1527	1475	1415	1318	1330	1302	1291	1291	1242	1219	1192	1147	1068	998	871	
NMVOC	1483	1421	1359	1245	1361	1272	1257	1212	1174	1147	1141	1146	1099	1072	1036	
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	1181	1116	1052	937	1055	966	947	897	855	832	829	836	795	770	737	
NH ₃	598	606	609	612	614	618	625	632	640	639	635	620	594	575	537	
PM _{2,5}	134	128	124	113	119	114	113	111	103	102	97	95	94	90	81	

³ NO_x- und NMVOC-Emissionen der Landwirtschaft (NFR-Sektoren 3B und 3D) sind nicht compliance-relevant.

4.1.1.2 Entwicklung der SO₂-Emissionen von 2005-2020

Abbildung 3: Entwicklung der SO₂-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



Hauptverursacher der SO₂-Emissionen in Deutschland sind die Energiewirtschaft (2005: 54 %, 2020: 52 %) – insbesondere Anlagen zur Stromerzeugung, vor allem Kohlefeuerungen –, Industrieprozesse (2005: 20 %, 2020: 26 %), Haushalte und Kleinverbraucher (2005: 15 %, 2020: 6 %) – hier vor allem Einzelraumfeuerungen wie Kamine oder Öfen – sowie das verarbeitende Gewerbe (2005: 9 %, 2020: 13 %). Diffuse Brennstoffemissionen haben einen Anteil an den SO₂-Gesamtemissionen von etwa 2 % im Jahr 2005 und knapp 3 % im Jahr 2020. Der Verkehr spielt bei den SO₂-Emissionen nur noch eine untergeordnete Rolle (2005: 1 %, 2020: 1 %). Emissionen aus anderen Feuerungsanlagen (Militär) und der Abfallbereich haben nur einen sehr geringen Anteil (unter 1 %) an den SO₂-Gesamtemissionen (siehe Abbildung 3).

Im Zeitraum 2005 bis 2020 nahmen die SO₂-Gesamtemissionen in Deutschland um fast 51 % ab, das entspricht gut 240 kt. Besonders deutlich (um mehr als 80 % bzw. um gut 56 kt) konnten die SO₂-Emissionen bei den Haushalten und Kleinverbrauchern reduziert werden. Diese Minderungen sind vor allem auf einen vermehrten Einsatz von Heizöl mit geringem Schwefelgehalt seit dem Jahr 2008 und auf die Nutzung emissionsärmerer Kleinf Feuerungsanlagen wie Kamine und Öfen zurückzuführen. Grundsätzlich sind bei den Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher jährliche Schwankungen zu beobachten, die abhängig sind vom winterlichen Wärmebedarf, von Brennstoffpreisen und der Menge an gelagerten Brennstoffen.

Die SO₂-Emissionen aus der Energiewirtschaft gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um fast 52 % bzw. gut 131 kt zurück. Die Schwefeldioxid-Emissionen aus dem verarbeitenden Gewerbe konnten um fast 11 kt reduziert werden. Diese Minderungen sind auf Verschärfungen von Emissionsgrenzwerten für große Feuerungsanlagen zurückzuführen. Eine besonders deutliche Reduktion

der SO₂-Emissionen ist ab dem Jahr 2017 zu verzeichnen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass zahlreiche Großfeuerungsanlagen seit dem 1.1.2016 strengeren emissionsbegrenzenden Anforderungen der 13.⁴ und 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV)⁵ entsprechen mussten. Zum anderen ging in den Kraftwerken in den letzten Jahren der Einsatz von Steinkohle und Braunkohle deutlich zurück, während der Einsatz von Erdgas leicht zunahm.

Die SO₂-Emissionen aus Industrieprozessen konnten im Zeitraum 2005 bis 2020 um gut 34 kt reduziert werden. Minderungen sind vor allem in der chemischen Industrie und in der Metallindustrie zu verzeichnen. Die Rückgänge in der chemischen Industrie sind vor allem auf eine Optimierung von Prozessen und den verstärkten Einsatz von Abgasreinigungstechniken zurückzuführen. Als Meilensteine sind hier die Best Available Technique Reference Documents (BREFs) Large Volume Inorganic Chemicals (LVIC-AAF)⁶ und Manufacture of Organic Fine Chemicals (OFC)⁷ zu nennen. Die Anforderungen aus den BREFs wurden in Deutschland in jeweils einer Vollzugsempfehlung⁸ im Jahr 2015 und schließlich auch in der TA Luft⁹ umgesetzt.

In der Metallindustrie ist ein deutlicher Emissionsrückgang im Jahr 2020 zu verzeichnen, der auf einen Produktionsrückgang während der Corona-Pandemie zurückzuführen ist.

⁴ Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_13_2021/index.html.

⁵ Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_17_2013/BJNR104400013.html.

⁶ Best Available Technique Reference Document Large Volume Inorganic Chemicals: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/large-volume-inorganic-chemicals>

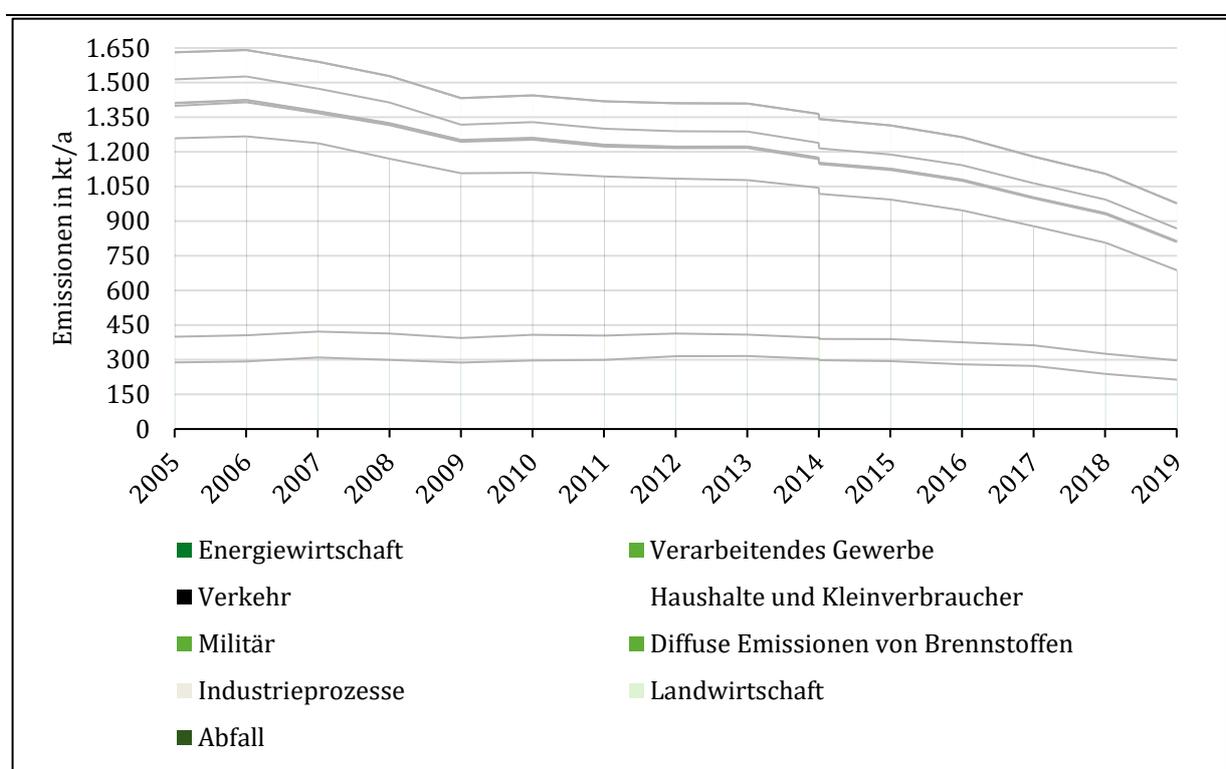
⁷ Best Available Technique Reference Document Manufacture of Organic Fine Chemicals: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/manufacture-organic-fine-chemicals>

⁸ Vollzugsempfehlungen für bestimmte Anlagenarten zur Herstellung von anorganischen Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang (LVIC – AAF) vom 26.03.2015: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20150326_1503574892.pdf und Vollzugsempfehlungen für bestimmte Anlagenarten zur Herstellung von organischen Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang (OFC) vom 26.03.2015: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20150326_2_3_1503574958.pdf

⁹ Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_18082021_IGI25025005.htm

4.1.1.3 Entwicklung der NO_x-Emissionen von 2005-2020

Abbildung 4: Entwicklung der NO_x-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022

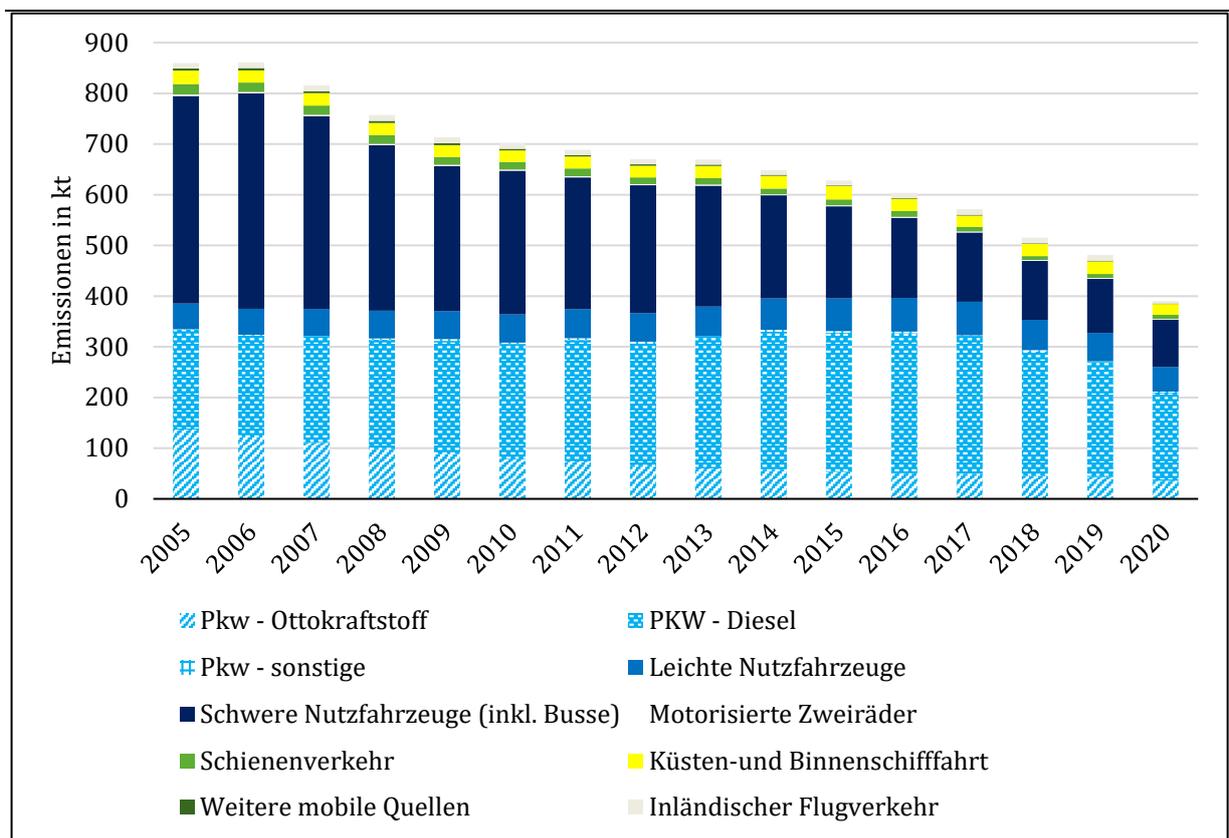


Hauptverursacher der NO_x-Emissionen in Deutschland ist der Verkehr. Im Jahr 2005 hatte der Verkehr einen Anteil von fast 53 % an den NO_x-Gesamtemissionen, im Jahr 2020 waren es noch knapp 40 %. Die Hauptquellgruppe im Bereich Verkehr ist der motorisierte Straßenverkehr und hier vor allem Diesel-Pkw und schwere Nutzfahrzeuge. Weitere relevante Quellgruppen sind die Energiewirtschaft (2005: 18 %, 2020: 22 %), die Haushalte und Kleinverbraucher (2005: 9 %, 2020: 13 %), die Landwirtschaft (2005: 7 %, 2020: 11 %), das Verarbeitende Gewerbe (2005: 7 %, 2020: 9 %) sowie Industrieprozesse (2005: 6 %, 2020: 6 %) (siehe Abbildung 4).

Die gesamten deutschen NO_x-Emissionen nahmen von 2005 bis 2020 um 40 % ab, das entspricht gut 654 kt. Die deutlichsten Emissionsabnahmen sind im Verkehrsbereich zu verzeichnen: die Emissionen des gesamten Verkehrs gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um fast 470 kt zurück, die NO_x-Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs konnten um knapp 443 kt reduziert werden (vgl. Abbildung 5). Die größten Minderungen traten bei den schweren Nutzfahrzeugen (inkl. Bussen) auf: Trotz steigender Fahrleistungen bei den schweren Nutzfahrzeugen ließen sich die Stickstoffoxid-Emissionen um fast 317 kt mindern. Dies ist auf die Verschärfung von Emissionsgrenzwerten für schwere Nutzfahrzeuge und die damit verbundene stetige Flottenerneuerung zurückzuführen. Maßnahmen wie die seit dem 1.1.2005 in Deutschland geltende nach Schadstoffklassen differenzierte Lkw-Maut und die in vielen deutschen Städten existierenden Umweltzonen führten zu einer Nachfrage nach schadstoffärmeren Fahrzeugtechnologien und begünstigten somit die Modernisierung der Fahrzeugflotte. Die NO_x-Emissionen der Pkw nahmen im Zeitraum 2005 bis 2020 um 123 kt, die NO_x-Emissionen der leichten Nutzfahrzeuge um rund 2 kt ab. Bei den Pkw stiegen die Fahrleistungen in den letzten 15 Jahren leicht, bei leichten

Nutzfahrzeugen deutlich an. Die Fahrleistungen der Diesel-Pkw nahmen dabei zu, da der Anteil der Diesel-Pkw am gesamten Fahrzeugbestand in diesem Zeitraum stieg. Die Fahrleistungen der Benzin-Pkw nahmen dagegen ab. Die Statistiken über Neuzulassungen von Pkw zeigen seit Bekanntwerden der Differenzen zwischen den Emissionen im Prüfzyklus und den Emissionen im realen Fahrbetrieb bei zahlreichen Diesel-Pkw eine Umkehr dieses Trends zu Gunsten von Benzin-Pkw. Letztlich nahmen die Stickstoffoxid-Emissionen der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge durch die stetige Verschärfung von Emissionsgrenzwerten und der damit einhergehenden Modernisierung der Fahrzeugflotte ab. Maßnahmen, die die Flottenerneuerung in den vergangenen 15 Jahren beförderten waren die in vielen deutschen Städten eingeführten Umweltzonen sowie lokale Fahrverbote für bestimmte Dieselfahrzeuge. Die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um knapp 13 kt zurück, die Stickstoffoxid-Emissionen der Küsten- und Binnenschifffahrt um knapp 5 kt. Auch hier konnten Emissionsminderungen durch die Verschärfung von Emissionsgrenzwerten erreicht werden.

Abbildung 5: NO_x-Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



In der Energiewirtschaft gingen die NO_x-Emissionen im Zeitraum 2005-2020 um fast 75 kt zurück. Bis 2014 stiegen die NO_x-Emissionen der Energiewirtschaft durch einen zunehmenden Einsatz von Erdgas, Biogas und Biomasse. Seit 2014 sinken die NO_x-Emissionen vor allem durch den sinkenden Steinkohleverbrauch.

Bei Industrieprozessen – vor allem aufgrund von Minderungen in der Mineralischen Industrie, in der chemischen Industrie und in der Metallindustrie – gingen die Emissionen von 2005 bis 2020

um gut 47 kt zurück. Emissionsminderungen in der Zementindustrie sind vor allem auf einen verstärkten Einsatz von SCR-Anlagen und auf eine Absenkung der NO_x-Grenzwerte auf 200 mg/m³ für Neuanlagen zurückzuführen. Zudem haben Effizienzmaßnahmen in der Zement- und der Kalkindustrie zur Emissionsminderung beigetragen. Weitere Emissionsrückgänge in der Kalkindustrie sind auf den Einsatz von Abgasreinigungstechnologien (Selektive nicht-katalytische Reduktion, SCNR) und auf den Ersatz alter Öfen durch effizientere Öfen zurückzuführen. In der Glasindustrie konnten NO_x-Minderungen durch den Einsatz effizienterer Öfen und den Einsatz von Low-NO_x-Brennern sowie durch eine verstärkte sekundäre Minderung mittels selektiver katalytischer Reduktion (SCR) erreicht werden. Emissionsrückgänge in der Keramikindustrie sind dagegen eher produktionsbedingt.

Die Rückgänge in der chemischen Industrie sind vor allem auf eine Optimierung von Prozessen und dem verstärkten Einsatz von Abgasreinigungstechniken zurückzuführen. Als Meilensteine sind hier die Best Available Technique Reference Documents (BREFs) Large Volume Inorganic Chemicals (LVIC-AAF)¹⁰ und Manufacture of Organic Fine Chemicals (OFC)¹¹ zu nennen. Die Anforderungen aus den BREFs wurden in Deutschland in jeweils einer Vollzugsempfehlung¹² im Jahr 2015 und schließlich auch in der TA Luft¹³ umgesetzt.

In der Metallindustrie ist ein deutlicher Emissionsrückgang im Jahr 2020 zu verzeichnen, der auf einen Produktionsrückgang während der Corona-Pandemie zurückzuführen ist.

Emissionsreduktionen sind auch im Verarbeitenden Gewerbe (Minderung 2005-2020: rund 28 kt) und bei den Haushalten und Kleinverbrauchern (Minderung: gut 18 kt) zu verzeichnen. Die Minderung der NO_x-Emissionen bei den Haushalten und Kleinverbrauchern ist unter anderem auf einen Rückgang des Heizöleinsatzes zurückzuführen. Auch der Einsatz modernerer Kleinf Feuerungsanlagen führt zu geringeren Emissionen. Grundsätzlich sind bei den Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher jährliche Schwankungen zu beobachten, die abhängig sind vom winterlichen Wärmebedarf, von Brennstoffpreisen und der Menge an gelagerten Brennstoffen. Zu den Haushalten und Kleinverbrauchern werden auch mobile Quellen im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) (z.B. Gabelstapler) und in Haushalten (z.B. Rasenmäher und andere Gartengeräte), land- und forstwirtschaftliche Verkehre wie Traktoren und Erntemaschinen aber auch Boote der Fischereiwirtschaft gezählt. Diese mobilen Quellen – und hier vor allem landwirtschaftliche Fahrzeuge und Maschinen und Geräte im Bereich GHD – verursachen im Jahr 2005 etwa 34 % und im Jahr 2020 rund 29 % der NO_x-Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher. Bei den land- und forstwirtschaftlichen Verkehren und bei den mobilen Geräten und Maschinen im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen konnten die

¹⁰ Best Available Technique Reference Document Large Volume Inorganic Chemicals: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/large-volume-inorganic-chemicals>

¹¹ Best Available Technique Reference Document Manufacture of Organic Fine Chemicals: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/manufacture-organic-fine-chemicals>

¹² Vollzugsempfehlungen für bestimmte Anlagenarten zur Herstellung von anorganischen Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang (LVIC – AAF) vom 26.03.2015: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20150326_1503574892.pdf und Vollzugsempfehlungen für bestimmte Anlagenarten zur Herstellung von organischen Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang (OFC) vom 26.03.2015: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20150326_2_3_1503574958.pdf

¹³ Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm

NO_x-Emissionen in den vergangenen Jahren durch die Fortschreibung von Emissionsgrenzwerten für diese Maschinen und Geräte im Rahmen der Verordnung (EU) 2016/1628¹⁴ deutlich gesenkt werden. Fahrzeuge und mobile Maschinen des Baugewerbes werden zum verarbeitenden Gewerbe gezählt. Die NO_x-Emissionen der Baumaschinen haben sich im Zeitraum 2005 bis 2020 etwa halbiert. Auch diese Minderungen sind auf die Umsetzung strengerer Emissionsgrenzwerte der Verordnung (EU) 2016/1628 zurückzuführen.

Eine leichte Abnahme der NO_x-Emissionen um gut 8 kt im Zeitraum 2005-2020 ist in der Landwirtschaft – überwiegend aus landwirtschaftlichen Böden – zu verzeichnen. Die NO_x-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden sind hauptsächlich auf die Ausbringung von anorganischem Dünger und Gülle zurückzuführen. Da in den letzten Jahren die Düngemittelverkäufe und damit die Düngemittelausbringung zurückgegangen ist, reduzierten sich auch die NO_x-Emissionen.

NO_x-Emissionen aus der Landwirtschaft waren bei der Einhaltung der zulässigen Emissionshöchstmenge nach der alten NEC-Richtlinie 2001/81/EG¹⁵ (gültig bis 31.12.2019) und sind auch nach neuer NEC-Richtlinie nicht reduktionspflichtig.

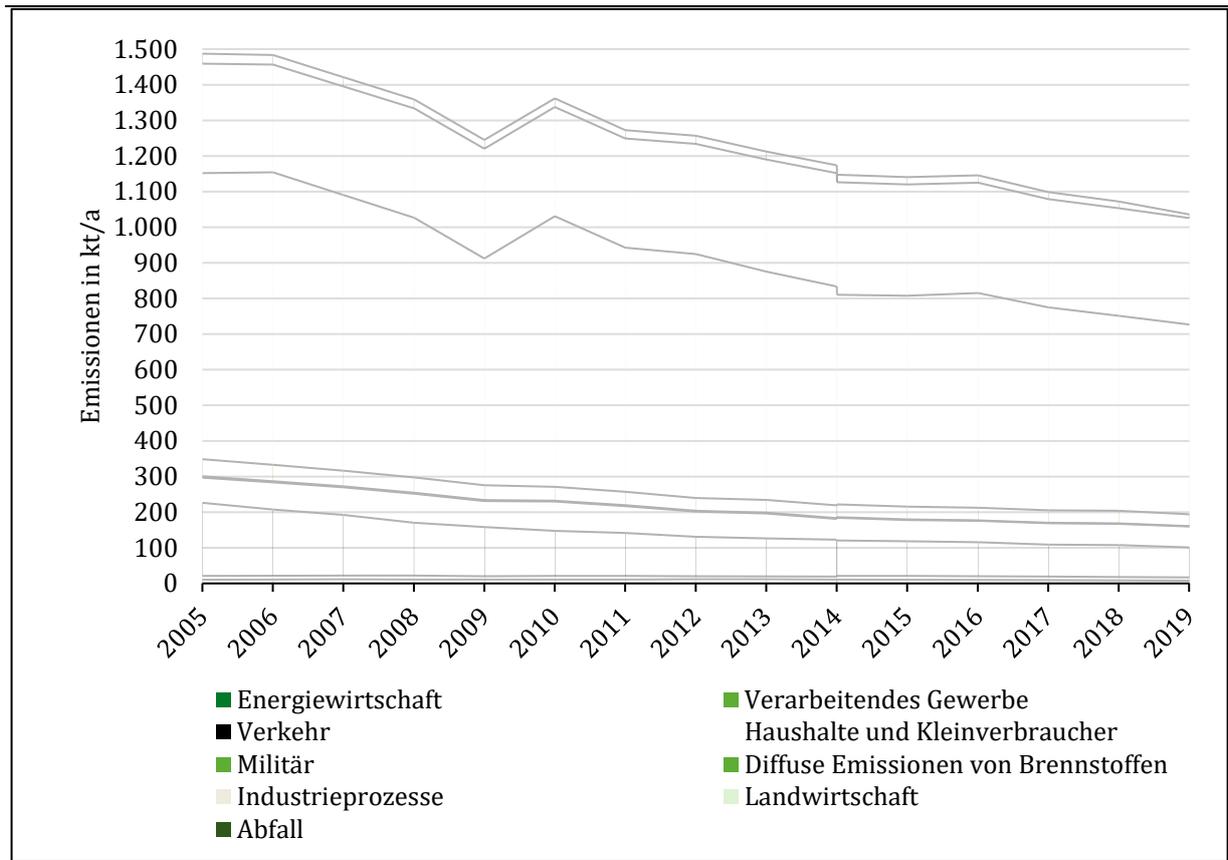
4.1.1.4 Entwicklung der NMVOC-Emissionen von 2005-2020

Hauptverursacher der NMVOC-Emissionen in Deutschland sind mit 54 % im Jahr 2005 und gut 51 % im Jahr 2020 Industrieprozesse, vor allem Lösemittelanwendungen, die unter der Quellgruppe „Nicht-energetische Produkte aus Brennstoffen“ zusammengefasst werden (Anteil an den Gesamtemissionen 2005: 51 %, 2020: 47 %). Weitere NMVOC-Quellen sind die Landwirtschaft (2005: 21 %, 2020: 29 %), der Verkehr (2005: 14 %, 2020: 8 %), Haushalte und Kleinverbraucher (2005: 5 %, 2020: 6 %) und diffuse Brennstoffemissionen (2005: 3 %, 2020: 3 %) (siehe Abbildung 6).

¹⁴ Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=DE>

¹⁵ Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32001L0081>.

Abbildung 6: Entwicklung der NMVOC-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022

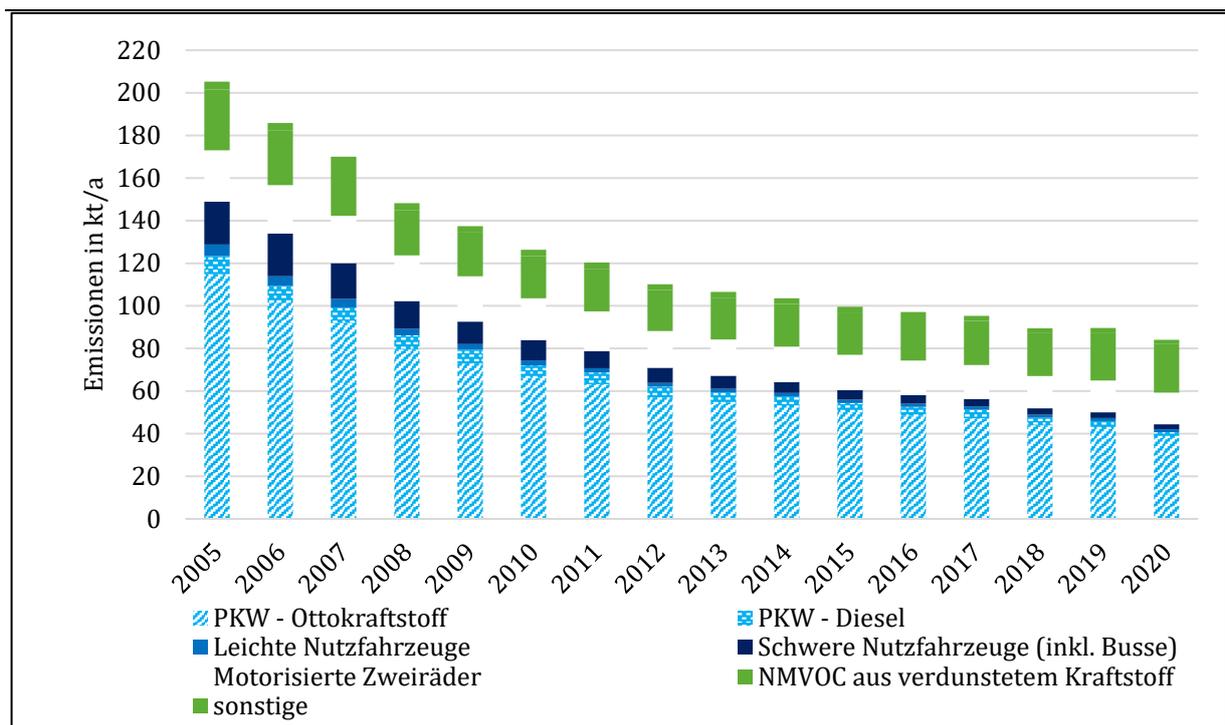


Im Zeitraum 2005-2020 konnten die gesamten deutschen NMVOC-Emissionen um gut 30 % gemindert werden, das entspricht gut 451 kt.

Dabei sind die deutlichsten Minderungen im Verkehr (Minderung um rund 121 kt) und hier vor allem im Straßenverkehr zu verzeichnen. NMVOC-Emissionen werden vor allem von Benzin-Pkw und motorisierten Zweirädern verursacht (siehe Abbildung 7). Durch die Weiterentwicklung von Katalysatoren vor allem bei Otto-Pkw konnten in den vergangenen Jahrzehnten aber deutliche NMVOC-Minderungen erzielt werden. Der Anteil der Benzin-Pkw im Fahrzeugbestand und die Fahrleistungen von Benzin-Pkw gingen zeitweise zurück, während der Anteil der Diesel-Pkw und deren Fahrleistungen zunahm. Diese Entwicklung führte ebenfalls zu einem Rückgang der NMVOC-Emissionen. Mittlerweile hat eine Trendumkehr bei den Neuzulassungen eingesetzt.

Eine weitere relevante NMVOC-Emissionsquelle ist die Verdunstung aus Fahrzeugtanks. Die Menge der durch Verdunstung aus den Fahrzeugtanks freigesetzten NMVOC nahm in den vergangenen Jahren um knapp 6 kt bzw. 20 % ab. Diese Minderungen konnten durch sorgfältiges Abdichten des Kraftstoffsystems und den Einbau von Aktivkohlefiltern im Tank erreicht werden.

Abbildung 7: NMVOC-Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



Die NMVOC-Emissionen aus Industrieprozessen nahmen im Zeitraum 2005 bis 2020 um rund 270 kt ab. Dieser Rückgang ist zu fast 100 % auf den Rückgang der Emissionen aus Lösemittel- und Produktanwendungen zurückzuführen. Regelungen zur Begrenzung von NMVOC-Emissionen aus Produktanwendungen auf EU-Ebene sind

- a) die Lösemittelrichtlinie 1999/13/EG¹⁶ (auch VOC-Richtlinie), die im Jahr 2010 in der IED-Richtlinie 2010/75/EU¹⁷ aufging, und
- b) die sogenannte DECOPAINT-Richtlinie 2004/42/EG¹⁸.

Die IED-Richtlinie umfasst im Bereich Produktanwendungen bestimmte Anlagenarten (u. a. Beschichtungsanlagen, Druckereien, Oberflächenreinigungsanlagen, Textilreinigung, Anlagen zur Umwandlung von Kautschuk und Anlagen zur Herstellung von Beschichtungsstoffen, Klebstoffen, Druckfarben und Arzneimitteln), in denen organische Lösemittel eingesetzt werden und deren jährlicher Lösemittelverbrauch bestimmte Schwellenwerte überschreitet. Die Umsetzung der Regelungen zu Produktanwendungen der IED-Richtlinie in deutsches Recht erfolgte durch

¹⁶ Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0013>.

¹⁷ Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32010L0075>.

¹⁸ Richtlinie 2004/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. April 2004 über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Farben und Lacken und in Produkten der Fahrzeugreparaturlackierung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32004L0042>.

die 31. BImSchV¹⁹ und die 2. BImSchV²⁰. Auch die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)²¹ legt für einzelne genehmigungsbedürftige Anlagen Emissionsbegrenzungen für NMVOC fest.

Die DECOPAINT-Richtlinie begrenzt stufenweise den Lösemittelgehalt in bestimmten Farben, Lacken und Beschichtungsstoffen (Stufe I seit dem 1.1.2007, Stufe II seit dem 1.1.2010). Die DECOPAINT-Richtlinie umfasst nur die Beschichtung fest eingebauter Bauprodukte (z.B. Türen, Fenster, Treppen, Heizkörper). Von der Geltung der Richtlinie ausgenommen sind Gegenstände wie Möbel, die nicht fest mit einem Gebäude verbunden sind. Die Richtlinie wurde mit der Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung²² in deutsches Recht umgesetzt. Bei der Anwendung von Farben und Lacken konnten die Emissionen vor allem durch die in der DECOPAINT-Richtlinie festgelegten Grenzwerte für den Lösemittelgehalt in Farben, Lacken und anderen Beschichtungsstoffen reduziert werden. Das deutsche Umweltzeichen „Blauer Engel“ unterstützte diese Entwicklung durch die Kennzeichnung von Produkten mit niedrigem Lösemittelgehalt.

Auch in der Druckindustrie sind Minderungen der NMVOC-Emissionen zu verzeichnen. Diese Minderungen konnten vor allem durch einen geringeren Einsatz von Isopropanol als Zusatzstoff für Feuchtmittel bei Druckanwendungen erreicht werden. Zudem beeinflussen Technologiewechsel (z. B. weniger Buchdruck, mehr Digitaldruck) die Emissionen dieser Quellgruppe.

Bei der privaten Nutzung lösemittelhaltiger Produkte nahmen die Emissionen aus einigen Produktgruppen (z. B. Anwendung von Deodorants) ab, in anderen Bereichen nahmen die NMVOC-Emissionen jedoch zu (z. B. bei der Anwendung von Haarspray und bei pharmazeutischen Produkten), so dass die Emissionen aus dieser Unterquellgruppe im Zeitraum 2005 bis 2020 insgesamt zunahmen.

Diffuse Emissionen aus Brennstoffen – vor allem aus flüssigen Brennstoffen – konnten im Zeitraum 2005 bis 2020 durch die Umsetzung von Grenzwerten der Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin²³ (20. BImSchV) und der Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen²⁴ (21. BImSchV) sowie der TA Luft um fast 15 kt reduziert werden. Insbesondere durch die Ausstattung von

¹⁹ 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_31/.

²⁰ Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen – 2. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_2_1990/BjNR026940990.html.

²¹ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_18082021_IGI25025005.htm.

²² Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke (Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung – ChemVOCFarbV): <https://www.gesetze-im-internet.de/chem-vocfarbv/index.html>.

²³ Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin – 20. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_20_1998/.

²⁴ Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen – 21. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_21/.

Tankstellen mit Gaspedel- und Gasrückführungssystemen konnten deutliche Minderungen der NMVOC-Emissionen erreicht werden. Auch eine Reduktion des Benzinverbrauchs trug zur Minderung der diffusen Brennstoffemissionen bei.

Die NMVOC-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen (Haushalte und Kleinverbraucher) gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um knapp 12 kt zurück. Diese Emissionsminderung ist ein Nebeneffekt der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV)²⁵. Durch eine Optimierung von Verbrennungsprozessen zur Staubminderung werden auch die NMVOC-Emissionen gemindert.

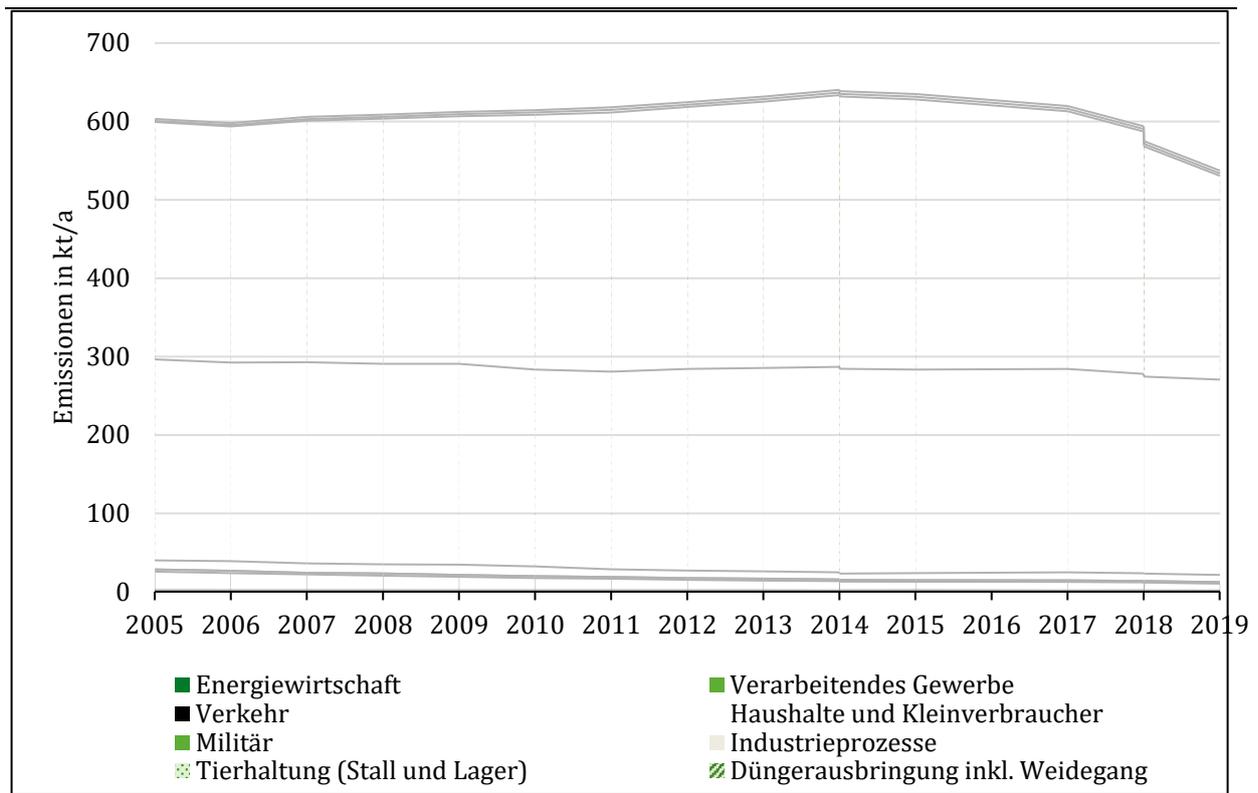
Die NMVOC-Emissionen aus der Landwirtschaft konnten im gleichen Zeitraum nur leicht (um gut 8 kt) gemindert werden. Landwirtschaftliche NMVOC-Emissionen stammen vor allem aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (vornehmlich aus der Rinderhaltung), und zu einem kleineren Teil aus der Getreideproduktion. NMVOC-Emissionen aus der Landwirtschaft waren bei der Einhaltung der zulässigen Emissionshöchstmenge nach alter NEC-Richtlinie 2001/81/EG (gültig bis 31.12.2019) und sind auch nach neuer NEC-Richtlinie nicht reduktionspflichtig.

4.1.1.5 Entwicklung der NH₃-Emissionen von 2005-2020

Hauptverursacher der gesamten deutschen NH₃-Emissionen ist mit einem Anteil von 93 % im Jahr 2005 und 95 % im Jahr 2020 die Landwirtschaft. Über die Hälfte (2005: 303 kt, 2020: 260 kt) der landwirtschaftlichen Ammoniak-Emissionen stammen aus der Ausbringung organischer Düngemittel (inklusive, aber weit nachrangig Weidegang), mineralischer Düngemittel und von Gärresten. Die übrigen Emissionen kommen vor allem aus dem Stall und aus Wirtschaftsdüngerlagern in der Tierhaltung. Eine weitere NH₃-Quelle ist der Verkehr mit einem Anteil an den gesamten NH₃-Emissionen von 4 % im Jahr 2005 und knapp 2 % im Jahr 2020, hier vor allem Benzin-Pkws, bei denen Ammoniak als Nebenprodukt in Drei-Wege-Katalysatoren gebildet wird. Dieselmotoren emittieren dagegen wegen des höheren Luftüberschusses weniger NH₃ als Ottomotoren. Ammoniak wird auch bei Industrieprozessen freigesetzt (Anteil der NH₃-Emissionen aus Industrieprozessen an den gesamten NH₃-Emissionen: 2005: 2 %, 2020: 2 %), vor allem bei der Düngemittel-, Ammoniak- und Salpetersäureproduktion und bei der Verwendung von Kühlmitteln (siehe Abbildung 8).

²⁵ Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/.

Abbildung 8: Entwicklung der NH₃-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



Im Zeitraum 2005 bis 2020 nahmen die gesamten deutschen Ammoniak-Emissionen um knapp 11 % ab. Dabei nahmen die Emissionen bis 2014 zunächst zu, erst ab dem Jahr 2015 ist ein Emissionsrückgang zu verzeichnen. Die Emissionszunahme bis 2014 ist vor allem auf den Anstieg der Ausbringung von Gärresten aus der Vergärung von Energiepflanzen in Biogasanlagen zurückzuführen. Bei der Mineraldüngerausbringung ist der steigende Anteil des Harnstoffs, mit vergleichsweise hohen Emissionsfaktoren, für steigende Emissionen verantwortlich. In den letzten Jahren ist der Absatz von Düngemitteln jedoch deutlich zurückgegangen. Auch die Tierzahlen sind bei Schweinen und Rindern rückläufig. Einen weiteren Beitrag leisten die Änderungen im Düngerecht (insb. DüV 2017 und DüV 2020). Seit 2017 hat daher ein deutlich rückläufiger Trend bei den NH₃-Emissionen eingesetzt.

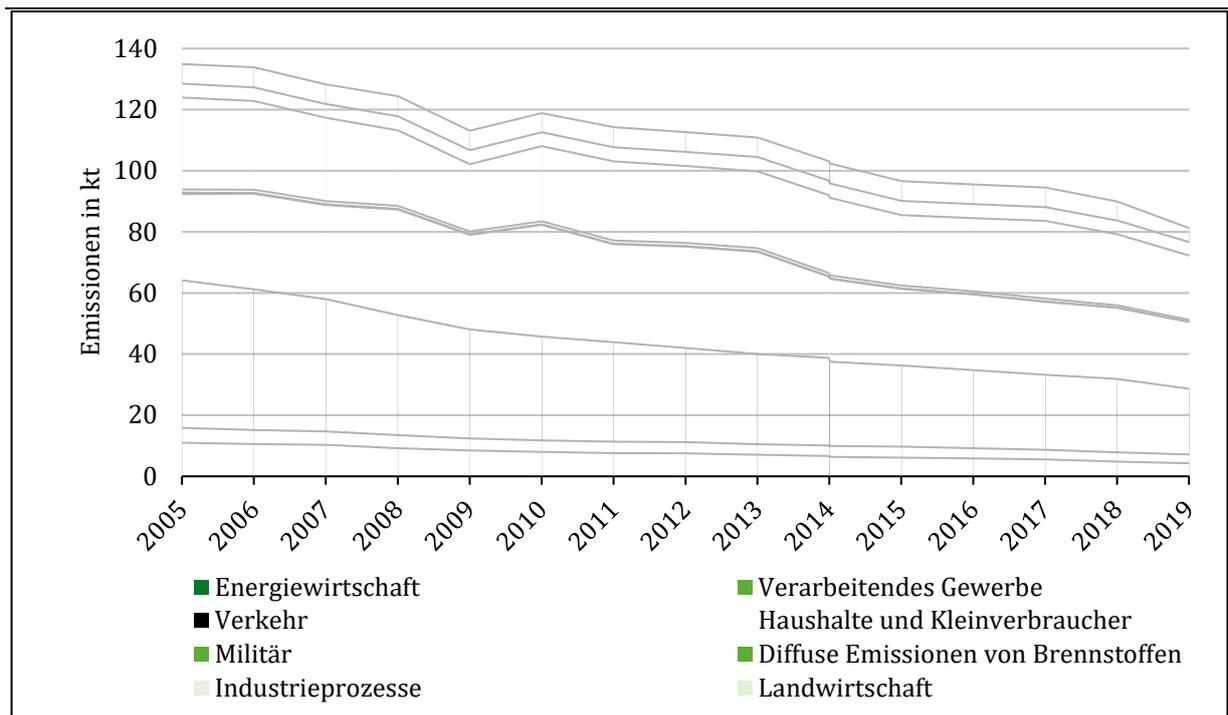
Im Zeitraum 2005 bis 2020 ist ein Anstieg der Geflügelzahlen zu verzeichnen. Die Zahlen der Milchkühe und der übrigen Rinder sowie der Schafe sind dagegen rückläufig. Bei Schweinen, Ziegen und Pferden ist seit 2005 kein eindeutiger Trend zu beobachten. Insgesamt gingen die Ammoniak-Emissionen aus Stall und Lager leicht zurück (Minderung von gut 7 kt).

Im Verkehrsbereich ist eine Abnahme der Ammoniak-Emissionen um 15 kt zu verzeichnen. Dieser Rückgang konnte durch die technische Optimierung der Katalysatoren in Benzinfahrzeugen erreicht werden. Auch die zeitweilige Zunahme des Dieselanteils bei Pkw im Fahrzeugbestand führte zu einem Rückgang der NH₃-Emissionen des Verkehrs.

4.1.1.6 Entwicklung der PM_{2,5}-Emissionen von 2005-2020

Die Hauptquellen für primäre PM_{2,5}-Emissionen in Deutschland sind der Verkehr (Anteil an den Gesamtemissionen: 2005: 36 %, 2020: 27 %), Industrieprozesse (2005: 22 %, 2020: 26 %) sowie Haushalte und Kleinverbraucher (2005: 21 %, 2020: 27 %). Weitere relevante Quellen sind die Energiewirtschaft (Emissionsanteil 2005: 8 %, 2020: 5 %), die Abfallwirtschaft (2005: 5 %, 2020: 6 %), das Verarbeitende Gewerbe (2005: 4 %, 2020: 4 %) und die Landwirtschaft (2005: 3 %, 2020: 5 %) (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Entwicklung der PM_{2,5}-Emissionen von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



Die gesamten deutschen PM_{2,5}-Direktemissionen gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um fast 40 % zurück, das entspricht etwa 54 kt. Deutliche Minderungen sind vor allem im Verkehr zu verzeichnen (Minderung der primären PM_{2,5}-Emissionen des gesamten Verkehrs im Zeitraum 2005 bis 2020: knapp 27 kt, im Straßenverkehr gut 24 kt). PM_{2,5}-Auspuff-Emissionen stammen vor allem aus Diesel-Fahrzeugen (Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge). Die Emissionen aus dem Abrieb von Reifen und Bremsbelägen sowie aus dem Straßenabrieb spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Während die primären PM_{2,5}-Emissionen aus dem Antrieb der Fahrzeuge durch die stetige Verschärfung von Emissionsgrenzwerten (Euro-Normen) für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge und durch die damit einhergehende Flottenmodernisierung im Zeitraum 2005 bis 2020 um mehr als 80 % gemindert werden konnten, war ein entsprechender Rückgang der Emissionen aus dem Abrieb (Reifen-, Bremsbelag- und Straßenabrieb) nicht ersichtlich, sodass ihr relativer Anteil zunahm. Während die Abriebemissionen im Jahr 2005 etwa 26 % der Emissionen des Straßenverkehrs ausmachten, waren es im Jahr 2020 rund 65 %.

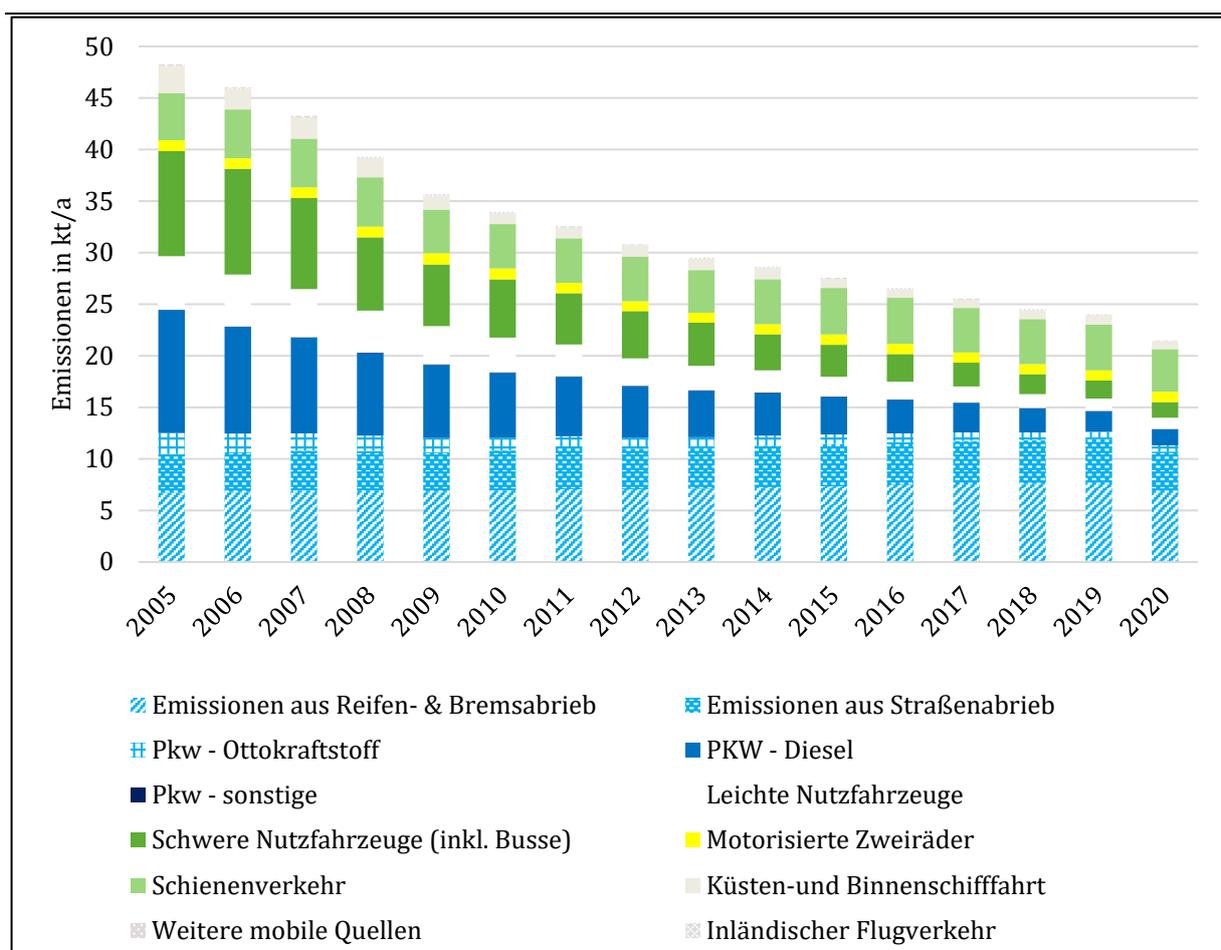
Im Schienenverkehr werden neben den PM_{2,5}-Emissionen aus dem Antrieb seit der Berichterstattung 2018 auch die Emissionen aus dem Abrieb von Bremsen, Schienen und Oberleitungen

berichtet. Die Emissionen dieser Unterquellgruppe haben sich in den vergangenen Jahren kaum verändert.

Die PM_{2,5}-Emissionen aus der Küsten- und Binnenschifffahrt konnten in den vergangenen Jahren durch die Umsetzung von Emissionsgrenzwerten für Schiffe gesenkt werden.

Eine Übersicht über die PM_{2,5}-Emissionen des Verkehrs ist in Abbildung 10 dargestellt.

Abbildung 10: PM_{2,5}-Emissionen des Verkehrs von 2005-2020 in Deutschland (in kt/a) gemäß Emissionsberichterstattung 2022



Die PM_{2,5}-Emissionen der Industrieprozesse – vor allem in der Metall- und in der Mineralischen Industrie – gingen im Zeitraum 2005 bis 2020 um etwa 9 kt zurück.

Minderungen der PM_{2,5}-Emissionen gab es auch in der Energiewirtschaft (Minderung: knapp 7 kt) und im Verarbeitenden Gewerbe (Minderung: 2 kt). Diese Minderungen sind vor allem auf die Umsetzung der Emissionsgrenzwerte der 13. BImSchV²⁶ zurückzuführen. Weitere Emissionsreduktionen in den Jahren 2019 und 2020 sind eine Folge des sinkenden Kohleverbrauchs.

Bei den Haushalten und Kleinverbrauchern konnten die PM_{2,5}-Emissionen um gut 6 kt im Zeitraum 2005 bis 2020 gemindert werden. Zwar nahm der Einsatz von Brennholz zu Heizzwecken

²⁶ Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen), Stand 06.07.2021: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_13_2021/index.html.

in den vergangenen Jahren sehr deutlich zu, durch die Umsetzung der anspruchsvollen Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV²⁷ für Kleinfeuerungen sowohl im privaten als auch im gewerblichen Bereich konnten die PM_{2,5}-Emissionen aber insgesamt reduziert werden.

4.1.2 Einhaltung gültiger Emissionsreduktionsverpflichtungen

Tabelle 11: Einhaltung gültiger Emissionsreduktionsverpflichtungen

Schadstoffe	Gesamtemissionen (kt), in Übereinstimmung mit den Inventaren für das Jahr x-3 (2022 ²⁸)		Emissionsreduktion in % gegenüber 2005	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung für 2020-2029 (in %)	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung ab 2030 (in %)
	Basisjahr 2005	2020	2020		
SO _x (als SO ₂)	473	233	50,8	21	58
NO _x (als NO ₂)	1632	979		-	-
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	1515	871	42,5	39	65
NMVOC	1487	1036		-	-
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	1180	737	37,5	13	28
NH ₃	603	537	10,9	5	29
PM _{2,5}	135	81	39,8	26	43

Die Emissionsberichterstattung 2022 zeigt die Einhaltung der nationalen Emissionsreduktionsverpflichtungen für Deutschland gemäß NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 für alle Luftschadstoffe in 2020 in Bezug auf das Referenzjahr 2005 (vgl. Tabelle 11 sowie

Tabelle 3 und Tabelle 10).

Für flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) wird im Jahr 2020 bereits die Emissionsreduktionsverpflichtung ab 2030 erfüllt.

Auch gemäß Emissionsberichterstattung 2023²⁹ liegt eine Einhaltung sämtlicher Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 in den Berichtsjahren 2020 und 2021 vor. In

²⁷ Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV): https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/.

²⁸ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envygij4g/

²⁹ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envzbclgw/

2021 liegen die berichteten Emissionen für sämtliche Schadstoffe unterhalb des indikativen linearen Reduktionspfades.

4.2 Mit den derzeitigen Strategien und Maßnahmen erzielte Fortschritte bei der Verbesserung der Luftqualität; Umfang der Einhaltung von nationalen und Unionsverpflichtungen in Bezug auf die Luftqualität

4.2.1 Methodik zur Beurteilung der Entwicklung der Luftqualität

Die Beurteilung der Entwicklung der Luftqualität erfolgt in Anlehnung an die Inhalte der jährlichen Berichte zur Luftqualität an die Europäische Kommission gemäß Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG sowie die Inhalte der jährlichen Auswertung der Entwicklung der Luftqualität des Umweltbundesamtes zur Information der Öffentlichkeit.

Die Luftqualitätsrichtlinie regelt die Beurteilung der Luftqualität für das gesamte Staatsgebiet jedes Mitgliedstaates. Dabei erfolgt die Unterteilung in Ballungsräume und einzelne Gebiete. Messungen finden hauptsächlich dort statt, wo die höchste Belastung für Menschen zu erwarten ist. In Ballungsräumen mit mehr als 250.000 Einwohnerinnen und Einwohnern und in Gebieten, in denen sich die Konzentrationen den festgelegten Grenzwerten nähern, besteht die Pflicht, die Qualität der Luft durch Messungen zu beobachten. Liegen die Konzentrationen unterhalb definierter Schwellen, können auch orientierende (also beispielsweise weniger häufig stattfindende) Messungen, Modellrechnungen, objektive Schätzungen oder Emissionskataster zur Beurteilung herangezogen werden. Seit dem Jahr 2014 (Beurteilungsjahr 2013) werden sowohl die Ergebnisse als auch Informationen zu den Luftmessstationen und die validierten Einzelwerte gemäß den Anforderungen des Kommissionsbeschlusses 2011/850/EU im neuen E-Reporting-Format übermittelt. Alle Berichte Deutschlands sind auf den Seiten der Europäischen Umweltagentur öffentlich verfügbar:

<http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/aqd>

In den folgenden Kapiteln werden angelehnt an das Format und die Inhalte der Berichterstattung Auswertungen zur Entwicklung der Luftqualität luftschadstoffspezifisch vorgenommen. Dabei werden jeweils die Immissionstrends gemittelt über alle Stationen eines Stationstyps, für die eine ausreichend lange Zeitreihe vorliegt, dargestellt und ergänzt durch Konzentrationskarten. Im Unterschied zu den Karten mit gebietsbezogenen Grenz- oder Zielwertüberschreitungen werden in diesen Karten für die Schadstoffe Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon gebietsunabhängig die Messwerte kombiniert mit Modellergebnissen dargestellt. Diese Darstellung stellt eine Einschätzung der räumlichen Verteilung der Luftschadstoffkonzentrationen bereit und ist über einen interaktiven Kartendienst öffentlich verfügbar:

https://gis.uba.de/maps/resources/apps/lu_schadstoffbelastung/index.html?lang=de

Zusätzlich erfolgt eine Einschätzung zur Überschreitungssituation ebenfalls gegliedert nach Schadstoffen anhand des Anteils der Messstationen mit Überschreitung von Grenz- oder Zielwerten sowie anhand einer gebietsbezogenen Beurteilung. Zum besseren Überblick dient jeweils eine Karte, in der alle Gebiete mit Grenz- oder Zielwertüberschreitung rot eingefärbt sind. Dies bedeutet aber nicht, dass das ganze Gebiet von zu hohen Schadstoffkonzentrationen betroffen ist, denn bereits wenn eine einzige Station den Grenzwert überschreitet, wird das gesamte Beurteilungsgebiet rot eingefärbt.

Im Folgenden wird ein Überblick gegeben, in welchen Gebieten oder Ballungsräumen die Schadstoffkonzentrationen in der Luft einen Grenz- oder Zielwert überschritten haben. Den Auswertungen liegen Daten und Informationen aus 16 Bundesländern und dem Messnetz des Umweltbundesamtes zugrunde. Eine detaillierte Auswertung der Daten lag bei Erstellung des nationalen Luftreinhalteprogrammes nur bis 2020 vor, daher beziehen sich die Abbildungen auf Zeiträume bis 2020.

4.2.2 Entwicklung der NO₂-Konzentration 2005 bis 2020

Die verkehrsnahe, innerstädtische Stickstoffdioxidbelastung zeigt seit 2005 einen deutlichen Rückgang. Und liegt 2020 im Mittel deutlich unter 40 µg/m³. Die Höhe der Belastung ist vor allem durch lokale Emissionsquellen – insbesondere durch den Verkehr in Ballungsräumen – bestimmt und weist nur geringe zwischenjährliche Schwankungen auf. Im Bereich des städtischen Hintergrundes und an industrienahen Messstationen, wo der Verkehr nicht die dominante, sondern eine Quelle neben anderen wesentlichen Verursachern wie der Energiewirtschaft und der Industrie ist, sind die mittleren Konzentrationen seit 2005 von ca. 25 µg/m³ auf ca. 16 µg/m³ zurückgegangen. Die zugehörigen Stationswerte lagen und liegen bis auf wenige Ausnahmen sicher unterhalb des Grenzwertes. Im ländlichen Bereich, fernab typischer NO_x-Emissionsquellen, fällt der Rückgang geringer aus, typischerweise liegen die Konzentrationen hier im Bereich um 10 µg/m³ (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen NO₂-Konzentrationen

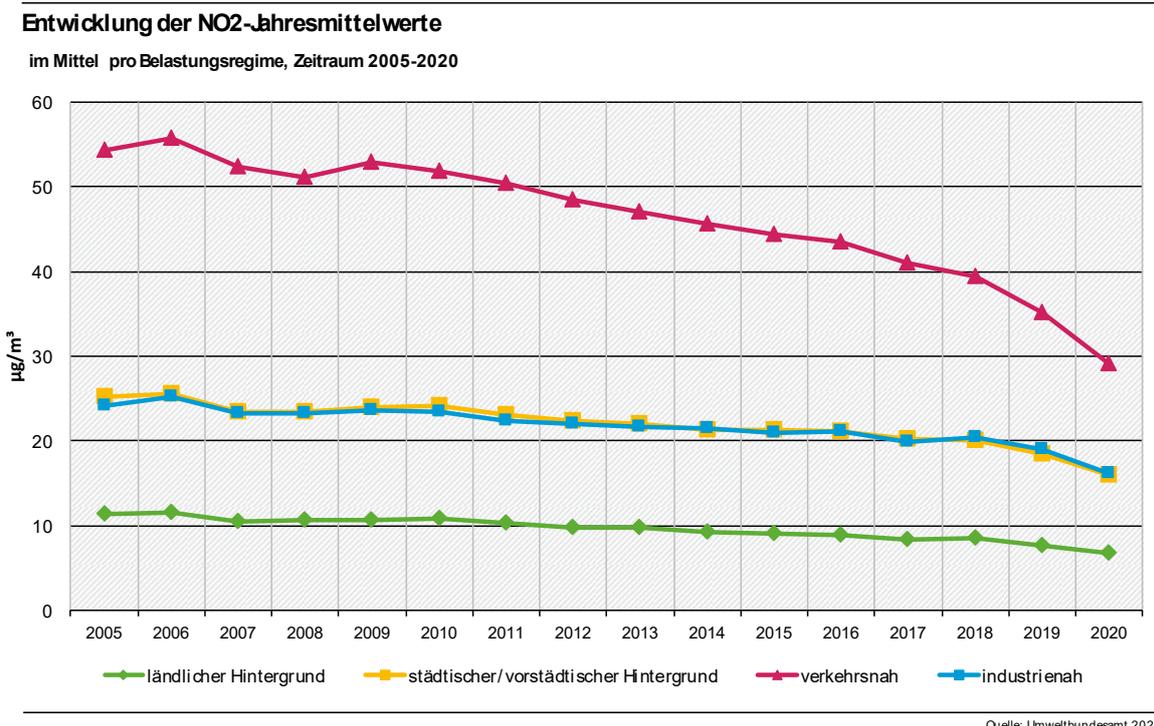
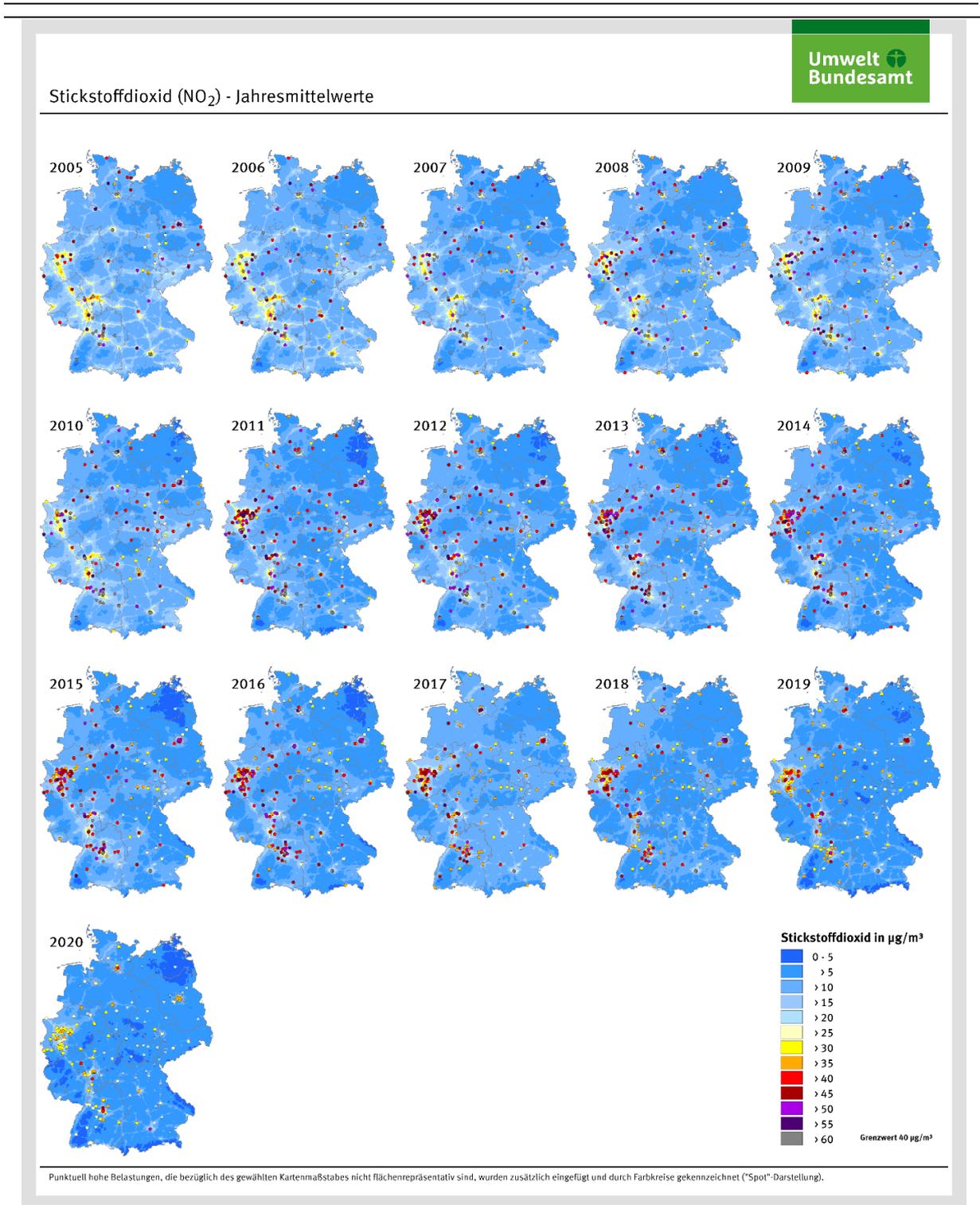


Abbildung 12 stellt die räumlich aufgelöste Belastung durch NO₂ im Jahresmittel von 2005 bis 2020 dar. Die Konzentrationen in der Fläche wurden auf Basis der Daten des Emissionsinventares mittels eines Chemie-Transport-Modelles modelliert. Dabei wurden die Messwerte der Hintergrundstationen per Optimaler Interpolation (Flemming und Stern, 2004) einbezogen. Zusätzlich sind die an verkehrsnahen Stationen gemessenen Jahresmittelwerte als Punktinformationen

dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass erhöhte NO₂-Werte in der Fläche vor allem in dichtbesiedelten Ballungsräumen und an Verkehrswegen auftraten. Die Werte in der Fläche Deutschlands sind im Ergebnis dieser Auswertung deutlich zurückgegangen, die Werte der verkehrsnahen Punktmessungen lagen zum großen Teil über dem Grenzwert, teilweise waren die Überschreitungen erheblich.

Abbildung 12: Modellierter Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen NO₂-Konzentrationen mit Punktinformationen der Messwerte der verkehrsnahen Stationen



4.2.2.1 NO₂-Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert (40 µg/m³)

Die Überschreitungssituation wurde seit Inkrafttreten des Grenzwertes im Jahr 2010 betrachtet. Deutlich wird, dass Überschreitungen des NO₂-Jahresgrenzwertes nahezu ausschließlich an verkehrsnahen Stationen registriert wurden. Der Anteil der betroffenen verkehrsnahen Stationen ist dabei von über 70 % im Jahr 2010 auf knapp 3 % im Jahr 2020 gesunken³⁰. Sehr vereinzelt gab es in den Jahren 2010 bis 2014 Überschreitungen des Jahresgrenzwertes an Stationen im städtischen Hintergrund (siehe Tabelle 12). Einhergehend mit dem Rückgang der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Stationen, hat der Anteil betroffener Gebiete und Ballungsräume seit 2010 von 66 % auf 6 % im Jahr 2020 abgenommen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 12: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des NO₂-Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	0 / 70	0 / 72	0 / 73	0 / 73	0 / 74	0 / 75	0 / 74	0 / 74	0 / 75	0 / 75	0 / 75
städt./vorstädt. Hintergrund	2 / 179	1 / 174	1 / 171	1 / 176	1 / 177	0 / 174	0 / 174	0 / 173	0 / 175	0 / 177	0 / 176
verkehrsnah	163 / 219	172 / 229	170 / 244	168 / 250	148 / 238	142 / 244	145 / 246	113 / 252	109 / 260	51 / 253	7 / 259
industrienah	0 / 21	0 / 21	0 / 20	0 / 23	0 / 24	0 / 25	0 / 25	0 / 27	0 / 26	0 / 26	0 / 24

³⁰ Im Jahr 2021 wurde an rund 1% der verkehrsnahen Stationen der NO₂-Jahresgrenzwert überschritten.

Abbildung 13: Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für NO₂ nach Beurteilungsgebieten (Jahresmittelwert)

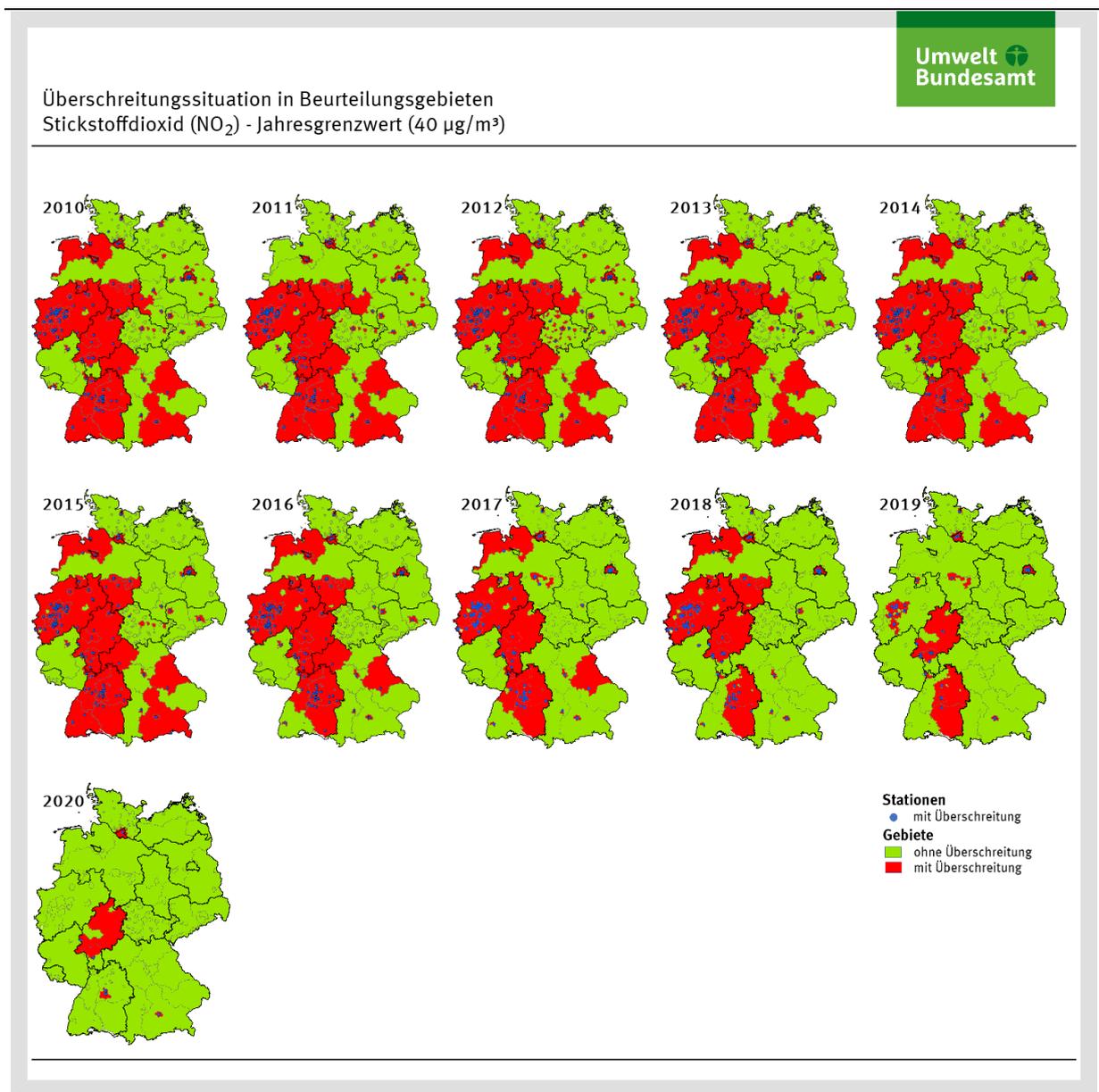


Tabelle 13: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete (Anzahl) mit Überschreitung des zulässigen NO₂-Jahresmittelwertes

Anteil Beurteilungsgebiete mit Grenzwertüberschreitung - Jahresmittel	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	66 %	67 %	69 %	62 %	56 %	56 %	57 %	40 %	38 %	23 %	6 %

4.2.2.2 NO₂-Überschreitungssituation – Stundengrenzwert (200 µg/m³ nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr)

Überschreitungen des Stundengrenzwertes traten seit Inkrafttreten im Jahr 2010 nur vereinzelt auf, durchgängig an weniger als 6 % der verkehrsnahen Stationen und an einer industrienahen

Station im Jahr 2012. Seit 2017 wurde keine Überschreitung des Stundengrenzwertes mehr registriert (siehe Tabelle 14 und Tabelle 15). Die gebietsbezogene Auswertung zeigt, dass die Überschreitungen (wenn auch rückläufig) ein lokales Problem nahezu derselben Gebiete und Ballungsräume waren (siehe Abbildung 14).

Tabelle 14: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des NO₂-Stundengrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	0 / 70	0 / 72	0 / 70	0 / 66	0 / 74	0 / 75	0 / 74	0 / 74	0 / 75	0 / 75	0 / 75
städt./vorstädt. Hintergrund	0 / 176	0 / 171	0 / 169	0 / 170	0 / 173	0 / 171	0 / 172	0 / 170	0 / 170	0 / 172	0 / 171
verkehrsnahe	7 / 139	7 / 134	4 / 133	4 / 126	3 / 132	5 / 129	2 / 128	0 / 128	0 / 128	0 / 128	0 / 124
industrienah	0 / 21	0 / 21	1 / 20	0 / 23	0 / 24	0 / 25	0 / 25	0 / 27	0 / 26	0 / 26	0 / 24

Abbildung 14: Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für NO₂ nach Beurteilungsgebieten (Stundenmittelwert)

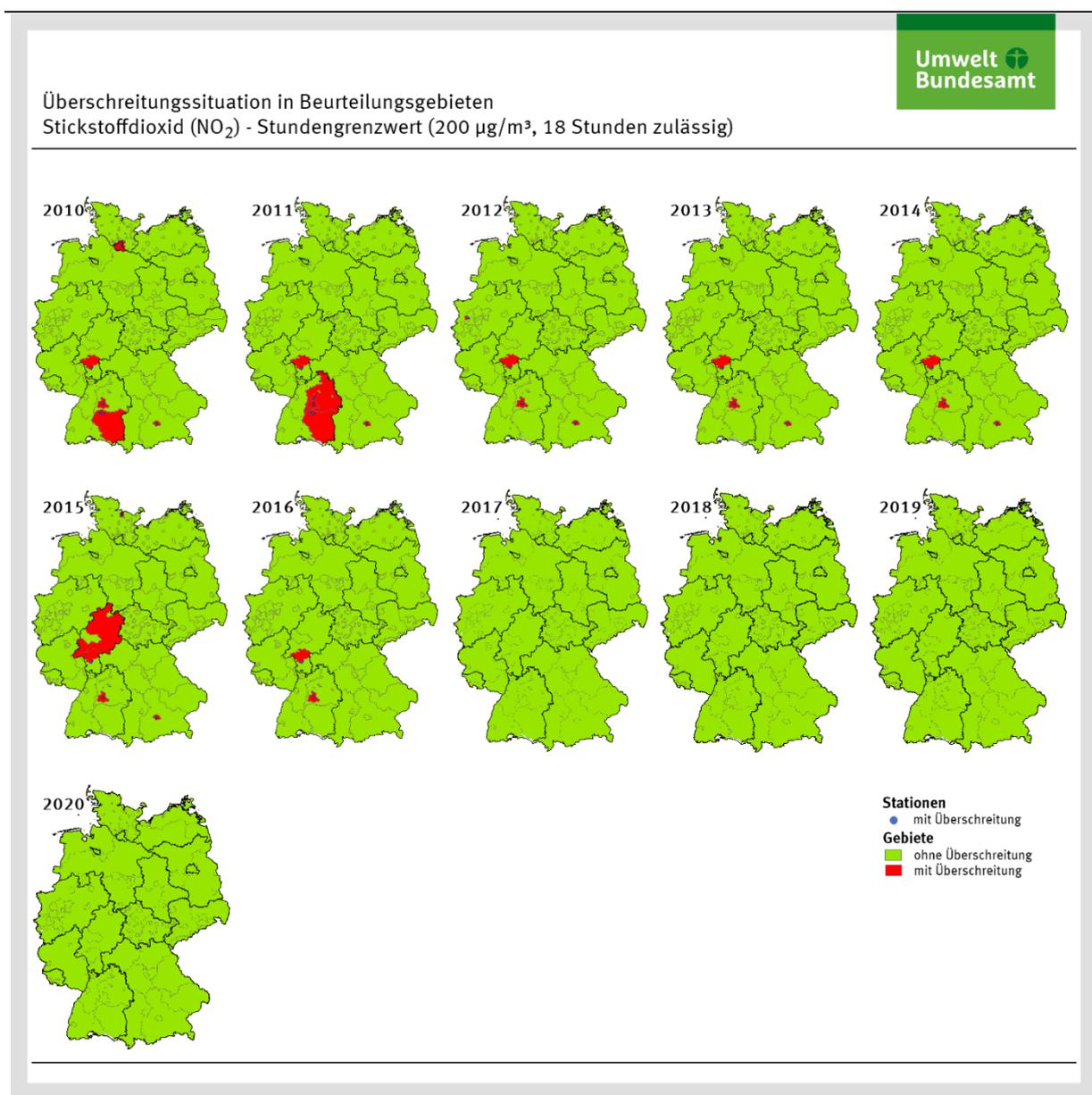


Tabelle 15: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen NO₂-Stundenmittelwertes

Anteil Beurteilungsgebiete mit Grenzwertüberschreitung - Stundenmittel	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	6 %	6 %	5 %	3 %	3 %	4 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %

4.2.3 Entwicklung der PM₁₀-Konzentration 2005 bis 2020

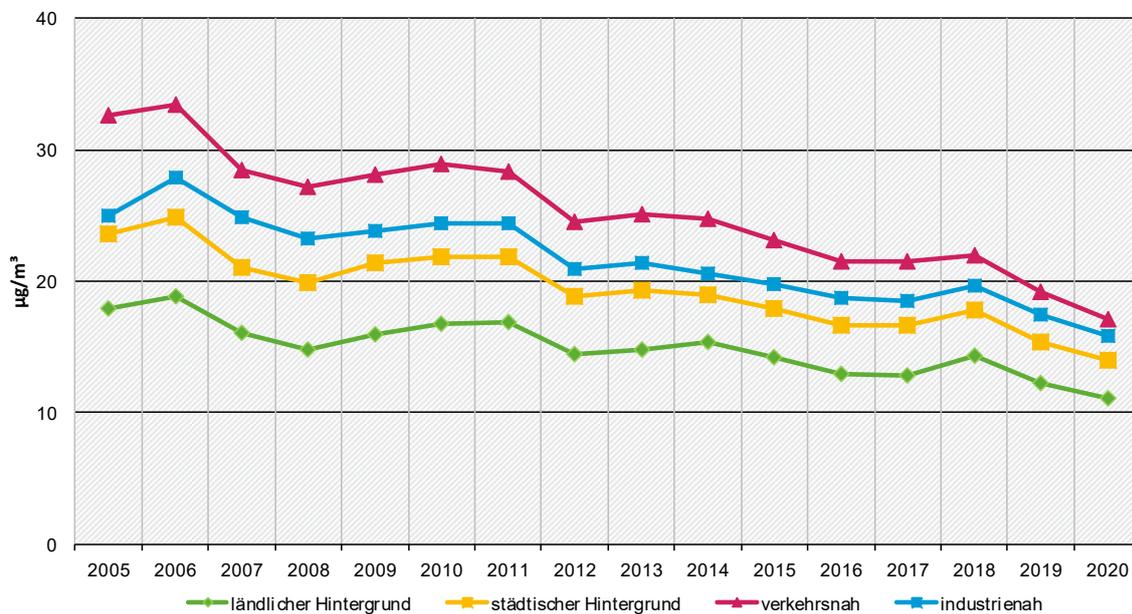
Einhergehend mit großräumigen und lokalen Minderungen der direkten PM₁₀-Emissionen sowie von Vorläufergasen der sekundären Feinstaubbildung in der Atmosphäre weisen auch die gemessenen PM₁₀-Konzentrationen aller Stationstypen im Zeitraum 2005 bis 2020 eine deutliche

Abnahme auf (siehe Abbildung 15). Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährliche Schwankungen geprägt, die vor allem auf unterschiedliche Witterungsverhältnisse zurückzuführen sind. Neben der Stärke der Emissionsquellen hängt insbesondere die Feinstaubbelastung der bodennahen Luftschicht wesentlich von meteorologischen Bedingungen ab. So bestimmen Strömungsrichtung und Windgeschwindigkeit, ob Feinstaub ab- oder herantransportiert wird, die Schichtung der Atmosphäre sorgt für eine Verdünnung oder Anreicherung. Auch die Richtung, aus der die Luftmassen herantransportiert werden, spielt für die Feinstaubbelastung eine wichtige Rolle. So führen beispielsweise häufig Ostwetterlagen in Verbindung mit austauscharmen atmosphärischen Bedingungen zu erhöhten Feinstaubkonzentrationen, insbesondere in den östlichen Bundesländern.

Abbildung 15: Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM₁₀-Konzentrationen

Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte

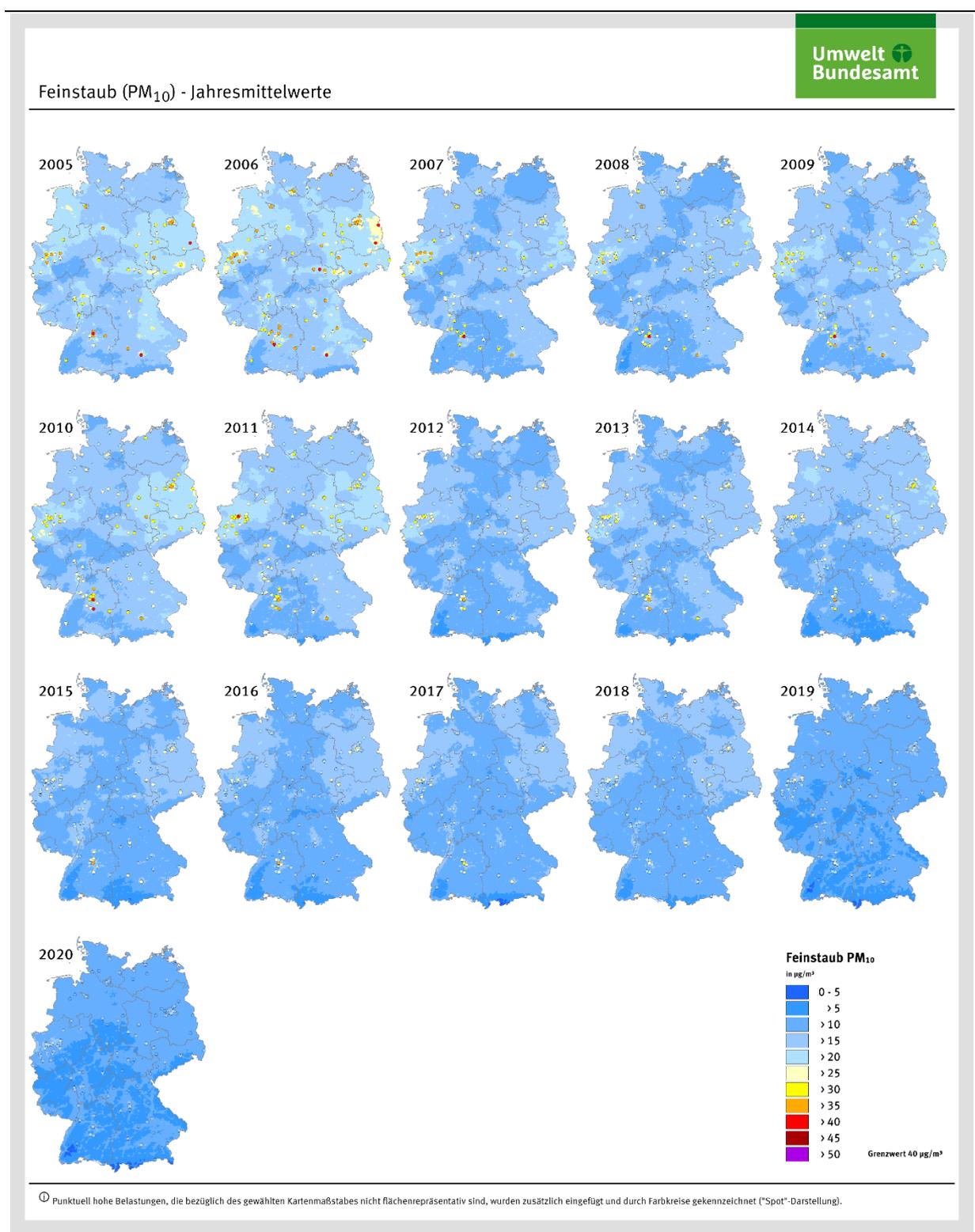
im Mittel pro Belastungsregime, Zeitraum 2005-2020



Quelle: Umweltbundesamt 2022

Die Darstellung der räumlichen Belastung durch PM₁₀ in Abbildung 16 (erstellt aus einer Kombination aus Messungen und Modellrechnungen) der vergangenen Jahre zeigt auf, dass die Konzentrationen über die gesamte Fläche Deutschlands zurückgegangen sind. Lokal höhere Werte, gemessen an verkehrsnahen Stationen sind dargestellt als Punkte. Seit 2012 liegen alle Konzentrationswerte (in der Fläche und an den Punkten) unterhalb des Jahresgrenzwertes.

Abbildung 16: Modellierte Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM₁₀-Konzentrationen mit Punktinformationen der Messwerte der verkehrs- und industrienahen Stationen



4.2.3.1 PM₁₀-Überschreitungssituation – Tagesgrenzwert (50 µg/m³ nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr)

Gemessene Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ traten während Feinstaubepisoden oder an von speziellen Ereignissen wie Silvesterfeuerwerk geprägten Tagen flächenhaft und damit an allen Stationstypen auf. An mehr als 35 Tagen im Jahr passierte dies zumeist an verkehrsnahen und industrienahen Stationen, wo zu der grundsätzlichen Belastung im Hintergrund noch die unmittelbare Belastung durch den Straßenverkehr bzw. Industrieanlagen hinzukommt.

Die Zahl der von Überschreitungen des Tagesgrenzwertes betroffenen Stationen ging seit Inkrafttreten des Grenzwertes 2005 deutlich zurück, seit 2019 gibt es in ganz Deutschland keine Überschreitung mehr (siehe Tabelle 16).

Einhergehend mit dem Rückgang der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Stationen, hat der Anteil betroffener Gebiete und Ballungsräume an der Gesamtzahl der Beurteilungsgebiete seit 2005 von über 30 % auf 0 % im Jahr 2020 abgenommen (siehe Abbildung 17 und Tabelle 17).

Tabelle 16: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des PM₁₀-Tagesgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ländlicher Hintergrund	0 / 69	0 / 66	0 / 64	0 / 63	0 / 61	1 / 62	0 / 61	0 / 60
städt./vorstädt. Hintergrund	1 / 181	10 / 180	0 / 172	0 / 174	0 / 176	5 / 169	6 / 161	0 / 158
verkehrsnah	52 / 120	85 / 153	33 / 166	16 / 156	30 / 151	50 / 147	65 / 146	9 / 137
industrienah	7 / 33	7 / 29	4 / 28	1 / 34	3 / 35	5 / 38	9 / 37	2 / 36
Stationstyp	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	0 / 61	0 / 60	0 / 62	0 / 63	0 / 65	0 / 64	0 / 63	0 / 65
städt./vorstädt. Hintergrund	0 / 157	0 / 156	0 / 154	0 / 154	0 / 155	0 / 155	0 / 157	0 / 157
verkehrsnah	11 / 135	10 / 130	3 / 124	1 / 126	1 / 123	0 / 122	0 / 123	0 / 118
industrienah	0 / 35	0 / 35	0 / 34	0 / 33	0 / 34	1 / 33	0 / 33	0 / 32

Abbildung 17: Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für PM₁₀ nach Beurteilungsgebieten (Tagesmittelwert)

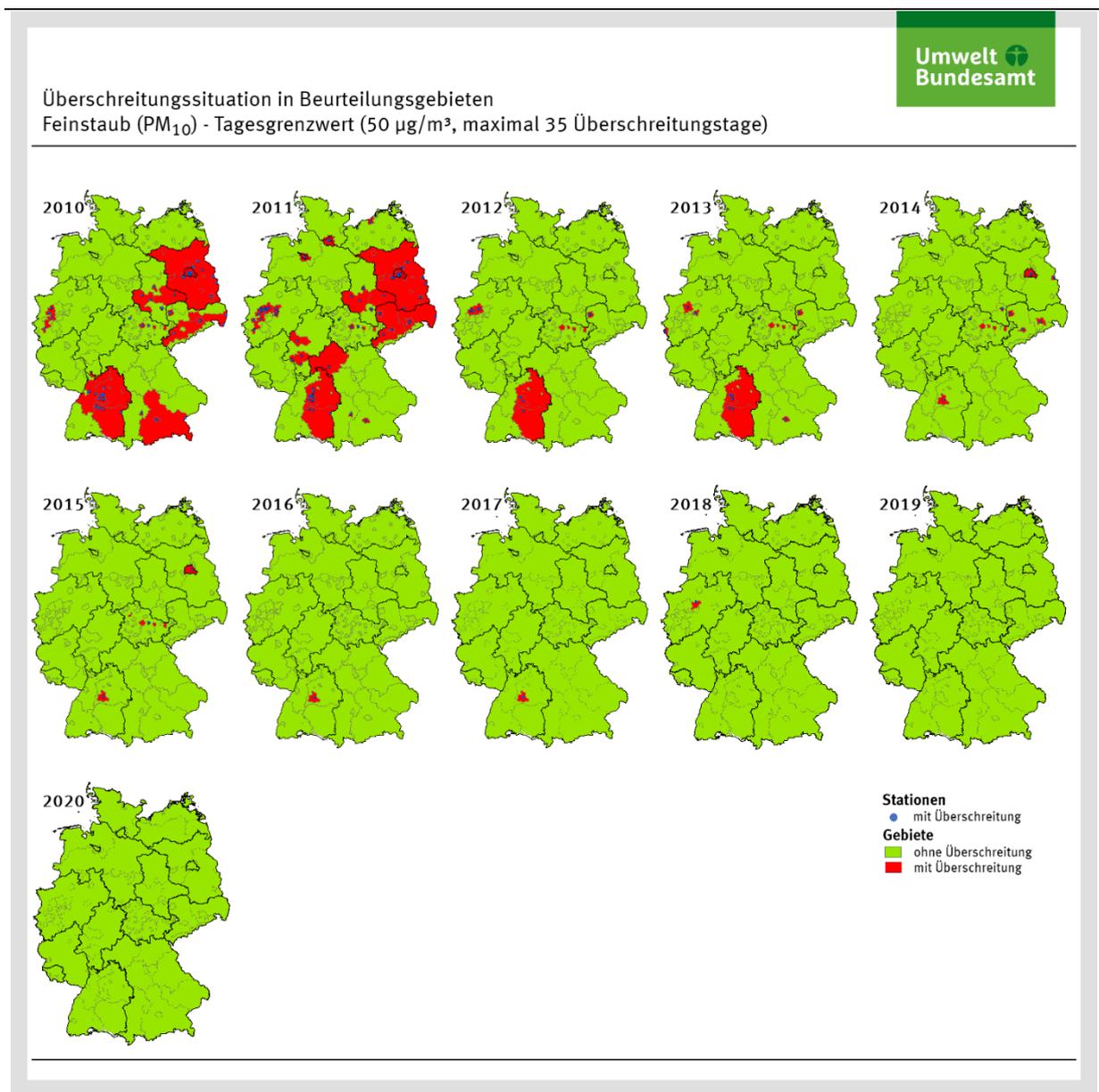


Tabelle 17: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM₁₀-Tagesmittelwertes

Anteil Gebiete mit Grenzwert-überschreitung	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019-2020
Tagesmittel	36 %	45 %	18 %	15 %	20 %	27 %	41 %	9 %	10 %	9 %	3 %	1 %	1 %	1 %	0 %

4.2.3.2 PM₁₀-Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert (40 µg/m³)

Zu Überschreitungen des Jahresgrenzwertes kam es seit Inkrafttreten 2005 an vereinzelt, hauptsächlich verkehrsnahen Stationen in Deutschland. Seit 2012 wurde keine Grenzwertüberschreitung mehr registriert (siehe Tabelle 18 und Tabelle 19). Von den wenigen Grenzwertüberschreitungen betroffen waren vor allem Gebiete und Ballungsräume im Osten und Süden Deutschlands.

Tabelle 18: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des PM₁₀-Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ländlicher Hintergrund	0 / 69	0 / 66	0 / 64	0 / 63	0 / 61	0 / 62	0 / 61	0 / 60
städt./vorstädt. Hintergrund	0 / 181	0 / 180	0 / 172	0 / 174	0 / 176	0 / 169	0 / 161	0 / 158
verkehrsnah	4 / 120	6 / 153	1 / 166	1 / 156	1 / 151	2 / 147	1 / 146	0 / 137
industrienah	0 / 33	1 / 29	0 / 28	0 / 34	0 / 35	0 / 38	0 / 37	0 / 36
Stationstyp	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	0 / 61	0 / 60	0 / 62	0 / 63	0 / 65	0 / 64	0 / 63	0 / 65
städt./vorstädt. Hintergrund	0 / 157	0 / 156	0 / 154	0 / 154	0 / 155	0 / 155	0 / 157	0 / 157
verkehrsnah	0 / 135	0 / 130	0 / 124	0 / 126	0 / 123	0 / 122	0 / 123	0 / 118
industrienah	0 / 35	0 / 35	0 / 34	0 / 33	0 / 34	0 / 33	0 / 33	0 / 32

Tabelle 19: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM₁₀-Jahresmittelwertes

Anteil Gebiete mit Grenzwertüberschreitung	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012-2020
Jahresmittel	4 %	6 %	1 %	1 %	1 %	2 %	1 %	0 %

4.2.4 Entwicklung der PM_{2,5}-Konzentrationen 2005 bis 2020

4.2.4.1 Average Exposure Indicator (AEI)

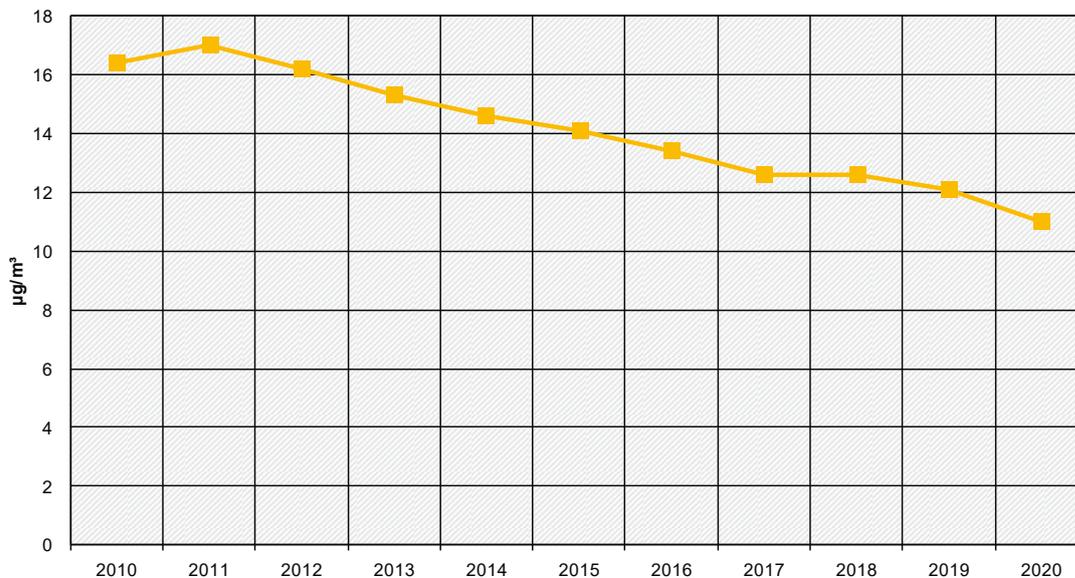
Analog zu den rückläufigen PM₁₀-Konzentrationen gehen auch die Jahresmittel der Konzentrationen der kleineren PM_{2,5}-Fraktion zurück. In die Berechnung des Average Exposure Indicator (AEI) fließen Jahresmittelwerte von Stationen im städtischen Hintergrund ein. Als Ausgangswert für das Jahr 2010 wurde für Deutschland ein AEI von 16,4 µg/m³ als Mittelwert über die berücksichtigten Stationen der Jahre 2008 bis 2010 berechnet. Daraus leitet sich nach den Vorgaben in

Anhang XIV der Luftqualitätsrichtlinie ein nationales Minderungsziel von 15 Prozent bis zum Jahr 2020 ab. Demnach darf der für das Jahr 2020 (Mittelwert der Jahre 2018, 2019, 2020) berechnete AEI den Wert von $13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. Seit 2016 liegt der AEI unter dem für 2020 zu erreichenden Ziel (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Darstellung des Average Exposure Indicator (AEI) für $\text{PM}_{2,5}$ seit 2010

PM_{2,5} - AEI (Average Exposure Indicator)

Indikator für die durchschnittliche Exposition ($13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dürfen ab 2020 nicht mehr überschritten werden)



Quelle: Umweltbundesamt 2022

4.2.4.2 $\text{PM}_{2,5}$ -Überschreitungssituation – Jahresgrenzwert ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Die Einhaltung des Ziel- bzw. Grenzwertes ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel) ist in Deutschland nicht gefährdet. Seit Inkrafttreten im Jahr 2010 kam es nur einmalig an einer verkehrsnahen Station zu einer Überschreitung (siehe Tabelle 20 und Tabelle 21).

Tabelle 20: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des $\text{PM}_{2,5}$ -Jahresgrenzwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

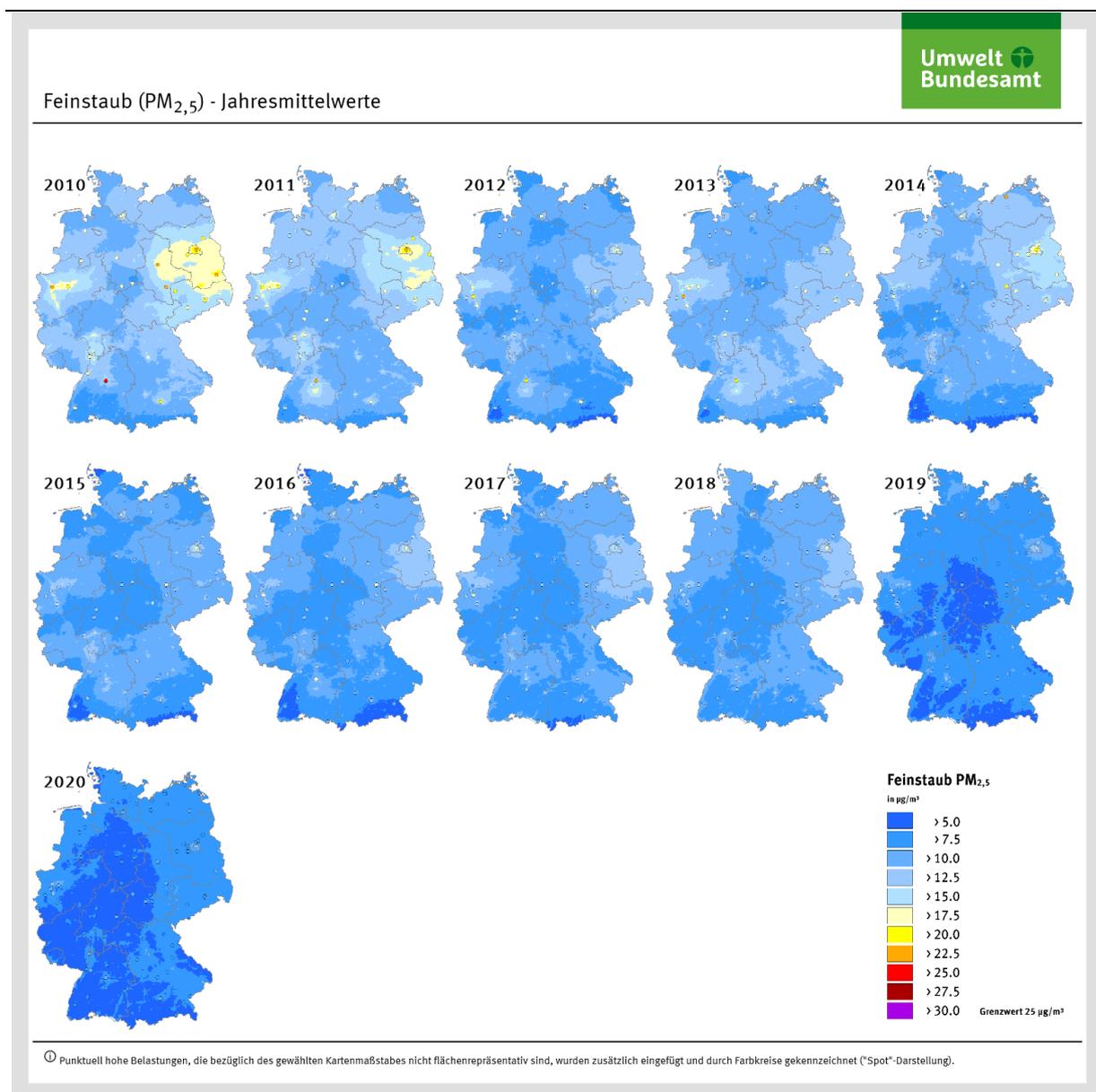
Stationstyp	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	0 / 11	0 / 21	0 / 22	0 / 22	0 / 23	0 / 24	0 / 26	0 / 29	0 / 31	0 / 28	0 / 32
städt./vorstädt. Hintergrund	0 / 56	0 / 66	0 / 69	0 / 75	0 / 76	0 / 82	0 / 82	0 / 84	0 / 89	0 / 92	0 / 95
verkehrsnah	1 / 39	0 / 43	0 / 45	0 / 50	0 / 57	0 / 61	0 / 63	0 / 63	0 / 63	0 / 69	0 / 72
industrienah	0 / 7	0 / 9	0 / 9	0 / 9	0 / 14	0 / 15	0 / 15	0 / 15	0 / 15	0 / 15	0 / 15

Tabelle 21: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des zulässigen PM_{2,5}-Jahresmittelwertes

Anteil Gebiete mit Grenzwertüberschreitung	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Jahresmittel	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Die Darstellung der räumlichen Belastung durch PM_{2,5} in Abbildung 19 (erstellt aus einer Kombination aus Messungen und Modellrechnungen) der vergangenen Jahre zeigt auf, dass die Konzentrationen über die gesamte Fläche Deutschlands zurückgegangen sind. Lokal höhere Werte, gemessen an verkehrsnahen Stationen sind dargestellt als Punkte.

Abbildung 19: Modellierte Konzentrationskarten zur Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen PM_{2,5}-Konzentrationen mit Punktinformationen



4.2.5 Entwicklung der O₃-Konzentrationen 2005 bis 2020

Die Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland spiegelt den allgemein rückläufigen Trend der Emissionen der Vorläufergase NO_x, NMVOC, Methan (CH₄) und Kohlenmonoxid (CO) nicht in allen Punkten wider. Ozonkonzentrationen unterliegen entsprechend der zur Ozonbildung beitragenden Reaktionen sowie der Abbauprozesse stärker tages- und jahreszeitlichen Schwankungen als kleinräumiger Variabilität. Der Unterschied zwischen den Stationen ist dadurch geringer, nur verkehrsnaher Standorte weisen unter anderem durch Wechselwirkungen aufgrund der hohen NO-Emissionen, die zum Abbau von Ozon führen, häufig geringere Konzentrationen auf als Stationen im ländlichen Hintergrund.

Die ganzjährige Einhaltung des Zielwertes von 120 µg/m³ für den maximalen 8-Stunden-Mittelwert eines Tages wird in der EU-Luftqualitätsrichtlinie als langfristiges Ziel definiert. Dieser Wert wird nach wie vor an ländlichen und städtischen Stationen in Deutschland überschritten.

Allerdings ist neben der nahezu unveränderten Überschreitungssituation seit den 1990er Jahren ein Rückgang der gemessenen Spitzenkonzentrationen zu verzeichnen. Dies ist vor allem auf die erfolgreiche Emissionsreduktion von NO_x, NMVOC und CO in Europa zurückzuführen. Für eine wirksame Reduktion der mittleren Ozonkonzentrationen sind weitere Anstrengungen notwendig. Hierbei spielen vor allem die in der Nordhemisphäre steigenden Methankonzentrationen eine wesentliche Rolle und internationale Vereinbarungen zur Reduktion der anthropogenen Methanemissionen sind notwendig. Der 2021 initiierte Global Methane Pledge³¹ ist ein wichtiger Schritt in Folge dieser Erkenntnis.

4.2.5.1 O₃-Überschreitungssituation – langfristiges Ziel (120 µg/m³ für maximalen 8-Stunden-Mittelwert eines Tages)

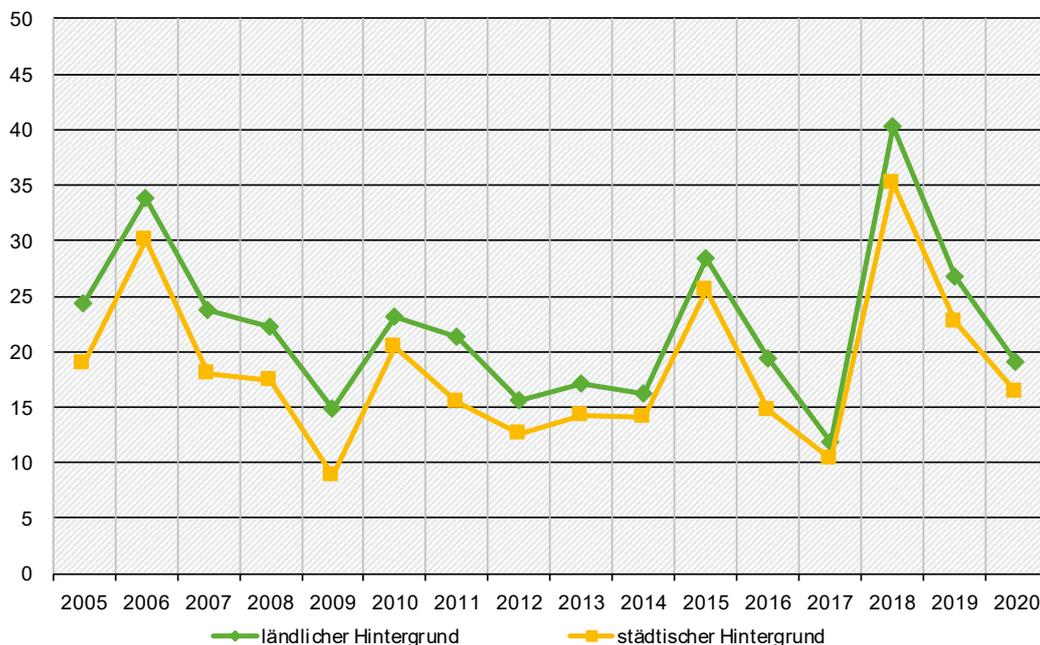
Betrachtet man die mittlere Zahl der Tage, an denen der höchste über 8 Stunden gebildete gleitende Mittelwert die Konzentration von 120 µg/m³ überschreitet, hat sich diese Anzahl unter Berücksichtigung der starken, Meteorologie bedingten zwischenjährlichen Schwankungen seit 2005 kaum verändert (siehe Abbildung 20). Überdurchschnittlich viele Überschreitungen treten in Jahren mit für die Ozonbildung günstigen atmosphärischen Bedingungen auf, was hier beim Betrachten der Jahre 2006, 2015 und 2018 sichtbar wird.

³¹ <https://www.globalmethanepledge.org/>

Abbildung 20: Entwicklung der höchsten täglichen 8-Stunden-Mittelwerte für O₃

Ozon - Überschreitungstage des langfristigen Zieles

(120 µg/m³ als höchster täglicher 8-Stunden-Mittelwert, im Mittel über durchgängig messende Stationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2005-2020)



Quelle: Umweltbundesamt 2022

Gleitende 8-Stunden-Mittelwerte über 120 µg/m³ traten in Deutschland flächendeckend außer an verkehrsnahen Stationen auf. Nahezu alle Gebiete und Ballungsräume sind durchgängig seit 2010 von Überschreitungen des langfristigen Ziels betroffen (siehe Tabelle 22 und Tabelle 23).

Tabelle 22: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des O₃-Langfristzieles zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	71 / 71	71 / 71	70 / 71	73 / 73	71 / 72	72 / 72	72 / 72	66 / 72	73 / 73	72 / 72	72 / 72
städt./vorstädt. Hintergrund	162 / 162	156 / 157	162 / 163	158 / 160	159 / 159	159 / 159	159 / 159	148 / 156	160 / 160	159 / 159	158 / 158
verkehrsnah	15 / 16	9 / 12	8 / 9	7 / 8	6 / 8	5 / 7	7 / 7	5 / 7	8 / 8	5 / 5	5 / 6
industrienah	14 / 14	14 / 14	14 / 14	15 / 15	16 / 16	16 / 16	16 / 16	15 / 15	15 / 15	15 / 15	15 / 15

Tabelle 23: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des langfristigen Zieles für O₃

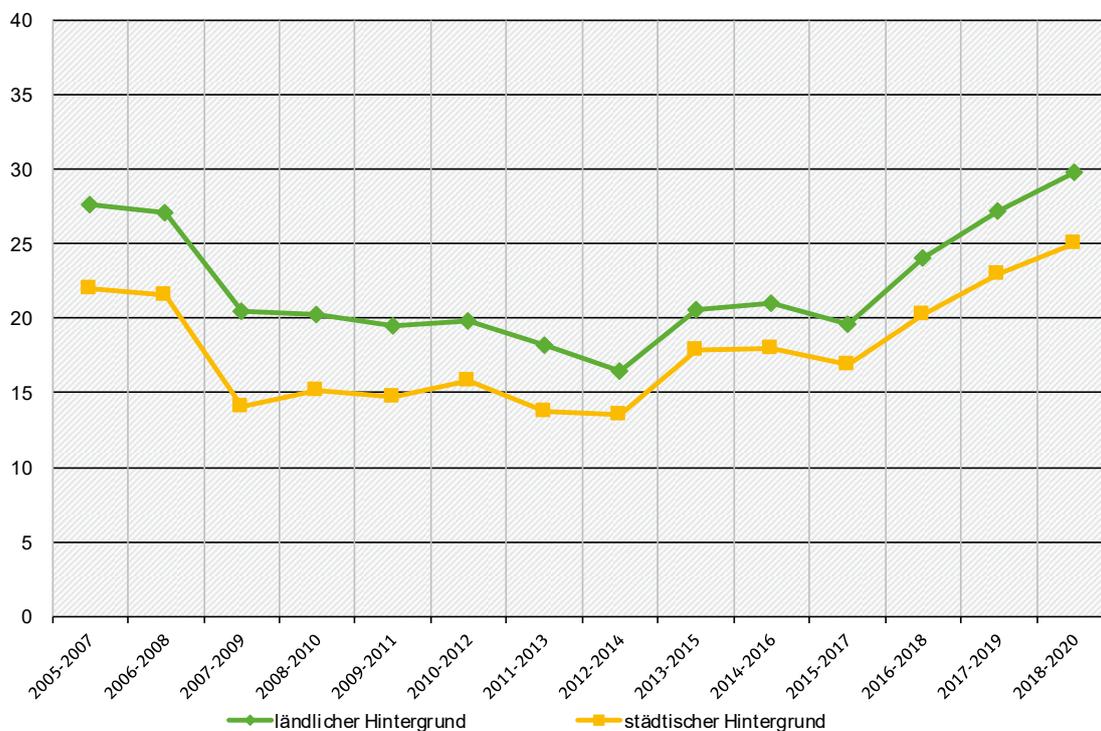
Anteil Gebiete mit Überschreitung des langfristigen Zieles	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	100 %							96%	100%	100%	100%

4.2.5.2 O₃-Überschreitungssituation – Zielwert (120 µg/m³ für 3-Jahresmittel der maximalen 8-Stunden-Mittelwerte eines Tages nicht öfter als 25-mal bezogen auf ein Jahr)

Abbildung 21: Entwicklung der 3-Jahresmittelwerte der höchsten täglichen 8-Stunden-Mittelwerte für O₃

Ozon - Überschreitungstage des Zielwertes

(3-Jahresmittel der Zahl der Tage mit tägl. max. 8-Stunden-Mittelwert >120 µg/m³, im Mittel über durchgängig messende Stationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2005-2020)



Quelle: Umweltbundesamt 2022

Der Ozon-Zielwert gilt als überschritten, wenn an mehr als 25 Tagen im 3-Jahresmittel tägliche maximale 8-Stunden-Mittelwerte über 120 µg/m³ auftreten. Dies tritt vor allem an Stationen im ländlichen Hintergrund auf, in geringerem Ausmaß auch an Stationen im städtischen Hintergrund (vereinzelt auch industrienah). Durch den relativ ozonreichen Sommer 2018 verzeichneten vor allem die Beurteilungsjahre 2018, 2019 und 2020 wieder mehr Überschreitungen als die Jahre zuvor (siehe Abbildung 22, Tabelle 24 und Tabelle 25).

Tabelle 24: Verhältnis der Anzahl der Stationen mit Überschreitung des O₃-Zielwertes zur Gesamtzahl der zur Beurteilung herangezogenen Stationen je Stationstyp

Stationstyp	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ländlicher Hintergrund	22 / 71	22 / 74	16 / 74	13 / 73	10 / 73	26 / 73	29 / 73	23 / 74	35 / 73	44 / 72	48 / 72
städt./vorstädt. Hintergrund	12 / 174	7 / 173	10 / 170	6 / 168	5 / 173	21 / 170	21 / 162	17 / 163	34 / 165	56 / 161	65 / 160
verkehrsnahe	0 / 19	0 / 18	0 / 15	0 / 12	0 / 10	0 / 9	0 / 8	0 / 8	0 / 8	0 / 6	0 / 7
industrienah	0 / 16	0 / 16	0 / 14	0 / 14	0 / 15	2 / 15	2 / 15	1 / 15	4 / 15	6 / 15	7 / 15

Abbildung 22: Darstellung der Entwicklung der Überschreitungssituation für O₃ nach Beurteilungsgebieten (Zielwert)

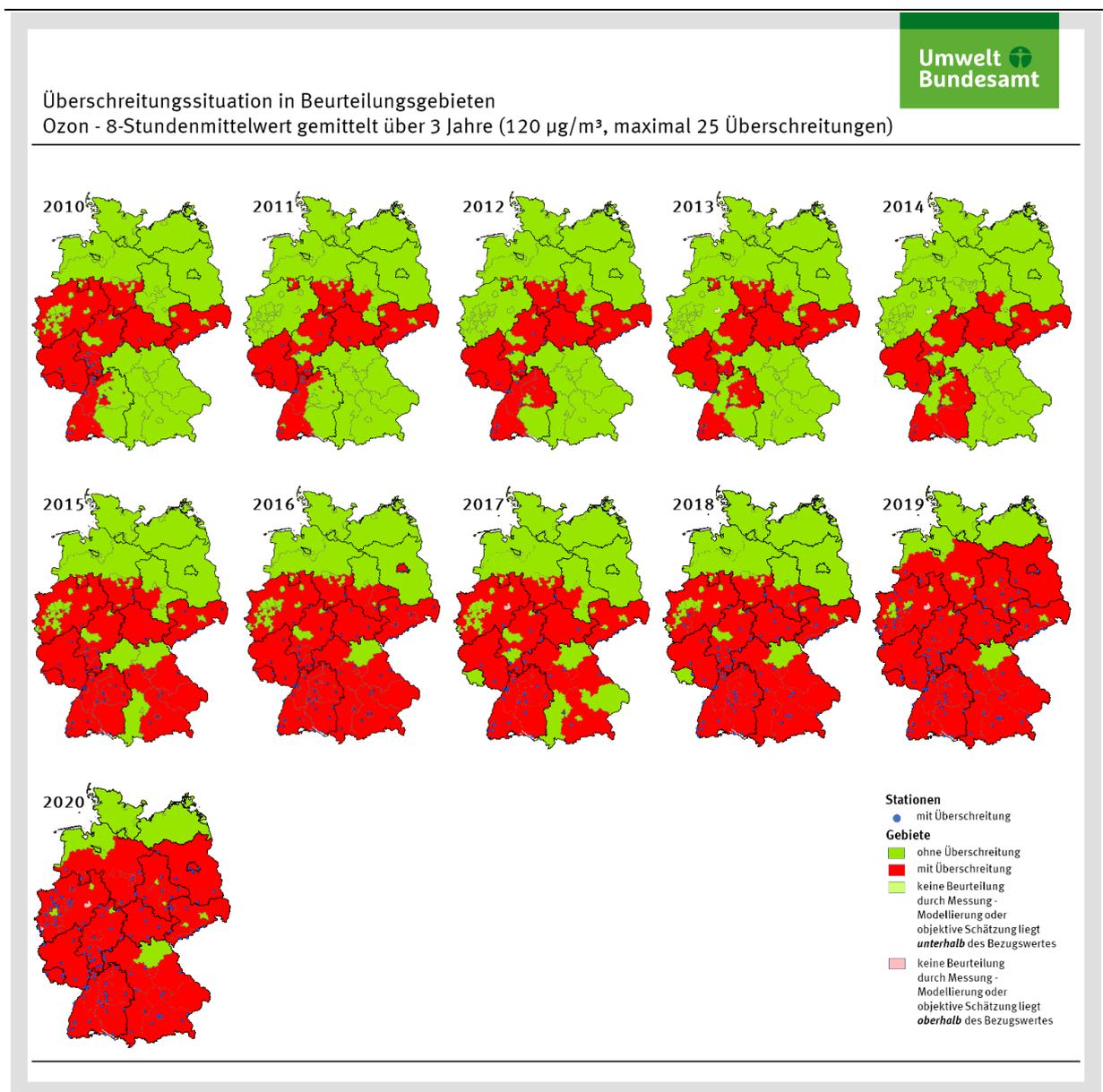


Tabelle 25: Entwicklung des Anteils der Beurteilungsgebiete mit Überschreitung des Zielwertes für O₃

Anteil Gebiete mit Überschreitung des Zielwertes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	21%	18%	20%	16%	16%	36%	46%	33%	46%	66%	51%

4.2.6 CO-Überschreitungssituation

Es darf keine Überschreitung des täglichen maximalen 8-Stunden-Mittelwertes von 10 mg/m³ auftreten. Die CO-Konzentrationen liegen deutschlandweit seit 2010 weit unterhalb des gültigen Grenzwertes. So kam es seit 2010 lediglich an 2 Stationen zu jeweils einer Grenzwertüberschreitung. Beide Fälle wurden durch Störfälle in Industrieanlagen verursacht. Der rückläufige Trend der Konzentrationen führt allerdings auch zu einem Rückgang der zu Messungen verpflichteten Stationen. Die Zahl der Stationen mit CO-Konzentrationsmessungen in Deutschland ist dadurch in den letzten Jahren von etwa 200 Stationen auf etwa 100 Stationen gesunken.

4.2.7 SO₂-Überschreitungssituation

SO₂-Tagesmittelwerte dürfen nicht häufiger als 3-mal im Kalenderjahr 125 µg/m³ überschreiten, Stundenmittelwerte dürfen nicht öfter als 24-mal im Kalenderjahr 350 µg/m³ überschreiten. Seit Gültigkeit der Grenzwerte ab 2005 werden sowohl die Tages- als auch Stundengrenzwerte an allen Stationen in Deutschland eingehalten. Der rückläufige Trend der Konzentrationen führt allerdings auch hier zu einem Rückgang der zu Messungen verpflichteten Stationen. Die Zahl der Stationen mit SO₂-Konzentrationsmessungen in Deutschland ist dadurch in den letzten Jahren von etwa 250 Stationen auf mittlerweile etwa 150 Stationen gesunken.

4.3 Derzeitige grenzüberschreitende Auswirkungen nationaler Emissionsquellen

Die derzeitigen grenzüberschreitenden Auswirkungen nationaler Emissionsquellen wurden mit Hilfe des Chemie-Transportmodells REM-Calgrid (RCG) für das Jahr 2020 berechnet.

Dieses Modell simuliert im Wesentlichen auf Basis von meteorologischen Eingangsdaten und Emissionen unter Berücksichtigung physikalischer Prozesse und chemischer Umwandlungen flächenhaft und gitterbasiert die Luftschadstoffkonzentrationen. Das RCG-Modell berechnet sowohl partikelförmige als auch gasförmige Luftschadstoffe unter Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre. Die für die Partikelbelastung maßgeblichen Prozesse, wie anthropogene und natürliche Emissionen, Transport, nasse und trockene Deposition und Bildung aus gasförmigen Vorläuferstoffen werden ebenfalls berücksichtigt. Die natürlichen Emissionsprozesse umfassen die Seesalz-Emission, Aufwirbelung von Staub und Emissionen biogener flüchtiger Kohlenwasserstoffe aus der Vegetation. Die Gasphase wird mit dem Carbon Bond Mechanism IV (Reaktionsmechanismus, in dem gasförmige kohlenstoffhaltige Verbindungen gemäß ihrer Struktur gruppiert werden) unter Berücksichtigung einer Vielzahl von chemischen Reaktionen abgebildet. Bei der Simulation werden sowohl orographische Effekte als auch die Landbedeckung berücksichtigt.

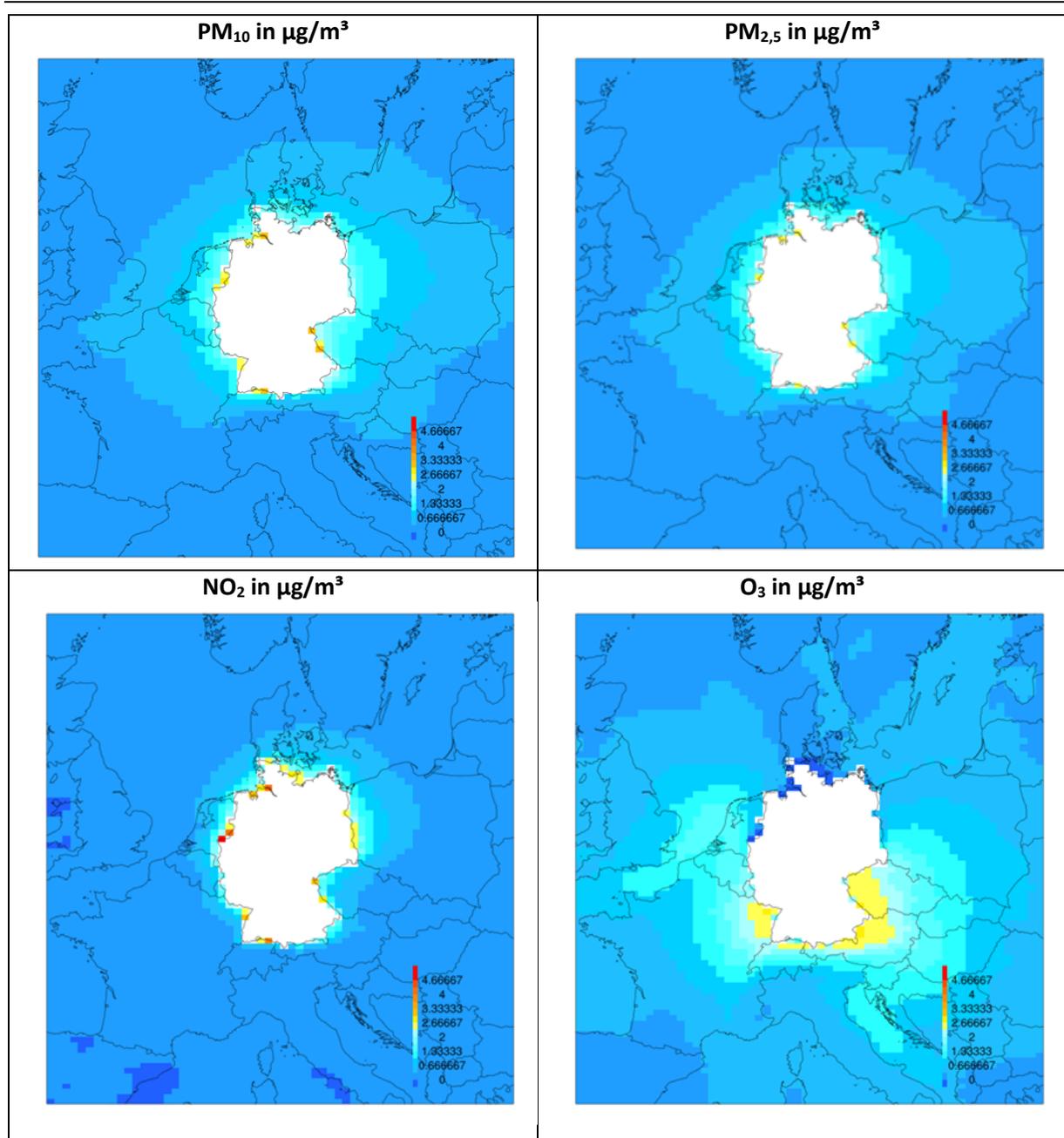
Als Eingangsgrößen für die Modellläufe für das Jahr 2020 wurden für Deutschland die nationalen Emissionen für das Jahr 2020 aus der Submission 2022 verwendet. Diese wurden räumlich

mit dem Gridding Emission Tool for ArcGIS (GRETA³²) verteilt. Für die europäischen Emissionen außerhalb Deutschlands wurden die Emissionen aus CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) v5.1 verwendet. Die meteorologischen Daten stammten aus der ICON Modellkette des Deutschen Wetterdienstes. Die Auswertung erfolgte auf der äußeren Nesting-Stufe für Europa mit einer Auflösung von $0,5^\circ \times 0,25^\circ$ (ca. $30 \times 25 \text{ km}^2$). Damit wird das Niveau des ländlichen Hintergrundes abgebildet.

Zur Quantifizierung der grenzüberschreitenden Auswirkungen nationaler Emissionsquellen wurden zwei Modellläufe durchgeführt. In einem ersten Modelllauf wurde mit allen nationalen und internationalen Emissionen gerechnet, in einem zweiten Modelllauf wurden die nationalen anthropogenen Emissionen in Deutschland auf null gesetzt. Die Konzentrationsdifferenzen der beiden Modellläufe ergeben die Auswirkung der deutschen anthropogenen Emissionen in Summe auf die anderen europäischen Staaten (siehe Abbildung 23). Die Auswertung erfolgte für die Schadstoffe PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 und O_3 auf Basis der Jahresmittelwerte.

³² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/arcgis-basierte-loesung-zur-detaillierten>

Abbildung 23: Kartendarstellung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den Konzentrationen von PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ und O₃ in benachbarten europäischen Ländern im Jahresmittel



Der Einflussbereich der deutschen anthropogenen Emissionen beschränkt sich hauptsächlich auf die an Deutschland angrenzenden Staaten. Aus diesem Grund wird die statistische Auswertung nur für die benachbarten Staaten durchgeführt (siehe Tabelle 26, Tabelle 27, Tabelle 28 und Tabelle 29).

Der Konzentrationsbeitrag aus Deutschland zum Ländermittelwert des jeweiligen Landes erreicht für PM₁₀ Werte bis 1,6 µg/m³ in Luxemburg, 1,4 µg/m³ in den Niederlanden und 1,2 µg/m³ in Tschechien. Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages erreichen für PM_{2,5} Werte bis 1,4 µg/m³ in Luxemburg, 1,2 µg/m³ in den Niederlanden und 1,1 µg/m³ in Tschechien. Län-

dermittelwerte des Konzentrationsbeitrages erreichen für NO₂ Werte bis 1,3 µg/m³ in Luxemburg, 1,3 µg/m³ in den Niederlanden und 0,6 µg/m³ in Tschechien. Ländermittelwerte des Konzentrationsbeitrages erreichen für O₃ Werte bis 2,1 µg/m³ in Österreich und Tschechien und 2,0 µg/m³ in Luxemburg.

Tabelle 26: Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM₁₀-Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in µg/m³

	Durchschnittliche	Minimum der	Maximum der	Durchschnittlicher Beitrag	Minimum des Beitrages	Maximum des Beitrages
	PM ₁₀ -Konzentration			der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM ₁₀ -Konzentrationen		
Niederlande	11,9	8,8	14,4	1,4	0,8	3,1
Belgien	13,1	8,2	17,5	1,0	0,7	1,8
Luxemburg	9,7	8,6	11,1	1,6	1,3	1,9
Frankreich	7,7	3,5	18,0	0,3	0,0	2,9
Schweiz	7,6	4,3	13,3	0,6	0,2	3,5
Österreich	9,0	4,5	14,4	0,8	0,3	2,2
Tschechien	11,4	8,3	17,7	1,2	0,5	3,6
Polen	11,5	7,6	29,3	0,7	0,3	2,3
Dänemark	8,8	7,0	11,8	0,6	0,3	1,7

Tabelle 27: Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM_{2,5}-Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in µg/m³

	Durchschnittliche	Minimum der	Maximum der	Durchschnittlicher Beitrag	Minimum des Beitrages	Maximum des Beitrages
	PM _{2,5} -Konzentration			der deutschen anthropogenen Emissionen zu den PM _{2,5} -Konzentrationen		
Niederlande	7,8	5,7	9,5	1,2	0,7	2,3
Belgien	9,0	6,2	11,4	0,9	0,6	1,6
Luxemburg	7,4	6,5	8,4	1,4	1,1	1,6
Frankreich	5,3	2,8	12,4	0,3	0,0	2,2
Schweiz	6,2	3,8	10,2	0,6	0,2	2,7
Österreich	7,5	4,1	12,1	0,7	0,3	1,9
Tschechien	9,2	7,0	14,4	1,1	0,5	2,8
Polen	8,6	5,4	21,6	0,6	0,3	1,8
Dänemark	5,1	4,3	7,1	0,6	0,3	1,4

Tabelle 28: Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den NO₂-Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in µg/m³

	Durchschnittliche	Minimum der	Maximum der	Durchschnittlicher Beitrag	Minimum des Beitrages	Maximum des Beitrages
	NO ₂ -Konzentration			der deutschen anthropogenen Emissionen zu den NO ₂ -Konzentrationen		
Niederlande	13,8	6,7	27,4	1,3	0,3	5,5
Belgien	11,0	3,8	24,5	0,5	0,1	2,0
Luxemburg	8,2	5,0	12,3	1,3	0,6	1,7
Frankreich	3,7	0,9	19,8	0,1	0,0	3,5
Schweiz	4,9	1,3	14,3	0,3	0,0	4,0
Österreich	6,3	1,9	17,7	0,3	0,0	2,1
Tschechien	5,1	2,6	12,4	0,6	0,1	3,4
Polen	5,7	1,8	17,3	0,4	0,0	2,7
Dänemark	3,8	2,2	12,9	0,5	0,1	2,4

Tabelle 29: Statistische Auswertung des Konzentrationsbeitrages der deutschen anthropogenen Emissionen zu den O₃-Konzentrationen in benachbarten europäischen Ländern; angegeben sind die Jahresmittelwerte als Ländermittel bzw. als Minimum/Maximum der Gitterzellen des jeweiligen Staat; Angaben jeweils in µg/m³

	Durchschnittliche	Minimum der	Maximum der	Durchschnittlicher Beitrag	Minimum des Beitrages	Maximum des Beitrages
	O ₃ -Konzentration			der deutschen anthropogenen Emissionen zu den O ₃ -Konzentrationen		
Niederlande	49,5	41,1	61,6	1,0	-1,4	1,5
Belgien	51,8	41,2	58,4	1,4	1,1	2,0
Luxemburg	52,4	48,5	55,8	2,0	1,9	2,0
Frankreich	57,1	47,2	70,5	0,9	0,2	3,0
Schweiz	61,7	48,5	72,7	1,5	0,7	2,4
Österreich	57,3	45,4	71,7	2,1	1,2	3,0
Tschechien	54,0	47,6	60,9	2,1	1,2	3,0
Polen	49,6	43,1	59,0	0,8	0,3	1,9
Dänemark	55,1	47,9	62,4	0,2	-0,9	0,5

5 Voraussichtliche künftige Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen

5.1 Voraussichtliche Emissionen und Emissionsreduktionen (Szenario „mit Maßnahmen“)

5.1.1 Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen

Tabelle 30: Voraussichtliche Entwicklung ohne Änderung bereits verabschiedeter Strategien und Maßnahmen

Schadstoffe	Gesamtemissionen (kt), in Übereinstimmung mit den Inventaren für das Jahr x-3 (2022)				Emissionsreduktion in % gegenüber 2005			Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung für 2020-2029 ggü. 2005 (in %)	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung ab 2030 ggü. 2005 (in %)
	berichtet ³³		Szenario „mit Maßnahmen“		berichtet	Szenario „mit Maßnahmen“			
	Basisjahr 2005	2020	2025	2030	2020 ³⁴	2025	2030		
SO _x (als SO ₂)	473	233	244	198	50,8	48,3	58,1	21	58
NO _x (als NO ₂)	1632	979	834	655				-	-
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	1515	871	732	559	42,5	51,6	63,1	39	65
NMVOC	1487	1036	1039	1032				-	-
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	1180	737	755	759	37,5	36,0	35,7	13	28
NH ₃	603	537	457	421	10,9	24,3	30,2	5	29
PM _{2,5}	135	81	84	79	39,8	37,9	41,7	26	43

³³ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envygij4g/

³⁴ Die Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 für 2020-2029 gegenüber 2005 wurden in 2020 gemäß Inventarberichterstattung 2022 für alle Schadstoffe eingehalten.

Datum der Emissionsprognosen	Die erstellten Emissionsprojektionen des Szenarios „mit Maßnahmen“ (WM) entsprechen dem Stand der EMMa-Datenbank zum 02.05.2023.
------------------------------	--

Tabelle 3) dargestellt. Außerdem angegeben ist die Einhaltung der projizierten, nicht in gleicher Weise verbindlichen indikativen Zwischenziele, die sich nach Artikel 4 Absatz 2 der Richtlinie (EU) 2016/2284 aus einem linearen Reduktionspfad zwischen den Reduktionsverpflichtungen ab 2020 und ab 2030 ergeben.

Folgende Regelung ist bezüglich der Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen zu beachten:

Gemäß Artikel 4 Absatz 3 d) der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 werden Emissionen von NO_x und NMVOC aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten, die unter die Nomenklatur für die Berichterstattung (NFR-2014) der Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP) gemäß den Kategorien 3B (Düngewirtschaft) und 3D (landwirtschaftliche Böden) fallen, bei der Berechnung der prozentualen Emissionsreduktion gegenüber dem Basisjahr 2005 nicht berücksichtigt.

Gemäß der Inventarberichterstattung für Luftschadstoffemissionen in 2022 wurden die Reduktionsverpflichtungen für alle reduktionspflichtigen Schadstoffe im Jahr 2020 eingehalten.

Ab 2030 werden die Reduktionsverpflichtungen im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) für SO_x, NMVOC und NH₃ eingehalten. Die indikativen Zwischenziele werden in 2025 für alle reduktionspflichtigen Schadstoffe außer NO_x eingehalten. Bei NO_x besteht eine Lücke von 5,0 kt zum indikativen Zwischenziel in 2025. Die Reduktionsverpflichtung von 39 % ab 2020 bis 2029 gegenüber 2005 wird zwar eingehalten, ein Abweichen vom linearen Reduktionspfad ist aber gemäß NEC-Richtlinie nur möglich, wenn dies wirtschaftlich oder technisch effizienter ist und wäre im nationalen Luftreinhalteprogramm entsprechend zu begründen. Aufgrund der teilweise bereits in 2025 erwarteten Minderung durch die im Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM – with additional measures) enthaltenen Maßnahmen ist das im vorliegenden Programm nicht notwendig. Ab 2030 besteht zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen bei NO_x im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) eine Lücke von 27,8 kt und für PM_{2,5} von 1,7 kt.

Methodik der Emissionsprojektionen

Zur Ermittlung der Gesamtemissionen eines historischen oder in der Zukunft liegenden Jahres werden zunächst die Emissionen der einzelnen Emissionsquellen berechnet, indem deren Aktivität in dem jeweiligen Jahr, folglich eine Aktivitätsrate, mit einer Emissionsmasse pro Aktivität, dem Emissionsfaktor, multipliziert wird. Die Emissionen aller Emissionsquellen eines Jahres werden je Schadstoff addiert und ergeben die nationale Summe. Vereinfacht beschreibt dies die Formel:

$$Emission [EM] = Aktivitätsrate [AR] \cdot Emissionsfaktor [EF]$$

Eine Aktivitätsrate kann beispielsweise ein Brennstoff- oder Kraftstoffeinsatz angegeben in Terajoule [TJ], oder eine Tierzahl angegeben in Stück [Stk], oder auch eine Masse eines verwendeten Produktes in Kilogramm [kg] sein. Für die historischen Emissionen stammen die Aktivitätsraten in der Regel aus statistischen Erhebungen oder werden direkt erfasst. Für Emissionsprojektionen müssen die Aktivitätsraten in die Zukunft fortgeschrieben werden. Dafür wurden in den meisten Fällen umfangreiche Modelle entwickelt, welche die Entwicklung in einzelnen Quellgruppen auf Basis der wahrscheinlichen Entwicklung von Rahmenbedingungen abschätzbar machen. Emissionsfaktoren historischer Emissionen ergeben sich entweder direkt aus Messergebnissen, oder sie müssen aus Messergebnissen zum Beispiel pro Abgasvolumen und Zeit

per exakten oder mittleren Umrechnungsfaktoren berechnet werden. Liegen keine kontinuierlichen Messungen vor, können Emissionsfaktoren auch aus Einzelmessungen, Modellierung, Berechnung oder Schätzung durch Experten*innen auf Basis qualifizierter Annahmen gewonnen werden. Für die Projektion von Emissionsfaktoren in die Zukunft werden weitere Einflussfaktoren hinzugezogen. So kann beispielsweise eine Erneuerung der Fahrzeugflotte oder eines Anlagenparks unter Berücksichtigung zurückliegender Trends und aktueller politischer Rahmenbedingungen modelliert und zur Berechnung eines zukünftigen mittleren Emissionsfaktors genutzt werden.

In der Emissionsinventardatenbank „Zentrales System Emissionen“ (ZSE)³⁵ werden am Umweltbundesamt neben Treibhausgasen die nationalen Emissionssummen pro Jahr für ausgewählte Luftschadstoffe in Zeitreihen ab 1990 erfasst und dargestellt. Im jährlichen Turnus werden diese Zeitreihen regelmäßig auf das zwei Jahre vor dem aktuellen Berichtsjahr liegende Jahr fortgeschrieben und auch für alle zurückliegenden Jahre entsprechend der hinzugekommenen Erkenntnisse aktualisiert. Dadurch kann der Fall auftreten, dass sich beispielsweise die Emissionen für das Jahr 2005 zwischen der Emissionsberichterstattung in 2012 und der Emissionsberichterstattung in 2022 substantiell unterscheiden. Diese Rekalkulationen und deren Gründe sind in den informativen Inventarberichten (z. B. IIR, 2022³⁶) immer bezogen auf die vorangegangene Berichterstattung dargestellt.

Entscheidend für den Detailgrad einer Zeitreihe und die Qualität und Unsicherheit der in ihr enthaltenen Werte sind Detailtiefe und Qualität der verwendeten Eingangsdaten. In einigen Quellgruppen, wie beispielsweise Landwirtschaft oder Straßenverkehr, wird die Zeitreihenauflösung des ZSE extern aus sehr detaillierten Modellen zur Emissionsberechnung oder zur Berechnung von Stoffflüssen aggregiert.

Zusätzlich zur Emissionsinventardatenbank des Umweltbundesamtes existiert seit 2017 eine „Emissionsminderungsmaßnahmen“-Datenbank (EMMa)³⁷ mit identischem Detaillierungsgrad, um die Zeitreihen der Emissionsberichterstattung unter Berücksichtigung der potenziellen Wirkungen von Strategien und Maßnahmen in die Zukunft zu projizieren. Detailinformationen zu historischen Zeitreihen und zu Emissionsprojektionen können dadurch transparent zur Verfügung gestellt werden und die Ergebnisse sind jederzeit reproduzierbar.

Grundlegend prognostiziert EMMA die Entwicklung der inventarisierten Emissionen. Ziel der Inventarberichterstattung mittels ZSE ist die Angabe der tatsächlichen Emissionen pro Schadstoff, der in einer Zeitreihe zusammengefassten Emissionsquellen. Innerhalb von Feuerungsanlagen, die denselben Brennstoff einsetzen, kann es Anlagen geben, die geltende Grenzwerte deutlich unterschreiten und andere Anlagen, die aufgrund von Ausnahmeregelungen oder Übergangsfristen oberhalb eines Grenzwertes emittieren dürfen. Gemittelt über alle Emissionsquellen einer Zeitreihe ergibt sich häufig ein von einem bestehenden Grenzwert abweichender impliziter Emissionsfaktor. Im Gegensatz dazu wird bei der Fortschreibung der Emissionen in EMMA grundlegend von einer Einhaltung der in 2025, 2030 und darüber hinaus gültigen oder der als zukünftig gültig angenommenen Grenzwerte ausgegangen. Somit wird konservativ angenommen, dass der gemittelte Emissionsfaktor von Anlagen, die den Grenzwert im Jahresmittel im Betrieb unterschreiten und jenen Anlagen, die beispielsweise in Folge von Ausnahmerege-

³⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/wie-funktioniert-die-berichterstattung> und https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/eu-nir_germany_2022.pdf

³⁶ <https://iir.umweltbundesamt.de/2022/general/recalculations/start>

³⁷ <https://iir.umweltbundesamt.de/2021/general/projections/start>

lungen den Grenzwert im Jahresmittel überschreiten, dem gültigen oder als zukünftig gültig angenommenen Grenzwert entspricht. Zum Teil kommen dafür komplexe Modelle zur Quantifizierung von Maßnahmenwirkungen zum Einsatz.

Die EMMA-Datenbank wurde genutzt, um aufbauend auf externen Prognosen die weiteren Wirkungen von Strategien und Maßnahmen so differenziert wie möglich zu erfassen und abzubilden. Hierdurch ist es möglich, aus der Kombination von externen Prognosen und der Bewertung der Wirkung von Maßnahmen oder Maßnahmenpaketen im System, verschiedene Szenarien zu erstellen und deren Wirkung auf die Entwicklung der Emissionen zu berechnen. Die Datenbank bietet eine hohe Transparenz der Annahmen und Ergebnisse. Weitgehend sind diese im Informativen Inventarbericht zur jeweiligen Berichterstattung³⁸ beschrieben. Weitere Details können jederzeit auf Anfrage vom Umweltbundesamt aus der Datenbank ausgespielt und zur Verfügung gestellt werden.

Naturgemäß beinhalten Emissionsprojektionen eine höhere Unsicherheit als berichtete historische Emissionen, da zusätzliche Annahmen getroffen werden müssen. Die nach der beschriebenen ZSE-Methodik in 2032 für 2030 rückblickend zu berichtenden Emissionen können von den projizierten Emissionen abweichen. Gründe hierfür könnten beispielsweise die Übererfüllung von gültigen Grenzwerten durch die realen Emissionsquellen oder von den Annahmen abweichende Ausnahmeregelungen und Übergangsfristen sein. Mitunter fehlen Informationen, die über das Detaillevel der Zeitreihenauflösung des ZSE beziehungsweise von EMMA hinausgehen, aber notwendig wären, um Minderungspotenziale von Einzelmaßnahmen genauer abbilden zu können. Beispiele dafür sind nach Feuerungswärmeleistung gestufte Emissionsgrenzwerte der 44. BImSchV oder der Brennstoffeinsatz in geförderten Festbrennstoffkesseln kleiner 1 Megawatt Feuerungswärmeleistung, deren emissionsmindernde Wirkung in der Zukunft sich nur auf Basis zahlreicher Annahmen abschätzen lässt.

Datengrundlagen und Annahmen der Emissionsprojektionen im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM)

Im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) wurde für den überwiegenden Teil der Emissionsquellen in den Sektoren 1.A.1 (Energiewirtschaft), 1.A.2 (verarbeitendes Gewerbe), 1.A.4 (übrige Feuerungsanlagen), 1.A.5 (Militär), 1.B (diffuse Emissionen aus Brennstoffen), 2 (Industrieprozesse) und 5 (Abfall- und Abwasserbehandlung) die projizierte Entwicklung der Aktivitätsraten des Mit-Maßnahmen-Szenarios (MMS) des Projektionsberichts 2021 für Deutschland³⁹ (PB, 2021) zugrunde gelegt. Die detaillierten Daten wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes im zugehörigen Forschungsvorhaben „THG-Projektionen: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort-Sharing-Decision im Projektionsbericht 2021 (Politiksznarien für den Klimaschutz X)“ (FKZ 3720415010) erarbeitet. Das Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021 für Deutschland umfasst alle bis zum 31.08.2020 (im Ausnahmefall bis Anfang Okto-

³⁸ z. B. <https://iir.umweltbundesamt.de/2021/general/projections/start>

³⁹ Repenning, J.; Harthan, R.O.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Ludig, S.; Matthes, F. C.; Mendelewitsch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Rausch, L.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Wissner, N.; Zerrahn, A. (Öko-Institut, Berlin); Brugger, H.; Fleiter, T.; Rehfeldt, M.; Rohde, C.; Schlomann, B.; Yu, S. (Fraunhofer ISI, Karlsruhe); Steinbach, J.; Deurer, J. (IREES GmbH, Karlsruhe); Osterburg, B.; Rösemann, C.; Gensior, A.; Rock, J.; Stümer, W.; Rüter, S.; Fuß, R.; Tiemeyer, B.; Laggner, A.; Adam, S. (Thünen-Institut, Braunschweig, Eberswalde, Hamburg) (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland, <https://dip.bundestag.de/vorgang/projektionsbericht-2021-f%C3%BCr-deutschland/282715>

ber, z. B. am 08.10.2020 vom Bundestag beschlossene Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes – BEHG, vgl. Art. 1 des Gesetzes vom 03.11.2020 zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes⁴⁰) beschlossenen klimaschutzrelevanten Maßnahmen und Instrumente.

Der Projektionsbericht 2021 enthält die in Tabelle 31 aufgeführten Annahmen zur Entwicklung der Aktivitätsraten im Mit-Maßnahmen-Szenario. Die zugrunde liegenden Annahmen und weitere Ergebnisse des Mit-Maßnahmen-Szenarios sind im Detail im Projektionsbericht 2021 beschrieben.

Tabelle 31: Ausgewählte Trendprognosen des Primärenergie-, Endenergie- und Bruttostromverbrauchs sowie der Bruttostromerzeugung für die Jahre 2030 und 2040 im Mit-Maßnahmen-Szenario des PB 2021 im Vergleich zum Jahr 2018

	2018	2030	2040
Primärenergieverbrauch	12.989 PJ	10.791 PJ	9.021 PJ
davon Braunkohle	1.468 PJ	627 PJ	20 PJ
davon Steinkohle	1.380 PJ	1.048 PJ	473 PJ
Endenergieverbrauch	9.076 PJ	8.278 PJ	7.293 PJ
Bruttostromerzeugung	643,5 TWh	637,4 TWh	694,0 TWh
Anteil Erneuerbarer	34,9 %	59,6 %	81,5 %
Bruttostromverbrauch	594,7 TWh	597,8 TWh	673,4 TWh

Wesentliche Beiträge zur projizierten Emissionsminderung von Treibhausgasen im Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021, die auch die projizierten Emissionen von Luftschadstoffen verringern, erbringen die Maßnahmen (vgl. PB 2021):

- Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG),
- CO₂-Bepreisung durch den EU-Emissionshandel (EU-ETS),
- Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG),
- Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG),
- diverse Förderprogramme zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Substitution fossiler Energieträger in der Industrie und im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD),
- Senkung des Energiebedarfs im Gebäudesektor durch Ordnungsrecht (z. B. Gebäudeenergiegesetz – GEG) und Förderung (z. B. Bundesförderung für effiziente Gebäude – BEG),
- EU-CO₂-Standards für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge.

In den Fällen, in denen aus dem Forschungsvorhaben zum Projektionsbericht 2021 keine detaillierten Aktivitätsraten für einzelne Gruppen von Emittenten vorlagen, wurden die projizierten aggregierten Aktivitätsraten anhand der inventarisierten Verteilung des Jahres 2020 nach Emissionsberichterstattung 2022 für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 auf die zugehörigen Zeit-

⁴⁰ <https://www.buzer.de/gesetz/13716/al115335-0.htm>

reihen in der EMMA-Datenbank verteilt. Aufgrund dieser Annahme können mögliche Verschiebungen innerhalb einer Gruppe von Emittenten, von beispielsweise einer Technik hin zu einer emissionsärmeren anderen Technik oder umgekehrt, nicht immer abgebildet werden. Es wird davon ausgegangen, dass gegenläufige Effekte in verschiedenen Quellgruppen vorliegen, die sich im Ergebnis weitgehend kompensieren würden. Für welche Einzelmaßnahmen aus dem Projektionsbericht 2021 zusätzlich Auswirkungen auf Emissionsfaktoren von Luftschadstoffen bewertet worden sind, wird weiter unten im Kapitel ausgeführt.

In den Quellgruppen 1.A.3 (Verkehr), 2.D.3 (Herstellung und Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten) und 3 (Landwirtschaft) wurden vom Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichtes 2021 abweichende Aktivitätsratenprojektionen verwendet und damit abweichende Stichtage zur Berücksichtigung von umgesetzten Maßnahmen festgelegt.

Für die Quellgruppe Verkehr (NFR 1.A.3) wurde von der Verwendung der Aktivitätsratenprognose aus dem Projektionsbericht 2021 abgesehen. Stattdessen nutzt das Umweltbundesamt für die Berechnung eines Trendszenarios für den Verkehr das Verkehrsmodell TREMOD (Transport Emission Model)⁴¹, das Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)⁴² verwendet. Da dieses Modell auch für die Emissionsberichterstattung genutzt wird, ist eine Projektion der Emissionen auf Basis dieses Modells besser geeignet, um die Wirkung von Maßnahmen, wie sie sich in zukünftigen Berichterstattungen niederschlagen werden, zu bewerten. Für das vorliegende nationale Luftreinhalteprogramm wurde mit dem TREMOD-Modell (Version 6.21) ein neues Trendszenario berechnet. Die Verwendung einer aktualisierten TREMOD-Trendprognose wurde notwendig, um die Aktualisierungen für Abgas-Emissionsfaktoren des Handbuches für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs der Version 4.2 (HBEFA 4.2) einzubeziehen. Die alten Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs der Version 4.1 (HBEFA 4.1) wurden durch die neuen Werte aus dem HBEFA 4.2 ersetzt. Im neuen TREMOD-Trendszenario wurden jedoch die Verkehrssituationen, die ebenfalls im Release des HBEFA 4.2 für Deutschland enthalten sind, nicht berücksichtigt. Grund hierfür sind Fehler bei der Zuweisung der Verkehrssituationen. Daher wurden die alten Verkehrssituationen (aus dem HBEFA 4.1) beibehalten und mit den neuen Emissionsfaktoren (des HBEFA 4.2) kombiniert. Zusätzlich wurden auf Basis aktueller Erkenntnisse aus Messungen an diversen Euro 6 / VI Fahrzeugen, die Emissionsfaktoren für diese aktualisiert sowie die Abriebemissionen aus elektrisch erbrachter Fahrleistung angepasst. Die den Projektionen zugrunde liegende Emissionsberichterstattung 2022 verwendet für die Berechnung der Emissionen im Straßenverkehr noch die Vorgängerversion HBEFA 4.1. Die Projektion auf Basis der beschriebenen Aktualisierungen zu berechnen, während die Emissionen des Basisjahres 2005 im Straßenverkehr mit HBEFA 4.1 berechnet wurden, wird als zulässig angesehen, da sich die vorgenommenen Änderungen gegenüber HBEFA 4.1 marginal bis gar nicht auf die Emissionen im Jahr 2005 auswirken.

Eine Beschreibung des TREMOD-Trendszenarios ist im Bericht Allekotte et al. (2020)⁴³ enthalten. Das Szenario baut auf dem Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung (KSPr)⁴⁴ auf und berücksichtigt die darin enthaltenen Maßnahmen im Bereich Verkehr. Außerdem sind die

⁴¹ <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/tremod/>

⁴² <https://www.hbefa.net/de/startseite>

⁴³ Allekotte, M.; Biemann, K.; Heidt, C.; Colson, M.; Knörr, W. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) - Berichtsteil „TREMOD“, UBA-Texte 116/2020, ifeu-Institut, Heidelberg: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-2019>

⁴⁴ Klimaschutzprogramm der Bundesregierung 2030: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>

aktuellen Grenzwertverordnungen der EU (CO₂-Grenzwerte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge bis 2030, CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge bis 2030, Erneuerbare-Energien-Richtlinie bis 2030, Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote) sowie die aktuellen Regelungen in den Bereichen Schienenverkehr, Binnenschifffahrt und Luftverkehr berücksichtigt. Für die Berechnung der Emissionen von mobilen Geräten und Maschinen (z.B. Baumaschinen und Maschinen der Land- und Forstwirtschaft) wird das Modell TREMOD MM (Transport-Emissionsmodell für Mobile Maschinen) verwendet (Heidt et al., 2020⁴⁵). Bei der Emissionsberechnung werden die in der Verordnung (EU) 2016/1628⁴⁶ festgelegten Emissionsgrenzwerte für mobile Maschinen und Geräte berücksichtigt.

Eine Quellgruppe im Sektor 2.D.3, die für Treibhausgasprojektionen nicht relevant ist, ist die „Herstellung und Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten“. Aus diesem Sektor stammt rund die Hälfte der gesamten Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC). Im Projekt „Aktualisierung des deutschen Inventars für NMVOC-Emissionen aus der Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltiger Produkte für die Berichtsjahre 2020, 2021 und 2022 sowie Projektion der NMVOC-Emissionen aus der Herstellung und Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltiger Produkte für die Jahre 2025, 2030 und 2035“ (Projektnummer 157942)⁴⁷ wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes durch die Institut für Ökologie und Politik GmbH Projektionen in dieser Quellgruppe bis 2035 berechnet.

Die Projektion im Bereich Landwirtschaft wurde vom Thünen-Institut mit dem Berichterstattungsmodell py-GAS-EM erstellt. Dabei wurden nicht die zuletzt veröffentlichten Aktivitätsratenprojektionen der Thünen-Baseline 2022-2032 (2022)⁴⁸ verwendet, da darin bis 2032 angenommene Tierbestandsrückgänge gegenüber dem Referenzzeitraum 2018 bis 2020 zum Teil schon in 2022, beispielsweise eine Reduktion der Anzahl der Milchkühe um 2 %, erreicht worden sind. Stattdessen wurde es vor dem Hintergrund der in der Agrarstatistik dokumentierten Entwicklung der letzten Jahre als plausibel angenommen, bis 2030 von weiter rückläufigen Tierzahlen bei Schweinen und Rindern auszugehen. Diese Annahme stützt auch der in 2023 veröffentlichte Bericht „EU Agricultural Outlook for markets, income and environment 2022-2032“⁴⁹. Für die übrigen Tierkategorien wurden die Zahlen aus der Thünen-Baseline 2022-2032 entnommen. Auch für die in 2030 eingesetzte Mineraldüngermenge wurde die Projektion der Thünen-Baseline 2022-2032 nach unten korrigiert und ein Wert entsprechend des Mittelwertes des Referenzzeitraumes 2018 bis 2020 angenommen.

Weitere Annahmen im Bereich Landwirtschaft sind:

⁴⁵ Heidt, C.; Helms, H.; Kämper, C.; Kräck, J. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) - Berichtsteil „TREMOD-MM“, UBA-Texte 117/2020, ifeu-Institut, Heidelberg: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-mm-2019>

⁴⁶ Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=DE>

⁴⁷ Zimmermann, T. und Memelink, R. (2023): Aktualisierung des deutschen Inventars für NMVOC-Emissionen aus der Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltiger Produkte für die Berichtsjahre 2019, 2020 und 2021, UBA-Texte 99/2023, Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-des-deutschen-inventars-fuer-nmvoc-0>

⁴⁸ https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_100.pdf

⁴⁹ https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/1492c9fa-7336-4542-8d3b-04443d4ac0ab_en?filename=agricultural-outlook-2022-report_en.pdf

- Für Milchkühe wurde der Anteil der in Anbindehaltung gehaltenen Kühe um 50 % gegenüber 2020 gesenkt (abgeschwächte Trendfortschreibung). Der Rückgang der Anbindehaltung hat sich in der Vergangenheit nicht in gleicher Höhe auf den Rückgang der Milchkuhzahlen in Deutschland ausgewirkt. Es wird davon ausgegangen, dass dies auch künftig nicht der Fall sein wird. Für andere Rinder wird die Anbindehaltung ebenfalls um 50 % gegenüber 2020 gesenkt.
- Im Zuge der weiteren Umsetzung der Düngeverordnung wurde die streifenförmige Ausbringung auf bestelltem Acker (seit 2020) und Grünland (ab 2025) sowie die unverzügliche Einarbeitung auf unbestelltem Ackerland nach spätestens einer Stunde (ab 2025) angenommen. Auf bestelltem Acker wurden die derzeitigen Anteile der Ausbringung mit Breitverteiler auf die Ausbringung mittels Schleppschlauch umverteilt. Auf Grünland wurde die bisherige Ausbringung mit Breitverteiler zu 80 % auf die Ausbringung mittels Schleppschuh umverteilt und zu 20 % auf die Ausbringung mittels Schleppschlauch. Dies entspricht in etwa dem heutigen Verhältnis von Schleppschlauch und -schuh auf Grünland.
- Der Anteil flüssiger Wirtschaftsdünger, die mit Injektions- und Schlitztechnik ausgebracht werden, wurde entsprechend dem zunehmenden Trend zwischen 2010 und 2020 fortgeschrieben.
- Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen wird auf Basis des Jahres 2021 statisch fortgeschrieben. Eine Erhöhung der Güllemenge ist Bestandteil des WAM-Szenarios. Gleichzeitig wurde der Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen als rückläufig angenommen, wie in der Thünen-Baseline 2022-2032 beschrieben. Die für das Jahr 2032 ausgewiesenen Umfänge der Thünen-Baseline werden mittels linearer Interpolation auf das Jahr 2030 übertragen. Dies entspricht einer Minderung der eingesetzten Energiepflanzen gegenüber 2020 um rund 59 % bezogen auf die enthaltene Stickstoffmasse.

Unter den beschriebenen Annahmen wird bis 2030 eine deutliche Ammoniakminderung gegenüber den für 2020 berichteten Emissionen erreicht. Es verbleibt eine Minderungslücke von knapp 7 kt in 2030. Darüber hinaus wurden potenzielle Emissionsminderungen in Folge der am 01. Dezember 2021 in Kraft getretenen Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)⁵⁰ bewertet. Diese erbringen in Summe eine Minderungswirkung von weiteren 14,4 kt Ammoniak in 2030. Im WM-Szenario ergibt sich somit ein Puffer zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtung für Ammoniak in 2030 von 7,4 kt. Die angenommenen Minderungswirkungen durch die TA-Luft teilen sich auf drei Teilbereiche auf.

- Für G-Anlagen gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV zum Halten oder zur Aufzucht von Sauen, Mastschweinen, Ferkeln, Legehennen, Junghennen und Masthähnchen wurde angenommen, dass der aktuelle Stand an verbauten Abluftreinigungsanlagen mit einer Minderungsleistung von 80 % bei Schweinen erhalten bleibt und beim Geflügel mit einer Minderungsleistung von 70 % leicht zunimmt. Für nahezu den gesamten übrigen Bestand der jeweiligen Tierkategorie in G-Anlagen wurde angenommen, dass 40 % der Emissionen im Stall durch weitere systemintegrierte Maßnahmen gemindert werden. Das kann beispielsweise durch eine Abluftreinigungsanlage mit geringerer Wirksamkeit oder andere technische Maßnahmen im Stall erreicht werden. Die getroffenen Annahmen sind konservativ in dem Sinne, dass sie im Hinblick auf die Emissionsminderungen gemäß der aktuellen Rechtslage und Vollzugspraxis im Wesentlichen lediglich die Mini-

⁵⁰ http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_18082021_IGI25025005.htm

malanforderungen abbilden. Die TA Luft schreibt für Neuanlagen die Reinigung der Abluft als Stand der Technik verbindlich vor. Für Bestandsanlagen gilt dies – mit verschiedenen Übergangsfristen – ebenfalls, es sei denn, die Nachrüstung ist nicht verhältnismäßig oder technisch nicht möglich. In diesem Fall sind dann andere Minderungsmaßnahmen umzusetzen. Alternativ ermöglicht die TA Luft den Einsatz qualitätsgesicherter Haltungseinrichtungen, die nachweislich dem Tierwohl dienen und bei entsprechender Ausführung (z.B. tiergerechter, emissionsoptimierter Außenklimastall) zugleich relevante, in der TA Luft quantitativ spezifizierte, Emissionsminderungen erreichen. Derzeit lässt sich nicht verlässlich abschätzen, welcher Anteil der bestehenden Anlagen mit einer Abluftreinigung nachgerüstet werden kann und welcher Anteil des Neubaus bzw. des Ersatzneubaus in Form von qualitätsgesicherten, tiergerechten und emissionsoptimierten Haltungssystemen erfolgt. Daher wurde für die gesamte (heterogene) Gruppe im Sinne einer konservativen Summenbetrachtung zunächst lediglich die bei Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben mindestens erreichbaren Minderungen angenommen.

- Für 30 % der Tierbestände in V-Anlagen gemäß Anhang 1 der 4. BImSchV zum Halten oder zur Aufzucht von Sauen, Mastschweinen, Ferkeln, Legehennen, Junghennen und Masthähnchen wurde angenommen, dass diese durch systemintegrierte Maßnahmen im Stall die Emissionen um 40 % mindern. Wie oben dargelegt, handelt es sich dabei ebenfalls um eine konservative Annahme (u.a. im Hinblick auf Nachrüstbarkeit und den Neubau tiergerechter Haltungssysteme), um die Emissionsminderung sicher nicht zu überschätzen. Die tatsächlichen Emissionsminderungen müssen und werden über dieser Schätzung liegen.
- Für 80 % der anfallenden Gülle aus G- und V-Anlagen wurde angenommen, dass diese in 2030 mindestens mit Folie oder vergleichbarer Technik abgedeckt gelagert werden.

Neben den oben beschriebenen Quellgruppen, für die Projektionen aus verschiedenen Quellen genutzt wurden, verbleiben einige wenige weitere Quellgruppen, für die diese Quellen keine Projektion der Aktivitätsraten enthalten. Beispiele sind unkontrollierte Brände sowie Brauchstums- und Lagerfeuer oder einige Zeitreihen im Sektor 1.B (Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen). Für diese wurden auf Basis der inventarisierten Entwicklung klar ansteigende oder absinkende Trends im Zeitraum von 2010 bis 2019 fortgeschrieben. Lag in diesem Zeitraum keine klar absinkende oder ansteigende Entwicklung vor, wurde der Mittelwert der Jahre 2010 bis 2019 konstant in die Zukunft fortgeschrieben. Das Corona-Jahr 2020 wurde aufgrund seiner Besonderheiten nicht in die Berechnung einbezogen.

Darüber hinaus wurden im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) Minderungswirkungen von bis Ende 2021 rechtsgültigen nationalen und europäischen Regelungen im Bereich Luftreinhaltung prognostiziert, deren Wirkung durch das Emissionsinventar 2022 noch nicht oder noch nicht vollständig abgebildet ist, die folglich noch Potenzial für zukünftige Emissionsminderungen haben. Dabei wurden insbesondere die Minderungswirkungen folgender Maßnahmen bewertet:

- a) weitere Emissionsminderung durch Entwicklung des Anlagenbestandes von Feuerungsanlagen unter Berücksichtigung der Anforderungen gemäß
 - Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010, die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Oktober 2021 geändert worden ist (1. BImSchV)
 - Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen in der Fassung vom 06. Juli 2021 (13. BImSchV)

- Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen vom 2. Mai 2013, die durch Artikel 2 der Verordnung vom 6. Juli 2021 geändert worden ist (17. BImSchV)
 - Verordnung über mittelgroße Feuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen vom 13. Juni 2019, die durch Artikel 3 Absatz 1 der Verordnung vom 6. Juli 2021 geändert worden ist (44. BImSchV)
 - Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021
- b) weitere Emissionsminderungen durch Auswirkungen auf die Entwicklung des Anlagenbestandes der seit dem ersten nationalen Luftreinhalteprogramm hinzugekommenen Referenzdokumente zu besten verfügbaren Techniken (BREF - Best Available Techniques reference documents), die zum Teil bereits durch die unter a) genannten Regelwerke umgesetzt worden sind
- Durchführungsbeschluss (EU) 2018/1147 vom 10. August 2018 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) für die Abfallbehandlung (Waste Treatment BREF BATC)
 - Durchführungsbeschluss (EU) 2019/2010 vom 12. November 2019 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) in Bezug auf die Abfallverbrennung (Waste Incineration BREF BATC)
 - Durchführungsbeschluss (EU) 2019/2031 vom 12. November 2019 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) für die Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie (Food, Drink and Milk Industries BREF BATC)
 - Durchführungsbeschluss (EU) 2020/2009 vom 22. Juni 2020 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) in Bezug auf die Behandlung von Oberflächen unter Verwendung von organischen Lösungsmitteln, einschließlich der Konservierung von Holz und Holzserzeugnissen mit Chemikalien (STS BREF BATC)
 - Durchführungsbeschluss (EU) 2021/2326 vom 30. November 2021 über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) für Großfeuerungsanlagen (Large Combustion Plants BREF BATC)
- c) Beschluss (EU) 2020/654 vom 13. Mai 2020 über die von Deutschland mitgeteilten einzelstaatlichen Bestimmungen für kleine und mittlere Feuerungsanlagen
- d) Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) – Einzelmaßnahmen (BEG EM) vom 16. September 2021, Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG) vom 7. Dezember 2021 und Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG) vom 7. Dezember 2021
- e) Kohleverstromungsbeendigungsgesetz vom 8. August 2020 (KVBG)

Für Anlagen im Geltungsbereich der 13. und 17. BImSchV wurden die geltenden Grenzwerte ab 2025 als Emissionsfaktoren angenommen, insofern dadurch eine Minderung des gegenwärtig im Emissionsinventar verwendeten Emissionsfaktors vorlag. Eine weitere Absenkung dieser Emissionsfaktoren im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) wurde nur in den Fällen angenommen, in

denen das obere Ende der jeweiligen zugelassenen Bandbreite der Emissionswerte im Jahresmittel der zugehörigen Durchführungsbeschlüsse über Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) niedriger ist als die geltenden Vorgaben der Bundesimmissionschutzverordnungen.

Die Geltungsbereiche der für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung zwischen 0 kW und 1 MW (Kleinf Feuerungsanlagen) bei Einsatz von Festbrennstoffen gültigen Emissionsgrenzwerte unterscheiden sich zwischen den Ökodesign-Verordnungen (EU) 2015/1185 vom 24. April 2015 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräten sowie (EU) 2015/1189 vom 28. April 2015 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoffkesseln und der aktuellen Fassung der 1. BImSchV. Während die Verordnung (EU) 2015/1185 Anforderungen an Anlagen bis 50 kW und die Verordnung (EU) 2015/1189 Anforderungen an Anlagen bis 500 kW festlegen, gilt die 1. BImSchV erst für Anlagen ab 4 kW, dafür aber bis 1 MW. Für die jeweiligen Anlagenklassen wurden den jeweils geltenden Grenzwerten entsprechende Emissionsfaktoren angenommen und in die Berechnung eines gewichteten mittleren Emissionsfaktors über den gesamten Anlagenbestand einbezogen.

Die Projektion der Emissionsfaktoren für Kleinf Feuerungsanlagen basiert, abweichend vom ersten nationalen Luftreinhalteprogramm, auf den Erhebungen im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinf Feuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022) im Auftrag des Umweltbundesamtes, bearbeitet durch die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH. Die projizierten Emissionsfaktoren unterscheiden sich kaum von den für das erste nationale Luftreinhalteprogramm genutzten Emissionsfaktoren aus dem Vorgängervorhaben, liegen aber sowohl für die Aktivitätsraten als auch für die Emissionsfaktoren detaillierter als bisher vor, so dass Anpassungen in Folge der veränderten Förderung sowie Effekte relevanter Maßnahmen besser abgebildet werden konnten. Im Vorhaben wurden die Einsätze der eingesetzten Brennstoffe sowie die mittleren Emissionsfaktoren für alle Anlagenkategorien getrennt nach Haushalten und GHD für die Jahre 2025, 2030 und 2035 fortgeschrieben. Dies ermöglicht es, die gewichteten mittleren Emissionsfaktoren je Brennstoff für die gesamte Quellgruppe, entsprechend dem Aggregationsniveau des ZSE, unter Berücksichtigung der Entwicklung des Anlagenparks zu berechnen. Aufbauend auf den Ergebnissen des Vorhabens wurde eine zusätzliche Minderung der Emissionsfaktoren durch den Anteil der im Rahmen des Marktanzreizprogrammes zur Förderung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP), des Förderprogramms „Heizen mit erneuerbaren Energien“ sowie der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) geförderten Anlagen in 2025, 2030 und 2035 angenommen. Der Anteil an den Brennstoffeinsätzen und die entsprechenden Gewichtungsfaktoren bei der Berechnung des mittleren Emissionsfaktors des Anlagenparks je Brennstoff wurden aus den am Umweltbundesamt zur BEG vorliegenden vierteljährlichen Monitoring-Daten des BAFA und der KfW von Anfang 2021 bis zum zweiten Quartal 2022 abgeleitet. Anlagenzahl, potenzieller Brennstoffeinsatz und Emissionsfaktoren in Anlagen, die durch das Marktanzreizprogramm zur Förderung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP) und das Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ zum Anlagenbestand bis Ende 2020 hinzugekommen sind und bis 2025, 2030 und 2035 im Bestand verbleiben, wurden aus den Evaluationen im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums abgeleitet. Die mittleren PM_{2,5}-Emissionsfaktoren bei der Verbrennung von fester Biomasse sinken durch die strengeren Emissionsanforderungen an geförderte Anlagen beispielsweise in 2030 um gut ein Prozent in privaten Haushalten und um gut fünf Prozent im GHD-Bereich gegenüber den im Vorhaben projizierten Werten.

Die potenziellen Auswirkungen der beiden Reformschritte der BEG aus Sommer⁵¹ und Herbst⁵² 2022 sowie der neuen Förderrichtlinie „Klimafreundlicher Neubau (KFN)“⁵³ unter der BEG konnten noch nicht bewertet werden. Trotz deutlich sinkender Zahlen bei den Förderanträgen bleibt abzuwarten, wie sich der Zubau nicht geförderter Biomasse-Heizungen und damit der Zubau an Biomasse-Heizungen insgesamt entwickeln wird, auch vor dem Hintergrund der in 2023 hinzugekommenen Änderungen beim BEG (u. a. Anpassung der Fördersätze beim Heizungstausch). Aus diesem Grund ist ein engmaschiges Monitoring im Sinne eines Frühwarnsystems erforderlich, um bei Bedarf kurzfristig nachzusteuern können.

Auch bei den Emissionsfaktoren gibt es, wie bei den Aktivitätsraten, einige wenige Emissionsquellen (Zeitreihen) im ZSE sowie in EMMa, die von keiner der beschriebenen Projektionen berührt werden. In diesen Fällen wurde der letzte im ZSE erfasste Emissionsfaktor im Sinne einer konservativen Annahme konstant fortgeschrieben.

5.1.2 Unsicherheiten bei den Prognosen (mit derzeitigen Maßnahmen) im Hinblick auf die Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2020, 2025 und ab 2030

Eine Einschätzung zu den Unsicherheiten des Emissionsinventares für Luftschadstoffe ist im Kapitel 1.7 des informativen Inventarberichts der Emissionsberichterstattung 2022⁵⁴ (IIR, 2022) enthalten und beschrieben. Die aktuellen Einschätzungen für die Unsicherheit der inventarisierten Emissionssummen der NEC-Schadstoffe liegen zwischen -17 % und +31 % für das Jahr 2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022.

In einem nächsten Schritt kommen die dem Mit-Maßnahmen-Szenario im Projektionsbericht der Bundesregierung 2021 (PB, 2021) zugrunde liegenden Unsicherheiten bei der Fortschreibung der Aktivitätsratenentwicklung hinzu. Diese sind im Projektionsbericht 2021 im Kapitel 14.5 in Form einer Sensitivitätsanalyse abgeschätzt. Naturgemäß und durch den Vergleich zurückliegender Prognosen mit tatsächlich eingetretenen Entwicklungen bestätigt, existieren dabei große Unsicherheiten, die umso größer werden, je weiter der projizierte Zeitraum in die Zukunft reicht. Das spiegelt beispielhaft auch die Zerlegung der Gesamtentwicklung des Mit-Maßnahmen-Szenarios im Projektionsbericht 2021 in einzelne Komponenten sowie deren Bewertung hinsichtlich ihres Einflusses auf das Ergebnis der Projektion in Abbildung 24 wider.

Zum Beispiel wird deutlich, dass ein potenziell stärkerer Rückgang des fossilen Primärenergieanteils sich komplementär zu einer möglichen Steigerung des Energiebedarfs verhält. Auch ein stärkeres Wirtschaftswachstum, als im Projektionsbericht 2021 angenommen, würde die Aktivitätsraten und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario ansteigen lassen. In ähnlicher Weise verhalten sich auch die potenziellen Auswirkungen veränderter Aktivitätsraten auf Luftschadstoffemissionen, wenngleich durch eine zunehmende Entkopplung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen, zum Beispiel durch Abgasnachbehandlungssysteme, keine lineare Analogie vorliegt. Es wird zudem deutlich, dass ein stärkeres Wirtschaftswachstum und ein höherer Energiebedarf, als im Projektionsbericht 2021 angenommen, sich unter Umständen nicht durch einen gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szena-

⁵¹ https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-gebaeude-reform.pdf?_blob=publicationFile&v=3

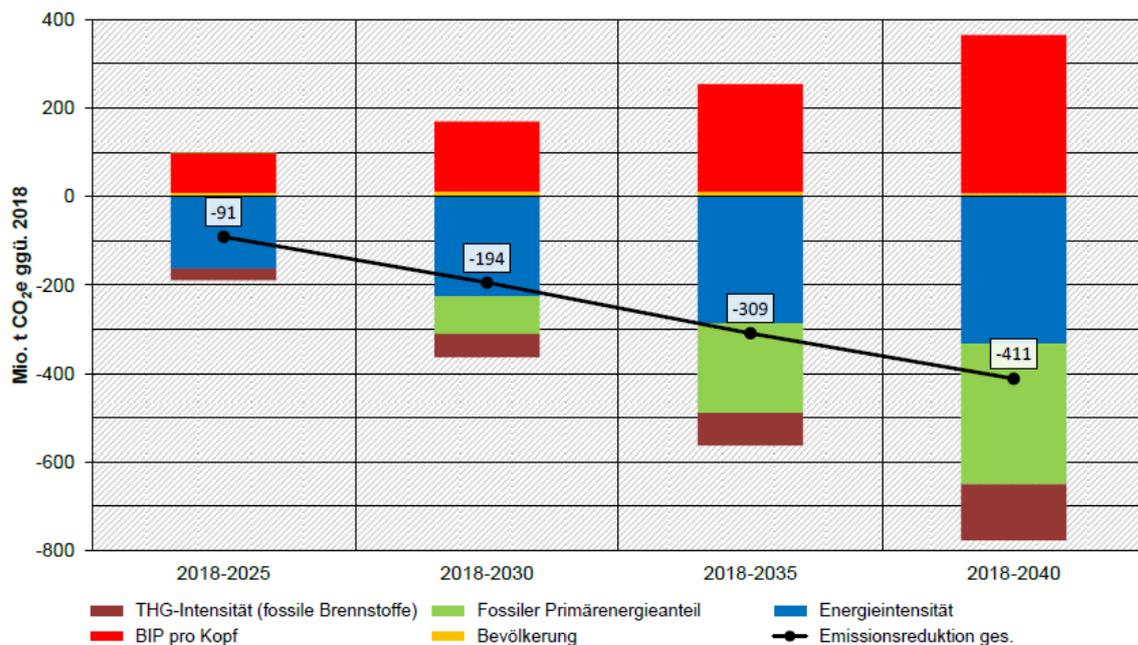
⁵² https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/infoblatt-zweiter-beg-reformschritt.pdf?_blob=publicationFile&v=3

⁵³ https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/rl-bundesfoerderung-kfn.pdf;jsessionid=6D8D2668E2E913AF20324336B9261730.1_cid332?_blob=publicationFile&v=2

⁵⁴ https://iir.umweltbundesamt.de/2022/general/uncertainty_evaluation/start

rio zusätzlichen Rückgang des fossilen Primärenergieanteils ausgleichen lassen. Diese Sensitivitäten müssen daher bei einem Abweichen der Maßnahmenumsetzung von den getroffenen Annahmen beachtet werden. Eine solche Interaktion ist beispielsweise zwischen der Erhöhung des E-Anteils an der Straßenverkehrs-Flotte und dem Kohleausstieg gemäß Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) gegeben.

Abbildung 24: Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Um hinsichtlich dieser Unsicherheiten möglichst aktuelle Projektionen zu berücksichtigen, wird im Kapitel 5.1.4 eine qualitative Sensitivitätsbetrachtung gegenüber den Energieprojektionen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des im August 2023 veröffentlichten Projektionsberichts 2023 für Deutschland und den darin berücksichtigten Maßnahmen sowie Rahmendatenprojektionen ausgeführt.

Hinzu kommen Unsicherheiten bei der Bewertung der zukünftigen Minderungspotenziale der im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) des nationalen Luftreinhalteprogrammes betrachteten bereits umgesetzten Strategien und Maßnahmen im Bereich Luftreinhaltung. Zukünftige Ausnahmeregelungen von gültigen Grenzwerten können nur auf Basis historischer Daten abgeschätzt werden. Mitunter liegen keine Informationen zum Status von Ausnahmeregelungen auf Bundesebene vor. Die tatsächliche Gewährung von Ausnahmen und entsprechende mittlere Emissionsfaktoren kommender Berichterstattungen können von den getroffenen Annahmen abweichen.

Einen deutlichen Einfluss auf die berichteten Emissionen, vor allem für PM_{2,5}, haben die Temperaturen der Heizperiode. Die Projektion wird auf Basis langjähriger mittlerer Temperaturverläufe berechnet. Für das Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021 wurde beispielsweise bei der Berechnung des Wärmebedarfs im Gebäudebereich ein Anstieg der mittleren Temperaturen in Folge des Klimawandels und ein damit verbundener Rückgang der Heizgradtage angenommen. Allein dieser Klimateffekt senkt die projizierten Treibhausgasemissionen deutlich. Die historischen Brennstoffeinsätze zur Wärmebereitstellung im Gebäudebereich in Abhängigkeit der Abweichung der tatsächlichen Temperaturen vom langjährigen Mittel und der

damit verbundenen Schwankungen der Dauer und Intensität der Heizperiode streuen im Betrachtungszeitraum seit 2005 um rund ± 50.000 TJ um den trendbereinigten Mittelwert. Übersetzt in $PM_{2,5}$ -Emissionen entspricht das einer Sensitivität gegenüber dem Witterungseinfluss von knapp ± 2 kt in 2030. Bei vergleichsweise kalten Wintermonaten in 2030 würde sich die Lücke zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtung für $PM_{2,5}$ im Szenario „mit Maßnahmen“ unter sonst gleichen Bedingungen folglich auf knapp 4 kt erhöhen.

Ähnlich sensitiv reagieren die Emissionsprojektionen auf zahlreiche weitere Annahmen, die im Rahmen dieses Programms nicht systematisch untersucht worden sind. Daraus leiten sich die Notwendigkeit eines Puffers zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen sowie des Vorhaltens weiterer optionaler Emissionsminderungsmaßnahmen, die im Falle einer von den Annahmen abweichenden tatsächlichen Entwicklung, kurzfristig umgesetzt werden können, ab.

5.1.3 Datum der Emissionsprognosen

Die erstellten Emissionsprojektionen des Szenarios „mit Maßnahmen“ (WM) entsprechen dem Stand der EMMA-Datenbank zum 02.05.2023. Alle Minderungsmaßnahmen sowie gesetzlichen Regelungen, die zu den in Kapitel 5.1.1 aufgeführten Stichtagen (je Sektor) noch nicht rechtskräftig waren und bewertet werden konnten, wurden im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) nicht berücksichtigt und sind gegebenenfalls im Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM – with additional measures / NEC-Compliance-Szenario) enthalten (vgl. Kapitel 6.1 sowie 7.1).

5.1.4 Sensitivität - Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2023 für Deutschland⁵⁵

Der Projektionsbericht 2023 (PB 2023) für Deutschland gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes (PB 2023) wurde im August 2023 nach Abschluss der Beteiligungsphase zum nationalen Luftreinhalteprogramm veröffentlicht. Da sich insbesondere für die Emissionen von Stickoxiden größere Auswirkungen aus den zwischenzeitlich umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen sowie den zwischenzeitlichen Entwicklungen, die sich auf die Projektion der Rahmendaten auswirken, ergeben, wird nachträglich eine qualitative Einschätzung der Sensitivität des in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Szenarios „mit Maßnahmen“ (WM) gegenüber den Projektionen des Mit-Maßnahmen-Szenarios (MMS) des Projektionsberichts 2023 für Deutschland vorgenommen.

Tabelle 32 stellt ausgewählte Werte der beiden Mit-Maßnahmen-Szenarien (MMS) des Projektionsberichts 2021 und des Projektionsberichts 2023 gegenüber.

⁵⁵ Ralph O. Harthan, Hannah Förster, Kerstin Borkowski, Hannes Böttcher, Sibylle Braungardt, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Luca Lena Jansen, Wolfram Jörß, Peter Kasten, Charlotte Loreck, Sylvie Ludig, Felix Chr. Matthes, Roman Mendelewitsch, Lorenz Moosmann, Christian Nissen, Julia Repenning, Margarethe Scheffler, Inia Steinbach, Malte Bei der Wieden, Kirsten Wiegmann, Öko-Institut, Berlin, Freiburg, Darmstadt, Heike Brugger, Tobias Fleiter, Tim Mandel, Matthias Rehfeldt, Clemens Rohde, Songmin Yu, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Jan Steinbach, Jana Deurer, IREES GmbH, Karlsruhe, Roland Fuß, Joachim Rock, Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Sascha Adam, Karsten Dunger, Claus Rösemann, Wolfgang Stümer, Bärbel Tiemeyer, Cora Vos, Thünen-Institut, Braunschweig, Hamburg, Eberswalde (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland, Climate Change 39/2023: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>

Tabelle 32: Vergleich ausgewählter Trendprognosen des Primärenergie-, Endenergie- und Bruttostromverbrauchs sowie der Bruttostromerzeugung für die Jahre 2030 und 2040 in den Mit-Maßnahmen-Szenarien des PB 2021 und des PB 2023

	2030	2030	2040	2040
	MMS – PB 2021	MMS – PB 2023	MMS – PB 2021	MMS – PB 2023
Primärenergieverbrauch	10.791 PJ	10.071 PJ	9.021 PJ	8.784 PJ
davon Braunkohle	627 PJ	30 PJ	20 PJ	6 PJ
davon Steinkohle	1.048 PJ	584 PJ	473 PJ	406 PJ
davon fossile Gase	2.731 PJ	2.340 PJ	2.230 PJ	1.310 PJ
davon Biomasse	1.209 PJ	1.371 PJ	1.040 PJ	1.171 PJ
Endenergieverbrauch	8.278 PJ	7.804 PJ	7.293 PJ	6.904 PJ
Bruttostromerzeugung	637,4 TWh	809,4 TWh	694,0 TWh	1.165,6 TWh
Anteil Erneuerbarer	59,6 %	69,2 %	81,5 %	77,8 %
Bruttostromverbrauch	597,8 TWh	660,6 TWh	673,4 TWh	931,6 TWh
Anteil Erneuerbarer	62,9 %	85 %	83,9 %	97 %
Stromhandelssaldo (negatives Vorzeichen = Netto-Export)	-39,6 TWh	-148,8 TWh	-20,5 TWh	-234,0 TWh

Der Primärenergieverbrauch liegt im MMS des PB 2023 insgesamt sowohl in 2030 als auch in 2040 leicht unter dem des PB 2021. Während die Primärenergieverbräuche aus fossilen Energien schneller zurückgehen als noch im PB 2021 angenommen, dies trifft insbesondere auf Kohle zu, liegt beispielsweise der Biomasseeinsatz in 2030 und 2040 etwas höher als im PB 2021. Die Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren liegt in absoluten Zahlen bereits in 2030 deutlich höher als im PB 2021 projiziert, dies zeigt sich auch an einem deutlichen Anstieg der Bruttostromerzeugung insgesamt sowie am relativen Anteil Erneuerbarer an der Bruttostromerzeugung. In 2040 liegt der relative Anteil Erneuerbarer zwar etwas unter dem des PB 2021, in absoluten Zahlen liegt die Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren in 2040 aber im PB 2023 gut 340 TWh über dem PB 2021. Am Bruttostromverbrauch erreichen die Erneuerbaren in 2040 sogar einen rechnerischen Anteil von 97 %. Dies geht jedoch einher mit einem deutlich negativen Stromhandelssaldo, also einem hohen Netto-Export an Strom. Einfach übersetzt heißt das, Deutschland erzeugt viel Strom, wenn die Sonne scheint und der Wind weht, kann diesen dann aber nicht zeitgleich selbst verbrauchen und exportiert große Mengen. Die verbleibende Kapazität an witterungsunabhängiger Stromerzeugung ist nötig, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Aus Gründen der Versorgungssicherheit ist somit eine deutliche Überkapazität an Bruttostromerzeugung vorhanden, die je nach Witterung dann einen Stromexport oder Stromimporte verursacht. Unter den Annahmen im MMS des PB 2023 ergibt sich im Jahresmittel in den projizierten Jahren dennoch ein deutlicher Netto-Export, der bis 2035 deutlich ansteigt und erst danach bis 2050 wieder rückläufig ist.

Überschlägig lässt sich schließen, dass der schnellere Zuwachs an Erneuerbaren im MMS des PB 2023 gegenüber dem PB 2021, den Anstieg der Bruttostromerzeugung, unter anderem notwendig durch einen höheren Bruttostromverbrauch, emissionsseitig kompensieren könnte. Vor allem der schnellere Rückgang der Stromerzeugung aus Kohle, im Wesentlichen marktgetrieben durch den mittlerweile deutlich höher angenommenen CO₂-Preisfad als noch im PB 2021, geht mit einer deutlichen Minderung der Luftschadstoffemissionen einher. Da der auf diese Weise beschleunigte Kohleausstieg im MMS des PB 2023 in 2030 nicht wie im vorliegenden WAM-Szenario überwiegend durch eine deutlich höhere Verstromung von Erdgas kompensiert wird, sondern auch durch einen schnelleren Zuwachs der Erneuerbaren aufgefangen werden kann, ist davon auszugehen, dass sich insbesondere bei NO_x höhere Minderungen als in Tabelle 33 (und somit auch geringere Emissionen in 2030 als in Tabelle 30) ergeben. Mit großer Unsicherheit belegt, ist die angenommene mittelfristige Entwicklung der Großhandelspreise für Erdgas im Zusammenspiel mit den Investitionsentscheidungen in Stromerzeugungskapazitäten im Zeitraum bis 2030, die im MMS des PB 2023 dazu führt, dass die Kompensation des schnelleren Rückgangs der Stromerzeugung aus Kohle durch einen weniger deutlichen Zuwachs der Erzeugungskapazitäten aus Erdgas erfolgt, als noch im vorliegenden WAM-Szenario angenommen (vgl. Tabelle 33). Ob die mit dem MMS des PB 2023 verbundene höhere Minderung der Luftschadstoffemissionen (insbesondere NO_x) tatsächlich eintritt, hängt wesentlich davon ab, in welcher Geschwindigkeit Deutschland die gesteckten Ziele beim Ausbau der Erneuerbaren erreicht.

Gesondert soll auf den höheren Einsatz von Biomasse im MMS des PB 2023 gegenüber dem PB 2021 eingegangen werden, da dieser weiterhin uneingeschränkt als erneuerbar verbucht wird, jedoch mit hohen Luftschadstoffemissionen, die beispielsweise deutlich höher als beim Einsatz von Erdgas liegen, verbunden ist. Es bedarf einer umfassenden Quantifizierung, ob der höhere Biomasseeinsatz im MMS des PB 2023 auch tatsächlich, wie zu erwarten, insgesamt mit höheren Feinstaubemissionen im Vergleich zum vorliegenden WM-Szenario verbunden ist oder durch den geringeren Primärenergieverbrauch bei fossilen Energieträgern kompensiert werden kann.

Den größten Anteil an der im MMS des PB 2023 eingesetzten Biomasse hat feste Biomasse. An diesem Einsatz wiederum hat der Gebäudesektor einen bedeutenden Anteil. Für die Projektion spielt es in diesem Sektor eine entscheidende Rolle, auf welchen Annahmen der Zubau an Anlagen bis 2030 fußt und wie sich der Energiebedarf im Szenario entwickelt. Im MMS des PB 2023 sind die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) mit der Erhöhung des Erneuerbaren Anteils auf 65 % beim Einbau einer neuen Heizung sowie die Anpassung der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zur generellen Gleichstellung aller Erfüllungsoptionen nicht bewertet worden. Zur Förderung wurde im PB 2023 angenommen, dass neue Anlagen zum Einsatz fester Biomasse in Gebäuden bis Ende 2022 mit im Schnitt 30 % gefördert werden und ab 2023 mit 10 % bzw. 20 % bei Inanspruchnahme der Austauschförderung. Das GEG wurde in der zum Zeitpunkt der Berechnung geltenden Fassung berücksichtigt (08.08.2020, zuletzt geändert am 22.07.2022). Trotz dieser Annahmen ergibt sich in 2030 und in 2040 bereits ein höherer Einsatz an Biomasse im Gebäudesektor als im PB 2021. Unter den Annahmen, dass das GEG, wie verabschiedet (08.09.2023), alle Erfüllungsoptionen für die 65 % Erneuerbare-Energien-Vorgabe gleichberechtigt zulässt und auch die Förderung in der BEG entsprechend hohe Fördersätze für alle Erfüllungsoptionen zulässt, ist davon auszugehen, dass sich ein höherer Biomasseeinsatz im Gebäudesektor in 2030 und darüber hinaus als im MMS des PB 2023 einstellt. Der Peak des Einsatzes fester Biomasse im Gebäudesektor wird im MMS des PB 2023 in 2038 erreicht. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass die Einhaltung der Reduktionsverpflichtung für Feinstaub (PM_{2,5}) ab 2030 über Jahre hinweg gefährdet sein kann.

Diese Betrachtung des im Gebäudesektor zu erwartenden Anteils der verschiedenen dezentral eingesetzten erneuerbaren Energien muss jedoch ergänzt werden um die weiteren bereits beschlossenen Maßnahmen hin zu einer klimaneutralen Gebäudeenergieversorgung. Maßgeblichen Einfluss auf die tatsächliche Einsatzmenge von Biomasse in diesem Sektor wird auch von den Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebereich – und zwar sowohl des Anspruchsniveaus als auch insbesondere der sich realisierenden Sanierungsrate – ausgehen. So sind bei hohen Sanierungsraten Minderungen des für die Feinstaubemissionen besonders relevanten prognostizierten Biomasseverbrauchs denkbar. Ebenso sind die Auswirkungen der bereits beschlossenen höheren Effizienzstandards im Neubau zu berücksichtigen. Hinzu kommt der in der BEG-Förderung vorgesehene Zuschlag für Biomasseheizungen, die nachweislich einen Emissionsgrenzwert für Staub von $2,5 \text{ mg/m}^3$ einhalten, wodurch der Einbau von bereits sehr feinstaubarmen Anlagen politisch incentiviert wird. In vergleichbarer Weise könnte sich das nun (im Jahr 2023 mit Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze) angeschobene Instrument der verpflichtenden kommunalen Wärmeplanung auswirken. Der tatsächlich erforderliche Biomasseverbrauch in dezentralen Heizungsanlagen kann sinken, falls ein höherer Anteil als angenommen durch die nunmehr angestoßenen Fernwärmeplanungen und effizienter Abwärmennutzung z.B. aus dem Industrie- und Dienstleistungssektor, abgedeckt werden kann. Allerdings stehen diese Prozesse noch sehr am Anfang, so dass belastbare Abschätzungen aktuell nicht möglich sind, inwieweit das Zusammenwirken der verschiedenen Faktoren letztlich im Verhältnis zum WAM-Szenario zu einer Zunahme, Stagnation oder Rückgängen bei der Gesamtmenge der Feinstaubemissionen im Gebäudebereich führt.

Vor dem Hintergrund dieser noch bestehenden Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Feinstaubemissionen aus dem Gebäudebereich wird die Bundesregierung fortlaufend prüfen, wie sich die neuen Regelungen im Gebäudebereich auf die Entwicklung der Feinstaubemissionen auswirken. Dabei steht die Bundesregierung zugleich fest zu der ebenfalls vom Deutschen Bundestag bestätigten Verpflichtung, die Feinstaubemissionen zu senken, um europäischen Reduktionsverpflichtungen ab 2030 einzuhalten. Daher ist mindestens ein Beitrag in Höhe von ca. $1,4 \text{ kt PM}_{2,5}$ aus dem Gebäudebereich vorgesehen. Um dies zu erreichen, sind die Maßnahmen in Tabelle 37 und 38 Bestandteil dieses NLRP. Sollten aufgrund der genannten, anderen Elemente der Wärmewende im Vorfeld Entwicklungen belegt werden können, durch die diese Einsparung anderweitig gedeckt werden kann, könnten diese Maßnahmen entsprechend entfallen.

Aus dieser qualitativen Sensitivitätsbetrachtung lassen sich wertvolle Erkenntnisse zur Interpretation der Szenarien des vorliegenden nationalen Luftreinhalteprogrammes gewinnen. Die vorgesehenen zusätzlichen Maßnahmen und Maßnahmenoptionen machen es möglich, auf von den Projektionen abweichende Entwicklungen zu reagieren und die Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 sicherzustellen. Insbesondere bei Feinstaub ist ein engmaschiges Monitoring neu installierter Heizungen auf Basis fester Biomasse geboten. Grundlage für die Feststellung der Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen bildet die Aktualisierung der Emissionsprojektionen für bestimmte Luftschadstoffe, die alle zwei Jahre an die EU-KOM zu berichten ist, das nächste Mal bis zum 15. März 2025.

5.2 Voraussichtliche Auswirkungen im Hinblick auf die Verbesserung der Luftqualität (Szenario „mit Maßnahmen“), einschließlich voraussichtlicher Umfang der Einhaltung

5.2.1 Qualitative Beschreibung der voraussichtlichen Verbesserung der Luftqualität

Die Luftqualitätsgrenzwerte der EU wurden für alle geregelten Schadstoffe mit Ausnahme von NO₂ für die jeweils geltenden Mittelungszeiträume (z.B. Jahres-/Tagesmittel) in 2021 flächendeckend eingehalten. Die vorläufige Auswertung für 2022 liefert dasselbe Bild. Der NO₂-Jahresmittelgrenzwert wurde in 2021 an 3 verkehrsnahen Messstationen und in 2022 an 2 verkehrsnahen Messstationen (vorläufige Auswertung) überschritten. Angesichts der Emissionsentwicklung ist davon auszugehen, dass auch bei NO₂ ab 2023 oder 2024 keine Überschreitung des gültigen Grenzwertes mehr auftritt. Für 2025 und 2030 wurde daher im WM-Szenario keine Chemie-Transportmodellierung durchgeführt.

Anders ist die Situation bei den Zielwerten für Ozon. Angesichts des in Europa zu beobachtenden Anstiegs der mittleren Ozonkonzentrationen ist auch zukünftig nicht mit einer flächendeckenden Einhaltung des Zielwertes oder des Langfristzieles zu rechnen. Meteorologisch günstige Jahre können diesbezüglich eine Ausnahme begründen.

6 Zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für 2020 und 2030 sowie der Emissionszwischenziele für 2025 in Betracht gezogene Politikoptionen

6.1 Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene)

Allgemeine Hinweise:

- Für das Jahr 2020 werden für die weiterführenden Maßnahmen keine Minderungswirkungen quantifiziert, da dieses bereits in der Vergangenheit liegt und die Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie gemäß Emissionsberichterstattung 2022 für das Jahr 2020 für alle geregelten Schadstoffe eingehalten wurden (vgl. Kapitel 4.1.2).
- Die in den nachfolgenden Tabellen beschriebenen Maßnahmen und Maßnahmenpakete beeinflussen sich zum Teil gegenseitig. Die angegebenen Minderungspotenziale geben daher nicht in jedem Fall das Minderungspotenzial der Einzelmaßnahme oder des einzeln betrachteten Maßnahmenpaketes an, sondern sind als zusätzliches Minderungspotenzial der jeweiligen Maßnahme oder des jeweiligen Maßnahmenpaketes im vorläufigen Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM) unter Berücksichtigung der vorgeschalteten Maßnahmen und Maßnahmenpakete zu interpretieren.
- Sämtliche Maßnahmen, die zur Erfüllung der Emissionsreduktionsverpflichtungen für Feinstaub beitragen, mindern auch die Emissionen von Black Carbon (BC). Dies ist in den nachfolgenden Maßnahmentabellen jeweils bei den betroffenen Schadstoffen angegeben.
- Die abgeschätzten Reduktionspotenziale der Maßnahmen aus den verschiedenen Politikbereichen hängen von ihrer konkreten Ausgestaltung ab. Sofern die Umsetzung der Maßnahmen zu geringeren Reduktionspotenzialen führt, ist die Einhaltung der Reduktionsverpflichtung durch eine Modifikation bei anderen Maßnahmen oder durch zusätzliche (ggf. noch nicht im nationalen Luftreinhalteprogramm enthaltenen) Maßnahmen sicherzustellen.
- Die Maßnahmen wurden entsprechend des in Kapitel 6.1 beschriebenen Informationsstandes (in keinem Fall nach dem 30.04.2023) ausgestaltet und entsprechende Annahmen zur Quantifizierung der potenziellen Maßnahmenwirkung getroffen. Die dargestellten Annahmen sind Grundlage für die Berechnung der Emissionsszenarien zum NLRP. Entwicklungen nach dem jeweils betrachteten Stichdatum konnten nicht mehr berücksichtigt werden. Maßnahmen, die inzwischen festgelegt bzw. gesetzlich beschlossen sind (z. B. Lkw-Maut und Novelle des Gebäudeenergiegesetzes), gehen bei der nächsten Aktualisierung der Emissionsprojektionen ins Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) über und ihre potenzielle Emissionsminderungswirkung muss auf Basis der gesetzlichen Ausgestaltung neu quantifiziert werden.
- Zu den Maßnahmen in Tab. 37 und 38 wird hiermit auf die Erläuterungen in Abschnitt 5.1.4. zu den weiteren Entwicklungen der Feinstaubemissionen im Gebäudebereich ausdrücklich hingewiesen.
- Die Mitgliedstaaten sind – neben nationalen und lokalen Maßnahmen – auf eine anspruchsvolle und zugleich umsetzbare Emissionsgesetzgebung der EU angewiesen: die Emissionsgesetzgebung ist bei den meisten Emittenten zwischenzeitlich auf EU-Ebene geregelt, bspw. bei Pkw, leichten und schweren Nutzfahrzeugen, mobilen Maschinen und Geräten, Kleinfeuerungsanlagen (Ökodesign-Verordnungen), mittelgroße Feuerungsanlagen (MCPD) sowie im

Fall von industriellen Emissionen (IED). Das vorliegende nationale Luftreinhalteprogramm berücksichtigt daher auch Minderungsbeiträge von Maßnahmen auf EU-Ebene.

- Die hier enthaltenen Maßnahmen bilden eine Grundlage für die ressortinterne finanzielle Prioritätensetzung und stehen unter dem Vorbehalt der im Rahmen der Haushalts- und Finanzplanung verfügbaren Haushaltsmittel sowie der verfassungsmäßigen Zuständigkeit des Bundes. Sie beinhalten weder eine (Vor-)Festlegung im Hinblick auf den Etat noch präjudizieren sie den Haushaltsgesetzgeber.
- Alle im Programm genannten oder sich aus ihm ergebenden Maßnahmen im Bereich des Bundes sind im Rahmen der im jeweiligen Einzelplan bzw. Sondervermögen verfügbaren finanziellen und personellen Mittel zu erbringen.

Tabelle 33: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung bis idealerweise 2030

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung</p>	<p>Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030</p> <p>Laut Koalitionsvertrag von 2021 ist zur Einhaltung der Klimaschutzziele auch ein beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung nötig, der idealerweise bis 2030 gelingt. Bei der Berechnung des Minderungspotenziales wurde angenommen, dass bis zum 31.12.2029 alle Kohlekraftwerke vom Netz gehen und nur noch ein geringfügiger Kohleeinsatz in Kraftwerken der Industrie, für nicht kurzfristig alternativ mit ausreichend Energie zu versorgende Produktionsprozesse, und in Haushalten über 2030 hinaus stattfindet. Die kurz- und mittelfristige Kompensation erfolgt in der Projektion im Wesentlichen durch Erdgas, zu einem geringen Anteil auch durch einen verstärkten Zubau erneuerbarer Energien und durch einen verstärkten Einsatz von Wasserstoff gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021.⁵⁶</p> <p>Diese Annahme wird beispielsweise auch von den aktuellen Szenarien gemäß Strompreisprognose der Prognos AG im Auftrag des VBW (Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.)⁵⁷ gestützt. Eine Analyse zur Versorgungssicherheit der Bundesnetzagentur aus 2023⁵⁸ zeigt ebenfalls auf, dass die vom Netz gehende Erzeugungskapazität aus Kohle durch Gas ersetzt wird, wobei eine Verschiebung hin zur Abdeckung von Spitzenlastsituationen erfolgt und die installierte Leistung an Gaskraftwerken somit nicht die gleiche Strommenge, wie derzeit aus Kohlekraft erzeugt, bereitstellen wird.</p> <p>Ein erster Schritt zur Umsetzung dieser Maßnahme wurde im Dezember 2022 mit einer Änderung des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes (KVBG) vorgenommen, der einen beschleunigten Ausstieg aus der Braunkohleverstromung im Rheinischen Revier bis 2030 festschreibt.</p>
<p>Betroffene Schadstoffe</p>	<p>NO_x, SO_x, NH₃, Gesamtstaub, PM₁₀, PM_{2,5}, BC</p>

⁵⁶ Der Projektionsbericht 2023 geht bis 2025 im Mit-Maßnahmenzenario von einem vergleichbaren Zuwachs der Kapazitäten zur Energieerzeugung aus Erdgas aus. Bis 2030 ist der Einsatz fossiler Gase dann aber durch einen stärkeren Zubau an Erneuerbaren deutlich schneller rückläufig, als hier angenommen. Bei einer entsprechenden Entwicklung könnte insbesondere das NO_x-Minderungspotenzial dieser Maßnahme in 2030 deutlich unterschätzt sein (vgl. Kapitel 5.1.4).

⁵⁷ https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2022/Downloads/vbw_Strompreisprognose.pdf

⁵⁸ https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/V/versorgungssicherheitsbericht-strom.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Ziel(e)	Energieversorgung: <ul style="list-style-type: none"> — Steigerung der Nutzung erneuerbarer Energien — Umstellung auf weniger CO₂-intensive Brennstoffe 																
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	<ul style="list-style-type: none"> — Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung 																
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	<ul style="list-style-type: none"> — Energieversorgung 																
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2022 (politische Verständigung im Rheinischen Revier) Abschluss: 2030																
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (siehe Tabelle 9).	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)																
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	<p>Der Endenergiebedarf des Mit-Maßnahmen-Szenarios des Projektionsberichts 2021 wurde als unverändert durch den beschleunigten Ausstieg aus der Kohleverstromung angenommen (vgl. Tabelle 31). Gleichzeitig wurde die Kohleverstromung beginnend mit dem Jahr 2022 schrittweise bis 2030 (31.12.2029) heruntergefahren. Es wurde angenommen, dass die entstehende Lücke zur Deckung des Endenergieverbrauchs im Wesentlichen durch einen verstärkten Einsatz von Erdgas und einem damit verbundenen Zubau der Gaskraftwerkskapazitäten geschlossen wird. Der Primärenergieverbrauch für diese wurde über einen mittleren Wirkungsgrad von 50 % abgeleitet. Bis 2030 wurde ein leicht verstärkter Zubau der Erneuerbaren gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021 angenommen, der sich nach 2030 dann deutlich verstärkt und vorübergehende Grundlastherzeugung aus Gas schrittweise substituiert. Zusätzlich wurde ein höherer Einsatz von Wasserstoff ab 2025 als im Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021 angenommen. Diese Annahme ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass das NO_x-Minderungspotenzial in 2030 deutlich geringer als in 2025 ausfällt.</p> <p>Die Modellierung erfolgte in der EMMA-Datenbank am UBA.</p>																
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	<p>2025:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NH₃</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>27,2 kt</td> <td>53,4 kt</td> <td>0,1 kt</td> <td>1,3 kt</td> </tr> </table> <p>2030:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NH₃</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>19,6 kt</td> <td>55,3 kt</td> <td>0,1 kt</td> <td>1,2 kt</td> </tr> </table>	NO _x	SO ₂	NH ₃	PM _{2,5}	27,2 kt	53,4 kt	0,1 kt	1,3 kt	NO _x	SO ₂	NH ₃	PM _{2,5}	19,6 kt	55,3 kt	0,1 kt	1,2 kt
NO _x	SO ₂	NH ₃	PM _{2,5}														
27,2 kt	53,4 kt	0,1 kt	1,3 kt														
NO _x	SO ₂	NH ₃	PM _{2,5}														
19,6 kt	55,3 kt	0,1 kt	1,2 kt														
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten	<p>Die Höhe der Minderung hängt stark von der konkreten Ausgestaltung dieser Klimaschutzmaßnahme ab, die derzeit noch nicht abschließend feststeht. Grundsätzlich sind im Verfahren wesentliche Änderungen möglich. Bei einer Kompensation der regelbaren fossilen Erzeugungsleistung durch alternative nicht-fossile Brennstoffe, wie beispielsweise Wasserstoff, ist aus Gründen der Planungssicherheit frühzeitig eine zielgerechte und langfristig stabile Festlegung von Emissionsgrenzwerten anzustreben. Auch ein beschleunigter Ausbau der Erneuerbaren Energien, wie im Koalitionsvertrag 2021 beschrieben, trägt zur langfristigen Sicherung insbesondere der NO_x-Emissionsminderung bei. Die Emissionen aus dem anstelle von Kohle teilweise angenommenen Einsatz von nicht-fossilen Gasen, wurden mittels aus der gültigen Emissionsgesetzgebung für Erdgas abgeleiteten Emissionsfaktoren berechnet.</p>																

Tabelle 34: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Novellierung der 17. BImSchV in 2023

Bezeichnung und Kurzbeschreibung	<p>Novellierung der 17. BImSchV in 2023 (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen)</p> <p>Mit dieser Maßnahme soll unter Berücksichtigung der Emissionsreduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 unter anderem eine Aufhebung der möglichen Ausnahmeregelungen bezüglich NO_x gemäß § 10 der 17. BImSchV für Abfallverbrennungsanlagen umgesetzt werden. ⁵⁹</p>
Betroffene Schadstoffe	NO _x
Ziel(e)	Energieversorgung: — Einbau von Emissionsminderungstechnologien
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	— Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	— Energieversorgung — ggf. Industrieprozesse
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2023 Abschluss: 2029
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (siehe Tabelle 9).	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	Auf Basis der Emissionsberichterstattung 2022 wurde der Emissionsfaktor für NO _x (ausgedrückt als NO ₂) in 2030 für in Abfallverbrennungsanlagen gemäß 17. BImSchV verbrannte Abfälle auf 100 mg/m ³ (bei 11 % Bezugssauerstoffgehalt) festgesetzt. Das entspricht einem Emissionsfaktor von rund 55,9 kg/TJ. Um den Emissionsgrenzwert im Jahresmittel sicher einzuhalten, würden die Anlagen im tatsächlichen Betrieb weniger emittieren. Die Annahme ist daher als konservativ anzusehen. Die Modellierung erfolgte in der EMMa-Datenbank am UBA.
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	2025: - 2030: 2,2 kt NO _x
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten	Insbesondere mögliche fortbestehende Ausnahmeregelungen oder eine verzögerte Umsetzung könnten das Minderungspotenzial in 2030 verringern.

⁵⁹ Die Ausgestaltung der Maßnahmen im NLRP entspricht grundsätzlich dem Kabinettsbeschluss vom 23.08.2023, der erst nach dem Stichtag des NLRP vorlag.

Tabelle 35: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – optionale Maßnahme Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung</p>	<p>(Optionale) Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen) für feste (außer Kohle), flüssige und biogene Brennstoffe</p> <p>Eine entsprechende Maßnahme war bereits als optionale Maßnahme h) im ersten nationalen Luftreinhalteprogramm Deutschlands aus 2019 („Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe außer Kohle“) enthalten. Entsprechend wird die Einführung eines NO_x-Emissionsgrenzwertes im Jahresmittel für Anlagen mit mehr als 1.500 Betriebsstunden pro Jahr von 85 mg/m³ (Bezugssauerstoffgehalt gemäß § 3 der 13. BImSchV vom 06. Juli 2021) bei der Verbrennung von festen (ausgenommen Kohle), flüssigen und biogenen Brennstoffen vorgesehen. Die Maßnahme wird wie im nationalen Luftreinhalteprogramm von 2019 als optional (wenn notwendig) ins WAM-Szenario aufgenommen. Bei einer Prüfung ist insbesondere zu untersuchen, ob herabgesetzte Grenzwerte mit der Dekarbonisierung der Industrie (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff) vereinbar sind.</p>
<p>Betroffene Schadstoffe</p>	<p>NO_x</p>
<p>Ziel(e)</p>	<p>Energieversorgung und Industrieprozesse: — Einbau von Emissionsminderungstechnologien</p>
<p>Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)</p>	<p>— Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung</p>
<p>Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren</p>	<p>— Energieversorgung — Industrieprozesse</p>
<p>Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)</p>	<p>Beginn: - Abschluss: -</p>
<p>Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)</p>	<p>Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)</p>
<p>Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)</p>	<p>Für die betroffenen Quellgruppen wurde ein Anteil des Brennstoffeinsatzes in Anlagen mit mehr als 1.500 Betriebsstunden pro Jahr von rund 80 % angenommen. In einzelnen Quellgruppen laufen bis zu 100 % der Anlagen mehr als 1.500 Stunden im Jahr. In sehr wenigen Quellgruppen läuft hingegen kaum eine Anlage mehr als 1.500 Stunden im Jahr. Die Annahme wird über alle Anlagen hinweg als konservativ eingeschätzt. In den betroffenen Zeitreihen wurde ein mittlerer Emissionsfaktor (IEF) nach folgender Gewichtung berechnet:</p> $0,2 \cdot IST - IEF + 0,8 \cdot \frac{85 \frac{mg}{m^3}}{Umrechnungsfaktor} = IEF$ <p>Dabei ist zu beachten, dass je nach Brennstoff, mittlerem Rauchgasvolumen und Bezugssauerstoffgehalt ein spezifischer Umrechnungsfaktor für die Umrechnung von mg/m³ in kg/TJ genutzt wird. Der IST-IEF steht für den IEF einer Zeitreihe in 2020 gemäß Emissionsberichterstattung 2022. Die Modellierung erfolgte in der EMMa-Datenbank am UBA.</p>

Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	2025: - 2030: 3,2 kt NO _x
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten	Die Unsicherheit in der Quantifizierung besteht darin, den tatsächlichen Brennstoffeinsatz in betroffenen Anlagen in einem Projektionsjahr abzuschätzen. Es wird angenommen, dass sich der Brennstoffeinsatz in Anlagen mit Ausnahmegenehmigung und der Brennstoffeinsatz in Anlagen, die den geltenden Grenzwert im Jahresmittel mit einem Sicherheitsabstand einhalten, in etwa die Waage halten. Wenn keine Ausnahmen gewährt werden, ist die Quantifizierung des Minderungspotenziales als konservativ anzusehen. Da die Einhaltung des vorgeschlagenen Grenzwertes bei einigen Anlagen Investitionen und bauliche Ergänzungen bedingt, ist ein mehrjähriger Umsetzungszeitraum vorzusehen. Dadurch schwindet das bis 2030 zu realisierende Minderungspotenzial mit fortschreitender Zeit.

Tabelle 36: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen (Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG))

Bezeichnung und Kurzbeschreibung	65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen Die im Koalitionsvertrag vereinbarte 65 % Erneuerbare Energien Vorgabe beim Einbau von neuen Heizungen soll laut eines Beschlusses des Koalitionsausschusses ab 1.1.2024 gelten. Dafür haben BMWK und BMWSB eine Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) vorgelegt. Die Maßnahme wurde auf Basis des Kabinettsbeschlusses vom 19.04.2023 bewertet. Sie führt potenziell zu einer Erhöhung des Biomasseeinsatzes, insbesondere in Bestandsgebäuden gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021. Sie wurde daher ins NEC-Compliance-Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM) aufgenommen, da ihre Umsetzung zum Zeitpunkt der Erstellung der Projektionen wahrscheinlich war und insbesondere die potenziellen PM _{2,5} -Mehremissionen durch weitere Maßnahmen gegebenenfalls kompensiert werden müssen.
Betroffene Schadstoffe	NO _x , SO ₂ , NH ₃ , Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , BC
Ziel(e)	Wärmebereitstellung in Gebäuden — Wesentlicher Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele.
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	— Regulierung
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	— Wärmebereitstellung in Gebäuden (Haushalte und GHD) — ggf. Energieversorgung (hinsichtlich Wärmepumpen)
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2023 Abschluss: fortlaufend
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)

<p>Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)</p>	<p>Das laufende Forschungsvorhaben „Wirkmechanismen von Regelungen und Förderinstrumenten des Bundes und der Länder auf den Einsatz fester Biomasse in der Wärmeerzeugung“ (FKZ 3720435040)⁶⁰ im Auftrag des Umweltbundesamtes, bearbeitet durch die Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und den Öko-Institut e. V., schätzt eine potenzielle Erhöhung des Biomasseeinsatzes in 2030 in Gebäuden durch die im Konzeptpapier⁶¹ zur GEG-Novelle vorgeschlagene Variante a) der Umsetzung, unter Annahme einer Heizungstauschrate im Bestand von 3,25 %, einer Zulässigkeit von Biomasseheizungen ab Gebäudeeffizienzklasse F und darunter sowie einer verpflichtenden Kopplung mit einer solarthermischen Anlage, um rund 24,5 TWh ab. Vereinfachend wurde dieser Wert auch für die Berechnungen im Rahmen der Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogrammes übernommen, da die Annahmen der genannten Studie weiterhin anwendbar erscheinen. Die Novelle des GEG sieht zwar keine direkten Beschränkung hinsichtlich der für Biomasse zulässigen Gebäudeeffizienzklassen vor. Gleichzeitig wurden jedoch keine verschärfte Vorgaben gegenüber geltenden Austauschpflichten vorgenommen. Es wird außerdem der Annahme der federführenden Ressorts gefolgt, dass Gebäudeeigentümer*innen aus wirtschaftlichen Erwägungsgründen die Erfüllungsoption Wärmepumpe in Gebäuden der Effizienzklasse E und besser wählen.</p> <p>Der zusätzliche Brennstoffeinsatz wurde auf die Biomasseaktivitätsraten in den Quellgruppen Haushalte und GHD im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) aufgeschlagen. Für die Berechnung des gewichteten Mittels der zugehörigen IEF wurde der zusätzliche Brennstoffeinsatz ausschließlich Festbrennstoffkesseln (Zentralheizungen) zugeschlagen. Weil dadurch Einzelraumfeuerungen weniger stark gewichtet in die Mittelwertbildung eingehen, sinken die IEF gegenüber dem Szenario „mit Maßnahmen“ (WM). Die Abbildung der vorgesehenen 80 prozentigen Minderung der Staubemissionen (i. d. R. durch einen elektrostatischen Abscheider) für Neuanlagen ab 01.01.2024 mindert die IEF zusätzlich. Die potenzielle Auswirkung der letzten Anpassung der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) vom 9. Dezember 2022 wurde bewertet und ebenfalls in die IEF-Berechnung einbezogen.</p> <p>Die Modellierung erfolgte in EMMa auf Basis der Zahlenwerke aus dem Vorhaben „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022).</p>																
<p>Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)</p>	<p>2025:</p> <table border="1" data-bbox="651 1346 1241 1413"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NM₁₀OC</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>-2,0 kt</td> <td>-0,2 kt</td> <td>-1,9 kt</td> <td>0,0</td> </tr> </table> <p>2030:</p> <table border="1" data-bbox="651 1442 1241 1509"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NM₁₀OC</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>-7,1 kt</td> <td>-0,7 kt</td> <td>-4,5 kt</td> <td>-1,2 kt</td> </tr> </table> <p>Erläuterung: Negative Emissionsreduktionen entsprechen einer Emissionserhöhung gegenüber dem Szenario „mit Maßnahmen“ (WM).</p>	NO _x	SO ₂	NM ₁₀ OC	PM _{2,5}	-2,0 kt	-0,2 kt	-1,9 kt	0,0	NO _x	SO ₂	NM ₁₀ OC	PM _{2,5}	-7,1 kt	-0,7 kt	-4,5 kt	-1,2 kt
NO _x	SO ₂	NM ₁₀ OC	PM _{2,5}														
-2,0 kt	-0,2 kt	-1,9 kt	0,0														
NO _x	SO ₂	NM ₁₀ OC	PM _{2,5}														
-7,1 kt	-0,7 kt	-4,5 kt	-1,2 kt														
<p>Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten</p>	<p>Die Quantifizierung der Auswirkungen auf die nationalen Emissionen erfolgte auf Basis des Regierungsentwurfs der Bundesregierung. Im parlamentarischen Verfahren können sich Änderungen ergeben, die Auswirkungen auf die Höhe der Emissionen haben.</p> <p>Unsicher sind beispielsweise der tatsächliche zukünftige Einsatz von Biomasse in den betroffenen Sektoren sowie die Verteilung auf die verschiedenen Altersklassen je Feuerstättenart. Der Biomasseeinsatz kann zusätz-</p>																

⁶⁰ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wirkmechanismen-von-regelungen-foerderinstrumenten>

⁶¹ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/20220714-65-prozent-ee-konzeptpapier.html>

	<p>lich durch die tatsächliche Witterung in der Heizperiode des jeweiligen Jahres von der Projektion abweichen. Die Entwicklung des Anlagenparks kann zudem durch Förderanreize von einer konstanten Austauschrate abweichen und zu einem höheren Anteil der neusten Anlagen am Biomasseeinsatz und damit am mittleren Emissionsfaktor führen.</p> <p>Die erwarteten Mehremissionen können höher oder niedriger ausfallen, da Biomasse in Bestandsgebäuden nahezu gleichberechtigt neben anderen erneuerbaren Energien bei der Umsetzung der 65 %-EE-Vorgabe behandelt wird und somit die Entscheidung für eine entsprechende Anlage wesentlich von der Preisentwicklung der verschiedenen Energieträger, deren Verfügbarkeit vor Ort sowie von der Entwicklung der notwendigen Investitionskosten abhängt. Lediglich in Neubauten stehen reine Biomasseheizungen nicht als Erfüllungsoption zur Verfügung, dort spielen sie in der Praxis aber nach Einschätzung von BMWK und BMWSB keine zentrale Rolle.</p> <p>Gegebenenfalls ist eine Anpassung oder Einstellung der Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) vorzunehmen, wenn aufgrund der Preisentwicklung alternativer erneuerbarer Energien oder fossiler Energieträger eine Überförderung von fester Biomasse im BEW eintritt. Ergänzend könnte auch hier eine Anpassung der Staubemissionsgrenzwerte der 44. BImSchV in Betracht gezogen werden.</p>
--	--

Tabelle 37: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027

Bezeichnung und Kurzbeschreibung	<p>Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027</p> <p>Die Staubemissionsgrenzwerte für das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Kesseln oder Zentralheizungen für den Einsatz von fester Biomasse bis zu einer Nennwärmeleistung von 1000 kW, idealerweise wiederkehrend im Betrieb überwacht, wurden zur Quantifizierung dieser Maßnahme ab dem 01.01.2027 wie folgt angenommen:</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Feuerstättenkategorie</th> <th>Staubgrenzwert in mg/m³*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festbrennstoffkessel</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>*gemessen nach VDI 2066 Blatt 1, Ausgabe Mai 2021, bezogen auf 13 % Bezugssauerstoffgehalt</p> <p>Hierfür bedarf es einer entsprechenden Anpassung der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 und gegebenenfalls weiterer, damit in Verbindung stehenden Verordnungen. Die Anforderungen an die wiederkehrende Überwachung im Praxisbetrieb wären entsprechend in der nationalen Verordnung (1. BImSchV) nachzuziehen.</p> <p>Die Bundesregierung setzt sich auf EU-Ebene für eine entsprechende Novellierung ein.</p>	Feuerstättenkategorie	Staubgrenzwert in mg/m ³ *	Festbrennstoffkessel	2,5
Feuerstättenkategorie	Staubgrenzwert in mg/m ³ *				
Festbrennstoffkessel	2,5				
Betroffene Schadstoffe	Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , BC				
Ziel(e)	<p>Wärmebereitstellung in Gebäuden</p> <ul style="list-style-type: none"> — Effizienzsteigerung durch technische Verbesserung der Anlagen — Einbau von Emissionsminderungstechnologien — Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden 				
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	<ul style="list-style-type: none"> — Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung 				
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	<ul style="list-style-type: none"> — Wärmebereitstellung in Gebäuden (Haushalte und GHD) 				

Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2024, inklusive zwei Jahren Übergangsfrist mit einer Gültigkeit der Regulierung ab 01. Januar 2027 Abschluss: fortlaufend
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: EU-KOM Name: Generaldirektion Energie
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	<p>Im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022) im Auftrag des Umweltbundesamtes⁶², bearbeitet durch die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, wurde eine detaillierte Datenbasis für die Luftschadstoff-Emissionsfaktoren des Anlagenparks an Feuerungsanlagen ≤ 1 MW erhoben. Die Emissionsfaktoren werden differenziert je Art der Feuerstätte, Alters- und Leistungsklasse, sowie eingesetztem Brennstoff und Sektor (HH oder GHD) ausgegeben. Das Vorhaben leitet auf diesem Detaillevel auch Brennstoffeinsätze ab und projiziert diese, in Summe passend zum Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021, für die Jahre 2025, 2030 und 2035. Die mittleren Emissionsfaktoren werden entsprechend gewichtet berechnet, wobei die jüngste Altersklasse im WM-Szenario seit Gültig werden der aktuellen Grenzwertsetzung bis zum jeweiligen Projektionsjahr erweitert wird und der zugehörige Emissionsfaktor in der Projektion entsprechend stark gewichtet in die Mittelwertberechnung einfließt. Für die Berechnung des Minderungspotenziales der Maßnahme beispielsweise in 2030 wurde der Emissionsfaktor in der jüngsten Altersklasse ab 01.01.2015 oder 01.01.2017 zu 4/16 bzw. 4/14 (da es 4 Jahre vom 01.01.2027 bis zum 31.12.2030 sind) ersetzt durch den oben genannten, verschärften Grenzwert. Dieser modifizierte Emissionsfaktor der jüngsten Altersklasse wurde dann in die gewichtete Mittelwertbildung für den gesamten Anlagenpark einbezogen. Das Minderungspotenzial in 2030 fällt somit noch relativ gering aus und würde dann in den Folgejahren deutlich ansteigen (insofern der Einsatz fester Biomasse in Festbrennstoffkesseln nicht gleichzeitig deutlich sinkt).</p> <p>Da es sich um eine Regulierung handelt, die nicht in den Bestand eingreift, fällt lediglich ein einmaliger Erfüllungsaufwand an. Angesichts der hohen vermiedenen Kosten aufgrund der Vermeidung direkter Feinstaubemissionen insbesondere in Wohngebieten ist die Maßnahme sehr kosteneffizient.</p> <p>Die Modellierung erfolgte in EMMa auf Basis der Zahlenwerke aus dem Vorhaben „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022).</p>
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	2025: - 2030: 0,9 kt PM _{2,5}
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten	In der Berechnung des Minderungspotenziales verbergen sich einige größere Unsicherheiten. Unsicher ist zunächst, ob diese Maßnahme entsprechend der getroffenen Annahmen von der Europäischen Kommission umgesetzt wird. Die Zuständigkeit für Emissionsanforderungen für entsprechende Anlagen liegt bei der EU und die Europäische Kommission hat das (alleinige) Initiativrecht.

⁶² Vorläufige Ergebnisse wurden am 15.11.2022 bei einer Fachtagung des Umweltbundesamtes der Fachöffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Der Abschlussbericht ist noch nicht veröffentlicht. Die verwendeten Emissionsfaktoren können zwischenzeitlich auf Nachfrage vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt werden.

	<p>Unsicher sind außerdem die Realemissionen der Anlagen im Praxisbetrieb bei entsprechender Grenzwertsetzung. Daher ist die Beibehaltung und gegebenenfalls Ausweitung auf weitere Anlagenarten der wiederkehrenden Überwachung durch das Schornsteinfeger*innenhandwerk anzustreben. Unsicher sind beispielsweise auch der tatsächliche zukünftige Einsatz fester Biomasse in den betroffenen Sektoren sowie der Anteil der neusten Anlagen an diesem Einsatz. Der Biomasseeinsatz kann zusätzlich durch die tatsächliche Witterung in der Heizperiode des jeweiligen Jahres von der Projektion abweichen. Auch die Entwicklung des Anlagenparks kann durch Förderanreize von einer konstanten Austauschrate abweichen und zu einem höheren Anteil der neusten Anlagen am Biomasseeinsatz und damit am mittleren Emissionsfaktor führen. Das berechnete Minderungspotenzial kann daher weder als konservativ noch als optimistisch eingeschätzt werden.</p>
--	---

Tabelle 38: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029

Bezeichnung und Kurzbeschreibung	<p>Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029</p> <p>Die Staubemissionsgrenzwerte für das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Einzelraumfeuerungsanlagen für den Einsatz von fester Biomasse bis zu einer Nennwärmeleistung von 1000 kW, idealerweise wiederkehrend im Betrieb überwacht, wurden zur Quantifizierung dieser Maßnahme ab dem 01.01.2029 wie folgt angenommen:</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>Feuerstättenkategorie</th> <th>Staubgrenzwert in mg/m³*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einzelraumfeuerungsanlagen</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p>*gemessen nach VDI 2066 Blatt 1, Ausgabe Mai 2021, bezogen auf 13 % Bezugssauerstoffgehalt</p> <p>Hierfür bedarf es einer entsprechenden Anpassung der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 und gegebenenfalls weiterer, damit in Verbindung stehenden Verordnungen. Anforderungen an die wiederkehrende Überwachung im Praxisbetrieb wären entsprechend in der nationalen Verordnung (1. BImSchV) festzulegen.</p> <p>Die Bundesregierung setzt sich auf EU-Ebene für eine entsprechende Novellierung ein.</p>	Feuerstättenkategorie	Staubgrenzwert in mg/m ³ *	Einzelraumfeuerungsanlagen	20
Feuerstättenkategorie	Staubgrenzwert in mg/m ³ *				
Einzelraumfeuerungsanlagen	20				
Betroffene Schadstoffe	Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , BC				
Ziel(e)	<p>Wärmebereitstellung in Gebäuden</p> <ul style="list-style-type: none"> — Effizienzsteigerung durch technische Verbesserung der Anlagen — Einbau von Emissionsminderungstechnologien — Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden 				
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	<ul style="list-style-type: none"> — Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung 				
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	— Wärmebereitstellung in Gebäuden (Haushalte und GHD)				
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	<p>Beginn: 2026, inklusive zwei Jahren Übergangsfrist mit einer Gültigkeit der Regulierung ab 01. Januar 2029</p> <p>Abschluss: fortlaufend</p>				

<p>Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)</p>	<p>Art: EU-KOM Name: Generaldirektion Energie</p>
<p>Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)</p>	<p>Im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022) im Auftrag des Umweltbundesamtes⁶³, bearbeitet durch die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, wurde eine detaillierte Datenbasis für die Luftschadstoff-Emissionsfaktoren des Anlagenparks an Feuerungsanlagen ≤ 1 MW erhoben. Die Emissionsfaktoren werden differenziert je Art der Feuerstätte, Alters- und Leistungsklasse, sowie eingesetztem Brennstoff und Sektor (HH oder GHD) ausgegeben. Das Vorhaben leitet auf diesem Detaillevel auch Brennstoffeinsätze ab und projiziert diese, in Summe passend zum Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2021, für die Jahre 2025, 2030 und 2035. Die mittleren Emissionsfaktoren werden entsprechend gewichtet berechnet, wobei die jüngste Altersklasse im WM-Szenario seit gültig werden der aktuellen Grenzwertsetzung bis zum jeweiligen Projektionsjahr erweitert wird und der zugehörige Emissionsfaktor in der Projektion entsprechend stark gewichtet in die Mittelwertberechnung einfließt. Für die Berechnung des Minderungspotenziales der Maßnahme beispielsweise in 2030 wurde der Emissionsfaktor in der jüngsten Altersklasse ab 01.01.2015 zu 2/16 (da es 2 Jahre vom 01.01.2029 bis zum 31.12.2030 sind) ersetzt durch die oben genannten, verschärften Grenzwerte. Dieser modifizierte Emissionsfaktor der jüngsten Altersklasse wurde dann in die gewichtete Mittelwertbildung für den gesamten Anlagenpark einbezogen. Das Minderungspotenzial in 2030 fällt somit noch relativ gering aus und würde dann in den Folgejahren deutlich ansteigen (insofern der Einsatz fester Biomasse in Einzelraumfeuerungsanlagen nicht gleichzeitig deutlich sinkt). Da es sich um eine Regulierung handelt, die nicht in den Bestand eingreift, fällt lediglich ein einmaliger Erfüllungsaufwand an. Angesichts der hohen vermiedenen Kosten aufgrund der Vermeidung direkter Feinstaubemissionen insbesondere in Wohngebieten ist die Maßnahme sehr kosteneffizient. Die Modellierung erfolgte in EMMA auf Basis der Zahlenwerke aus dem Vorhaben „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (FKZ 3719533022).</p>
<p>Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)</p>	<p>2025: - 2030: 0,5 kt PM_{2,5}</p>
<p>Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten</p>	<p>In der Berechnung des Minderungspotenziales verbergen sich einige größere Unsicherheiten. Unsicher ist zunächst, ob diese Maßnahme entsprechend der getroffenen Annahmen von der Europäischen Kommission umgesetzt wird. Die Zuständigkeit für Emissionsanforderungen für entsprechende Anlagen liegt bei der EU und die Europäische Kommission hat das (alleinige) Initiativrecht. Unsicher sind außerdem die Realemissionen der Anlagen im Praxisbetrieb bei entsprechender Grenzwertsetzung. Diese können erst im Rahmen von Forschungsprojekten und dann auch nur exemplarisch erfasst und auf den Anlagenbestand mit Berücksichtigung des Betreiber*innenverhaltens</p>

⁶³ Vorläufige Ergebnisse wurden am 15.11.2022 bei einer Fachtagung des Umweltbundesamtes der Fachöffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Der Abschlussbericht ist noch nicht veröffentlicht. Die verwendeten Emissionsfaktoren können zwischenzeitlich auf Nachfrage vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt werden.

	<p>hochgerechnet werden. Die Etablierung einer wiederkehrenden Überwachung durch das Schornsteinfeger*innenhandwerk, wie sie für Festbrennstoffkessel vorgeschrieben ist, ist kurz- und mittelfristig wohl nicht realisierbar, da für Einzelraumfeuerungsanlagen bisher keine Messöffnungen vorgeschrieben sind.</p> <p>Hinzu kommt, dass eine solche Messung standardisiert sein müsste und somit ebenfalls das reale Emissionsverhalten nicht vollständig erfassen würde, da Einzelraumfeuerungsanlagen i.d.R. handbeschickt und ohne Steuerungs- und Regelungstechnik betrieben werden.</p> <p>Unsicher sind beispielsweise auch der tatsächliche zukünftige Einsatz fester Biomasse in den betroffenen Sektoren sowie der Anteil der neuesten Anlagen an diesem Einsatz. Der Biomasseeinsatz kann zusätzlich durch die tatsächliche Witterung in der Heizperiode des jeweiligen Jahres von der Projektion abweichen.</p> <p>Das berechnete Minderungspotenzial kann daher weder als konservativ noch als optimistisch eingeschätzt werden.</p>
--	--

Tabelle 39: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Maßnahmenpaket Landwirtschaft

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung</p>	<p>Maßnahmenpaket Landwirtschaft</p> <p>Zusätzliche Maßnahmen sind, trotz einer Einhaltung der Reduktionsverpflichtung für Ammoniak im WM-Szenario, aus drei Gründen notwendig:</p> <ul style="list-style-type: none"> • notwendiger Puffer angesichts der Unsicherheiten der angenommenen Emissionsminderungen im WM-Szenario, • notwendiger Puffer angesichts vorgesehener Ausnahmen verschiedener Regelungen für Klein- und Kleinstbetriebe (z. B. geltende Ausnahmen von der Vorgabe der Düngeverordnung § 6 Satz (3) zur emissionsarmen, streifenförmigen Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger: Ausnahmen sind demnach möglich, wenn die Einhaltung auf Grund der naturräumlichen oder agrarstrukturellen Besonderheiten des Betriebes unmöglich oder unzumutbar ist, insbesondere wenn ein Einsatz der für die Einhaltung der Vorgaben erforderlichen Geräte aus Sicherheitsgründen ausscheidet), • Kompensation der potenziell erhöhten Ammoniakemissionen aus der Maßnahme des Klimaschutzprogrammes 2030 einer Erhöhung des Anteils der flüssigen Wirtschaftsdünger aus der Rinder- und Schweinehaltung, der in Biogasanlagen vergoren wird, bis zum Jahr 2030 auf 70 % (potenzielle NH₃-Mehremissionen in 2030 gegenüber dem WM-Szenario von 12,8 kt). <p>Aus diesem Grund wurden drei zusätzliche Minderungsmaßnahmen zur Senkung der Ammoniakemissionen im Sektor Landwirtschaft, plus die zuvor genannte emissionserhöhende Klimaschutzmaßnahme, in einem Maßnahmenpaket Landwirtschaft zusammenfassend bewertet.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Steigerung des Anteils technisch dicht gelagerter Gärreste auf 100 % bis 2030 2. emissionsmindernde Maßnahmen in Milchkuhställen (emissionsarme Böden) 3. verstärkte Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger mit Injektions- / Schlitztechnik oder Ansäuerungstechnik <p>Maßnahme 1 unterstützt die Umsetzung der Vorgaben der TA Luft 2021 bezüglich der Minderung von Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Gülle- und Gärrestlager bestehender Biogasanlagen ab Dezember 2026. Des Weiteren reduziert die technisch dichte Abdeckung von Gärrestlagern Metha-</p>
---	--

	<p>nemissionen und dient so dem Klimaschutz. Im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 wurden bereits verschiedene Maßnahmen zur Ausweitung von technisch dichten Gärrestlagern aufgenommen.</p> <p>Bei den Maßnahmen 2 und 3 handelt sich um bereits förderfähige Maßnahmen. Die Förderungen sollen weitergeführt bzw. ausgebaut werden, um weitere Emissionsminderungen zu erzielen.</p>
Betroffene Schadstoffe	NH ₃
Ziel(e)	<p>Landwirtschaft</p> <ul style="list-style-type: none"> — emissionsarme Ausbringung von Düngemitteln/Dung auf Ackerflächen und Grünland — bessere Tierhaltungs- und -aufzuchtanlagen — bessere Systeme zur Bewirtschaftung tierischer Abfälle
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	<ul style="list-style-type: none"> — Minderung der Verschmutzung an der Quelle — wirtschaftliche Instrumente — Regulierung
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	<ul style="list-style-type: none"> — Landwirtschaft
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	<p>Beginn: laufend</p> <p>Abschluss: fortlaufend</p>
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	<p>Art: Ministerium des Bundes und EU-KOM</p> <p>Name: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Generaldirektion Landwirtschaft und ländliche Entwicklung</p>
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Steigerung des Anteils technisch dicht gelagerter Gärreste auf 100 % bis 2030 2. In Milchviehbetrieben werden ca. alle 15 Jahre im Rahmen des Regelaustauschs oder der Sanierung Böden erneuert. Hier ist es denkbar, dass durch finanzielle Anreize (z.B. Förderung von bis zu 50 % der Kosten) verstärkt emissionsmindernde Bodenbeläge zum Einsatz kommen. Dadurch sinkt der Emissionsfaktor im Milchkuhstall um 25 %. Entsprechend wurde angenommen, dass bis 2030 etwa 50 % aller Laufböden erneuert werden. Davon die Hälfte kann mit Hilfe von Agrarinvestitionsförderung mit emissionsarmen Böden ausgestattet werden. Im Jahr 2030 wurde daher für 25 % der güllebasierten Laufställe mit Milchkühen der Emissionsfaktor um 25 % gesenkt. <p>Die für die in der Szenarienberechnung angenommene Ausgestaltung dieser Maßnahme in der Rinderhaltung erfolgte auf Basis des UVPG bzw. mit Hilfe äquivalenter Regelungen im Rahmen der 4. BImSchV (V-Betriebe mit Rinderhaltung) oder künftig im Rahmen der IED-Novelle (neu adressierte Betriebe mit Rinderhaltung).</p> 3. 25 % der bisher mit anderer Technik in den Bestand ausgebrachten flüssigen Wirtschaftsdünger wurden zum Anteil der mit Schlitz-/Injektionstechnik oder Ansäuerungstechnik auf bewachsene Ackerflächen und auf Grünland ausgebrachten flüssigen Wirtschaftsdünger addiert. Diese Maßnahme setzt voraus, dass eine entsprechende politische Umsetzung geplant ist, z. B. über ein Förderprogramm. Die Umsetzung mit 25 % der bisher mit anderer Technik in den Bestand ausgebrachten Gülle ist als ambitioniertes Ziel anzusehen, da eine Anwendbarkeit dieser Techniken auf stark tonhaltigen oder moorigen Standorten, in Hanglagen und in kleinen Landwirtschaftsbetrieben nur begrenzt gegeben sein wird.

<p>Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)</p>	<p>2025: - 2030: 3,4 kt NH₃ (+12,8 kt – 16,2 kt)</p>
<p>Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten (sofern verfügbar)</p>	<p>Die wesentliche Unsicherheit in der Quantifizierung des Minderungspotenziales liegt in der Erreichung des angenommenen Grades der Umsetzung in der Praxis bis 2030.</p> <p>Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.</p> <p>Wegen der oben genannten Unsicherheiten der angenommenen Emissionsminderungen im WM-Szenario, wird künftig jährlich eine Überprüfung der Höhe der Ammoniakemissionen des Vorjahres durchgeführt. Diese soll im Rahmen der Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Absatz 1 auch für Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft erfolgen. Die Vorjahresschätzung basiert auf aktuellen Statistiken über wichtige Aktivitätsdaten für das Vorjahr (Tierbestände, N-Mineraldüngerabsatz) und muss jährlich zum 15. März vorgelegt werden. Liegen die Ammoniakemissionen der Vorjahresschätzung oberhalb des linearen Zielpfads nach NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284, so entwickelt BMEL in Abstimmung mit BMUV ein Maßnahmenpaket, das die Einhaltung des Zielpfads für die folgenden Jahre sicherstellen soll. Im Rahmen der Emissionsprognosen kann es zu Ungenauigkeiten kommen, denen bei einer möglichen Anpassung des vorliegenden Programms Rechnung getragen werden muss. Daher wird eine Mindestabweichung von 10 kt NH₃ oberhalb des linearen Zielpfads als Nicht-Einhaltung gewertet. Das Maßnahmenpaket tritt in Kraft, wenn es im Folgejahr zu einer zweiten Überschreitung von über 10 kt (in der Vorjahresschätzung) kommt und sich damit die Überschreitung im Vorjahr (aus der vorherigen Vorjahresschätzung) in der Emissionsberechnung bestätigt.</p>

Tabelle 40: Nähere Angaben zu den zur Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Strategien und Maßnahmen (Angabe auf Strategie-/Maßnahmenebene) – Maßnahmenpaket Verkehr

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung</p>	<p>Maßnahmenpaket Verkehr</p> <p>Das <i>Maßnahmenpaket Verkehr</i> setzt sich aus drei Einzelmaßnahmen zusammen, deren Minderungswirkungen sich gegenseitig beeinflussen und dementsprechend nur als Gesamtpaket betrachtet werden. Diese Maßnahmen beziehen sich auf den KoaV (s. Kapitel 2). Das Maßnahmenpaket führt zu Minderungseffekten aller relevanten Luftschadstoffe und setzt sich aus den Einzelmaßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Einführung einer Euro 7 Norm, ○ Ausweitung der Lkw-Maut sowie ○ dem Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität (enthält verschiedene Förderprogramme/-instrumente zur Unterstützung der Elektromobilität) zusammen.
---	---

	Die im <i>Maßnahmenpaket Verkehr</i> enthaltenen Einzelmaßnahmen werden im Folgenden genauer beschrieben. Detaillierte Informationen zur Modellierung der Verkehrsmaßnahmen finden sich auch in Allekotte et al. (2023) ⁶⁴ .																				
Betroffene Schadstoffe	NO _x , Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , BC, NMVOC, NH ₃ , SO ₂																				
Ziel(e)	siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen																				
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen																				
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	Verkehr																				
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen Abschluss: siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen																				
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen Name: siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen																				
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	Verkehrsmodell TREMOD (Version 6.21) Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) (Version 4.2)																				
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	<p>2025:</p> <table border="1"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NMVOC</td> <td>NH₃</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>3,7 kt</td> <td>0,1 kt</td> <td>2,4 kt</td> <td>0,7 kt</td> <td>0,2 kt</td> </tr> </table> <p>2030:</p> <table border="1"> <tr> <td>NO_x</td> <td>SO₂</td> <td>NMVOC</td> <td>NH₃</td> <td>PM_{2,5}</td> </tr> <tr> <td>28,6 kt</td> <td>0,2 kt</td> <td>10,3 kt</td> <td>2,6 kt</td> <td>1,2 kt</td> </tr> </table>	NO _x	SO ₂	NMVOC	NH ₃	PM _{2,5}	3,7 kt	0,1 kt	2,4 kt	0,7 kt	0,2 kt	NO _x	SO ₂	NMVOC	NH ₃	PM _{2,5}	28,6 kt	0,2 kt	10,3 kt	2,6 kt	1,2 kt
NO _x	SO ₂	NMVOC	NH ₃	PM _{2,5}																	
3,7 kt	0,1 kt	2,4 kt	0,7 kt	0,2 kt																	
NO _x	SO ₂	NMVOC	NH ₃	PM _{2,5}																	
28,6 kt	0,2 kt	10,3 kt	2,6 kt	1,2 kt																	
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten (sofern verfügbar)	siehe Eintragungen bei den Einzelmaßnahmen.																				
Bezeichnung und Kurzbeschreibung	<p>Einführung einer Euro 7 Norm</p> <p>Die Abgasnorm Euro 7 für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge sowie schwere Nutzfahrzeuge und Busse soll die Grenzwerte für die Schadstoffemissionen von Neufahrzeugen weiter verschärfen. Dadurch sinken die Schadstoffemissionen neuer Fahrzeuge deutlich gegenüber der heute gültigen Euro 6 / VI Norm.</p> <p>Am 10.11.2022 veröffentlichte die EU KOM einen „Vorschlag für eine Verordnung über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7)“⁶⁵. Die vorgeschlagenen Emissionsgrenzwerte wurden im Szenario abgebildet. Zusätzlich wurde ein gegenüber Euro 6 / VI Fahrzeugen verminderter Alterungsfaktor bei zunehmender Laufleistung der Fahrzeuge in der Flotte aufgeschlagen. Neufahrzeuge kommen im Szenario bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen ab 2026 und bei schweren</p>																				

⁶⁴ Allekotte, M.; Heidt, C.; Schneider, C.; Toenges-Schuller, N. (2023): Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen, Sachverständigengutachten, UBA-Texte 110/2023, ifeu-Institut und AVISO GmbH, Heidelberg und Aachen: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bewertung-von-emissionsminderungspotenzialen>

⁶⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A586%3AFIN>

	Nutzfahrzeugen ab 2028 in die Flotte. Durch die Einführung der Euro 7 Norm kommt es zu einer Emissionsreduktion in allen Fahrsituationen.
Betroffene Schadstoffe	NO _x , Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NMVOC, NH ₃
Ziel(e)	Verkehr — Einsatz von emissionsmindernden Technologien in Fahrzeugen
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	— Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Regulierung
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	— Verkehr
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2026 Abschluss: fortlaufend
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: EU-KOM Name: Generaldirektion Mobilität und Verkehr
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	Verkehrsmodell TREMOD (Version 6.21) Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) (Version 4.2)
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	Da sich die Einzelmaßnahmen gegenseitig beeinflussen, wird nur das kombinierte Emissionsminderungspotenzial des <i>Maßnahmenpakets Verkehr</i> (s.o.) angegeben.
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten (sofern verfügbar)	Bei der Quantifizierung wurde der Vorschlag der Europäischen Kommission zugrunde gelegt. Bei der Befassung im Europäischen Parlament und im Rat haben sich Änderungen ergeben, die auch Auswirkungen auf die Höhe der Emissionen haben. Außerdem beruht der Anteil der betroffenen Fahrzeuge an den Neuzulassungen auf Annahmen, die in der Realität einen anderen Verlauf nehmen können. Da Euro 7 Fahrzeuge noch nicht existieren, können deren Realemissionen, auch unter Berücksichtigung der Fahrzeugalterung, bisher nur auf Basis der Grenzwerte und Erfahrungen von Fahrzeugen früherer Euro-Normen und des Ambitionsniveaus des Vorschlages der EU-Kommission abgeschätzt werden.
Bezeichnung und Kurzbeschreibung	Ausweitung der Lkw-Maut Für die Maßnahme „Ausweitung der Lkw-Maut“ wurde die Ausgestaltung der Lkw-Maut, so wie sie im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung vom 24.11.2021 ⁶⁶ vorgesehen ist, angenommen: CO ₂ -Differenzierung der Lkw-Maut, Einbeziehung von Lkw ab 3,5 t, Einführung eines CO ₂ -Zuschlags, unter der Bedingung, eine Doppelbelastung durch den CO ₂ -Preis auszuschließen. Für 2030 wird mit einem CO ₂ -Zuschlag von 100 €/t CO ₂ (55 €/t CO ₂ in 2025) für den betroffenen Fahrleistungsanteil gerechnet. Da eine Doppelbesteuerung mit CO ₂ -Lkw-Maut und nationalem Emissionshandel im Verkehrssektor (BEHG) durch einen Kompensationsmechanismus vermieden

⁶⁶ Koalitionsvertrag der Bundesregierung 2021-2025 vom 24.11.2021: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800>

	werden soll, werden Fahrten von Lkw nur beim Tanken außerhalb Deutschlands teurer. Durch die Kostenerhöhung für internationale Lkw kommt es zu einer Vermeidung von Fahrten und einer bezogen auf die gesamte Fahrleistung geringfügigen Verlagerung des Güterverkehrs vom Lkw auf die Bahn und die Binnenschifffahrt. Eine überproportionale Kostenerhöhung bei Lkw zwischen 3,5 und 7,5 t gegenüber Lkw > 7,5 t und leichten Nutzfahrzeugen bewirkt Verlagerungen in der Fahrleistung zwischen den Lkw-Größenklassen (weniger bei Lkw zwischen 3,5 und 7,5 t, mehr bei Lkw zwischen 7,5 und 12 t sowie leichten Nutzfahrzeugen). Durch den CO ₂ -Preis kommt es zudem zu einer Technologieverlagerung bei schweren Nutzfahrzeugen: ein Teil der Verkehrsleistung der teurer gewordenen Lkw verlagert sich von Diesel-Lkw auf elektrische Lkw ⁶⁷ .
Betroffene Schadstoffe	NO _x , Gesamtstaub, PM ₁₀ , PM _{2,5} , NMVOC, NH ₃ , SO ₂
Ziel(e)	Verkehr <ul style="list-style-type: none"> — Nachfragesteuerung/-senkung — bessere Verkehrsinfrastruktur
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	<ul style="list-style-type: none"> — Minderung der Verschmutzung an der Quelle — Wirtschaftliche Instrumente
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	<ul style="list-style-type: none"> — Verkehr
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: 2023 Abschluss: fortlaufend
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	Verkehrsmodell TREMOD (Version 6.21) Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) (Version 4.2) Durch die Verteuerung eines Teils der Lkw-Transporte kommt es zu einer Vermeidung von 0,12 % der Verkehrsleistung. Verlagert werden zusätzlich 0,02 % auf das Binnenschiff und 0,11 % auf die Bahn. Bei Lkw von 3,5-7,5 t reduziert sich die Verkehrsleistung um 20 %. Dieser Anteil verlagert sich zu 95 % auf Lkw >7,5 t und zu 5 % auf leichte Nutzfahrzeuge. Zudem steigt der Anteil an der Verkehrsleistung von elektrisch betriebenen Lkw um insgesamt 0,25 %.
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	Da sich die Einzelmaßnahmen gegenseitig beeinflussen, wird nur das kombinierte Emissionsminderungspotenzial des <i>Maßnahmenpakets Verkehr</i> (s.o.) angegeben.
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten (sofern verfügbar)	Unsicherheiten können sich bei der konkreten Ausgestaltung der Maßnahme ergeben, werden im Hinblick auf die Quantifizierung der Minderungswirkung dieser Maßnahme als gering eingeschätzt.

⁶⁷ Die Ausgestaltung der Maßnahmen im NLRP entspricht auf Grund des Stichtatums des NLRP in Teilen nicht dem letztendlichen Gesetzentwurf (<https://dserver.bundestag.de/btd/20/080/2008092.pdf>). Der Bundestag hat am 20. Oktober 2023 die Ausweitung der Mautpflicht für Lastkraftwagen beschlossen.

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung</p>	<p>Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität</p> <p>Die primäre Annahme des Maßnahmenpaketes ist die Erreichung des Ziels aus dem Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung aus 2021 von 15 Mio. rein elektrisch betriebenen Pkw im Bestand bis 2030. Im Beschluss des Koalitionsausschusses vom 28. März 2023 heißt es dazu, dass dieses Ziel allen Planungen und Berechnungen zu Grunde gelegt wird. Zur Zielerreichung bedarf es insbesondere eines schnellen und flächendeckenden Ausbaus an Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Außerdem wird die Bundesregierung gemeinsam mit der Branche die Entwicklung eng monitoren und im Bedarfsfall weitere Maßnahmen beschließen.</p> <p>Beispiele von Maßnahmen, die zu diesem Ziel beitragen, sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fortschreibung der EU-CO₂-Standards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge für 2025 und 2030 → 2035 ○ Kaufprämie für E-Pkw und Förderung der Flottenumstellung im kommunalen und gewerblichen Bereich ○ Vergünstigte Besteuerung von elektrischen Dienstwagen und andere steuerliche Vorteile ○ Aufbau einer flächendeckenden, bedarfsgerechten und nutzerfreundlichen Ladeinfrastruktur ○ Ausschreibung des BMDV und der Autobahn GmbH des Bundes zum „Deutschlandnetz“ (Schnellladeinfrastruktur an mindestens 1000 Standorten) ○ Umsetzung des Masterplans Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung zur Beschleunigung und Vereinfachung des Ladeinfrastruktur-Ausbaus <p>Zusätzlich wurden Annahmen zur Steigerung des E-Anteils bei den sonstigen Fahrzeugkategorien getroffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ neue CO₂-Standards für schwere Nutzfahrzeuge und Busse⁶⁸ ○ Fortschreibung der Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie der Förderung des Aufbaus zugehöriger Versorgungsinfrastruktur für elektrifizierte Nutzfahrzeuge⁶⁹ ○ Umsetzung der Clean Vehicles Directive (CVD) (EU) 2019/1161⁷⁰ ○ Fortschreibung der Förderung von umweltfreundlichen Bussen⁷¹ <p>Eine zentrale Rolle haben die CO₂-Standards sowie die Kaufprämien für elektrische Fahrzeuge und die Unterstützung des Aufbaus von Ladeinfrastruktur. Die Förderung bewirkt eine Erhöhung der Neuzulassungen von elektrischen Fahrzeugen, die wiederum Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen. Durch das Ersetzen werden die Emissionen, die aus der motorischen Verbrennung resultieren, reduziert.</p> <p>Es wird angenommen, dass die Neuzulassungsanteile von elektrischen Fahrzeugen verglichen zum WM-Szenario insbesondere bei Pkw drastisch steigen. Bei Lkw und Bussen wird davon ausgegangen, dass die komplette Marktdurchdringung zeitlich verzögert eintritt.</p>
<p>Betroffene Schadstoffe</p>	<p>NO_x, Gesamtstaub, PM₁₀, PM_{2,5}, BC, NMVOC, NH₃, SO₂</p>

⁶⁸ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_23_762

⁶⁹ vgl. Pressemitteilung zur Anpassung der Förderung ab 2022: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2022/033-kluckert-antragsstellung-klimafreundliche-nutzfahrzeuge.html> sowie entsprechende Änderung der Förderrichtlinie vom 21.03.2022: <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2022/04/BAAnz-AT-29.03.2022-B2.pdf>

⁷⁰ vgl. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>

⁷¹ Förderrichtlinie <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/foerderichtlinie-alternative-antriebe-busse-personalverkehr.pdf?blob=publicationFile> und Statusmeldung vom 28.03.2023 <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/presse/urkundenempfaenger-bus.pdf?blob=publicationFile>

Ziel(e)	Verkehr — alternative Kraftstoffe für Fahrzeuge (einschl. Elektroantrieb)
Art(en) der Strategie(n)/Maßnahme(n)	Verkehr — wirtschaftliche Instrumente — steuerliche Instrumente — Regulierung
Wichtigste und gegebenenfalls weitere betroffene Sektoren	— Verkehr — Energieverbrauch: Durch die Maßnahme entstehen höhere Energiebedarfe im Energiesektor und somit je nach Energiequelle der Stromerzeugung auch höhere Schadstoffemissionen. Der Energieverbrauch aus der Kraftstoffbereitstellung und die damit verbundenen Emissionen sinken hingegen. Daher können beide Sektoren bezüglich der Gesamtemissionen nicht getrennt voneinander betrachtet werden.
Umsetzungszeitraum (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen)	Beginn: laufend Abschluss: fortlaufend
Für die Umsetzung zuständige(n) Behörde(n) (für zur Umsetzung ausgewählte Maßnahmen) (siehe Tabelle 9)	Art: Ministerium des Bundes Name: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Nähere Angaben zu den für die Analyse verwendeten Methoden (z. B. spezifische Modelle oder Methoden, zugrunde liegende Daten)	Verkehrsmodell TREMOD (Version 6.21) Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) (Version 4.2) Außerdem wurden die Emissionsfaktoren entsprechend der gegenüber dem WM-Szenario erhöhten elektrischen Fahrleistung für Abriebe aus Bremsbelag anteilig gemindert und für Abriebe von Reifen und Straßenbelag anteilig erhöht. Der Anteil von rein elektrisch angetriebenen Pkw an den Neuzulassungen übersteigt in 2024 die 50 %-Marke und erreicht bis 2030 einen Anteil von 88 %. Der Anteil der elektrischen Pkw-Fahrleistung an der Pkw-Gesamtfahrleistung steigt bis 2030 auf 38 %. Im Szenario gibt es in 2030 15,04 Mio. rein elektrische Pkw im Bestand.
Quantifizierte erwartete Emissionsreduktionen (für einzelne Strategien/Maßnahmen bzw. für Strategie-/Maßnahmenpakete) (kt, pro Jahr oder als Spanne, im Vergleich zum Szenario „mit Maßnahmen“)	Da sich die Einzelmaßnahmen gegenseitig beeinflussen, wird nur das kombinierte Emissionsminderungspotenzial des <i>Maßnahmenpakets Verkehr</i> (s.o.) angegeben.
Qualitative Beschreibung der Unsicherheiten (sofern verfügbar)	Wenngleich für die Modellierung des Maßnahmenpakets zur Elektromobilität angenommen wurde, dass analog zu den Plänen der Verschärfung der CO ₂ -Flottengrenzwerte hin zu Null-Emissionen im Jahr 2035 bei LNF nur noch Hybrid- und Elektrofahrzeuge, bei Pkw schon ab 2034 ausschließlich Elektrofahrzeuge zugelassen werden, ist jedoch denkbar, dass abweichend davon auch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor mit synthetischen oder biogenen Kraftstoffen weiterhin neu zugelassen werden. Der angenommene Anstieg der E-Pkw auf 15 Mio. Fahrzeuge bis 2030 bedarf einer schnellen Umsetzung entsprechender Förderprogramme / steuerlicher Instrumente / Regulierungen. Eine regelmäßige Evaluierung und gegebenenfalls Nachsteuerung im Hinblick auf die Zielerreichung ist erforderlich.

6.2 Auswirkungen von einzelnen Strategien/Maßnahmen oder von Strategie- und Maßnahmenpaketen, die für die Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen in Betracht gezogen werden, auf die Luftqualität und die Umwelt

Die spezifischen potenziellen Auswirkungen der einzelnen, für die Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen in Betracht gezogenen Emissionsminderungsmaßnahmen sowie der Maßnahmenpakete auf die Luftqualität und die Umwelt wurden nicht einzeln quantifiziert. Die Simulation der potenziellen Auswirkungen aller weiterführenden Maßnahmen und Maßnahmenpakete des Szenarios „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM, NEC-Compliance-Szenario) in Summe auf die bodennahen Konzentrationen von Luftschadstoffen werden in Kapitel 8.4, auf die Umwelt in Kapitel 8.5 beschrieben.

Dass Emissionsquellen je nach Ort und vertikaler Höhe der Emissionen unterschiedlich stark zu den bodennahen Konzentrationen von Luftschadstoffen in Deutschland beitragen können, ist vielfach untersucht und bekannt. Dies wurde bei der Maßnahmenauswahl in die Betrachtung einbezogen.

6.3 Zusätzliche Angaben zu den Maßnahmen aus Anhang III Teil 2 der Richtlinie (EU) 2016/2284 für den Agrarsektor, mit denen die Emissionsreduktionsverpflichtungen eingehalten werden sollen

Tabelle 41: Zusätzliche Angaben zu den Maßnahmen aus Anhang III Teil 2 der Richtlinie (EU) 2016/2284 für den Agrarsektor, mit denen die Emissionsreduktionsverpflichtungen eingehalten werden sollen

	Ist die Strategie/ Maßnahme Teil des nationalen Luftreinhalteprogramms? Ja/Nein	Falls ja, geben Sie bitte den Abschnitt/ die Seitennummer im Programm an	Wurde die Strategie/ Maßnahme genauso angewendet? Ja/Nein Falls nein, beschreiben Sie bitte die vorgenommenen Änderungen
A. Maßnahmen zur Begrenzung von Ammoniakemissionen			
1. Die Mitgliedstaaten erstellen einen nationalen Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Begrenzung von Ammoniakemissionen unter Berücksichtigung des UNECE-Verfahrenskodex für gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen von 2014, der mindestens folgende Punkte abdeckt: a) Stickstoffmanagement unter Berücksichtigung des gesamten Stickstoffkreislaufs; b) Fütterungsstrategien;	Ja, die Maßnahme / Strategie wurde durchgeführt und im vorliegenden Programm berücksichtigt, jedoch nicht separat mit einem zu	Siehe Kapitel 5.1.1 sowie Tabelle 39	Ja

<p>c) emissionsarme Ausbringungstechniken für Wirtschaftsdünger; d) emissionsarme Lagerungssysteme für Wirtschaftsdünger; e) emissionsarme Stallhaltungssysteme; f) Möglichkeiten der Begrenzung von Ammoniakemissionen beim Einsatz von Mineraldüngern.</p>	<p>sätzlichen Minderungspotenzial bewertet. Das UBA und das KTBL erstellten im Auftrag der zuständigen Ministerien gemeinsam und unter intensiver Mitarbeit der Wissenschaft einen nationalen Ratgeber „Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern – gute fachliche Praxis“⁷². Er ist auf den Webseiten der beiden Behörden frei verfügbar.</p>		
<p>2. Die Mitgliedstaaten können auf der Grundlage des UNECE-Leitfadens für Stickstoffbilanzen eine nationale Stickstoffbilanz erstellen, um die Veränderungen bei den Gesamtverlusten von reaktivem Stickstoff aus der Landwirtschaft, einschließlich Ammoniak, Stickstoffoxid, Ammonium, Nitrate und Nitrite, zu überwachen.</p>	<p>Ja, die Maßnahme / Strategie wurde durchgeführt. Die nationale Stickstoffbilanz Deutschlands wird fortlaufend aktualisiert⁷³. Die nächste Aktualisierung wird für 2024 erwartet. Außerdem betreibt das Umweltbundesamt einen interaktiven Stickstoffatlas. In den Baustein „Reaktiver Stickstoff“⁷⁴ fließen die Ergebnisse aus der nationalen</p>	<p>Hier (siehe auch Fußnoten dieser Tabelle)</p>	<p>Ja</p>

⁷² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ammoniakemissionen-in-der-landwirtschaft-mindern>

⁷³ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/reaktive-stickstofffluesse-in-deutschland-2010-2014>

⁷⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/reaktiver-stickstoff/reaktiver-stickstoff>

	Stickstoffbilanz fortlaufend ein.		
<p>3. Die Mitgliedstaaten verbieten den Einsatz von Düngemitteln aus Ammoniumcarbonat und können die Ammoniakemissionen aus anorganischen Düngemitteln durch folgende Maßnahmen reduzieren:</p> <p>a) Ersetzung von Düngemitteln auf Harnstoffbasis durch Düngemittel auf Ammoniumnitratbasis;</p> <p>b) werden weiterhin harnstoffbasierte Düngemittel ausgebracht, Anwendung von Verfahren, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 30 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen;</p> <p>c) Förderung der Ersetzung von anorganischen Düngemitteln durch organische Düngemittel und, sofern weiterhin anorganische Düngemittel eingesetzt werden, deren Ausbringung im Einklang mit dem vorhersehbaren Stickstoff- und Phosphorbedarf der gedüngten Kulturpflanzen oder Grünflächen, wobei auch dem vorhandenen Nährstoffgehalt des Bodens und Nährstoffen aus anderen Düngemitteln Rechnung getragen wird.</p>	<p>Teilweise:</p> <p>Der Einsatz von Ammoniumcarbonat als Dünger ist nicht zulässig.</p> <p>a): Nein</p> <p>b): Ja</p> <p>c): Ja</p>	<p>Vgl. Kapitel 5.1.1 und Tabelle 39 zu b) und c)</p>	<p>Teilweise</p>
<p>4. Die Mitgliedstaaten können die Ammoniakemissionen aus Wirtschaftsdünger durch folgende Maßnahmen reduzieren:</p> <p>a) Reduktion der Emissionen infolge der Ausbringung von Gülle und Festmist auf Acker- und Grünland durch Anwendung von Verfahren, mit denen sich die Ammoniakemissionen um mindestens 30 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen, wobei folgende Bedingungen gelten:</p> <p>i) Ausbringung von Festmist und Gülle ausschließlich im Einklang mit dem vorhersehbaren Stickstoff- und Phosphorbedarf der gedüngten Kulturpflanzen oder Grünflächen, wobei auch dem vorhandenen Nährstoffgehalt des Bodens und den Nährstoffen aus anderen Düngemitteln Rechnung getragen wird;</p>	<p>Ja:</p> <p>a) Vgl. Düngeverordnung (Novelle 2020); einzig Festmist von Huftieren oder Klautieren ist bisher von einer Einarbeitungsfrist ausgenommen.</p> <p>b), c) und d):</p> <p>vgl. u.a. TA Luft (Novelle 2020)</p> <p>bei b) vgl. auch DüV (Novelle 2020)</p>	<p>Kapitel 5.1.1</p>	<p>Ja</p>

<ul style="list-style-type: none"> ii) keine Ausbringung von Festmist und Gülle, wenn der zu düngende Boden wassergesättigt, überflutet, gefroren oder schneebedeckt ist; iii) Ausbringung von Gülle auf Grünflächen mittels Schleppschlauch, Schleppschuh oder durch flache oder tiefe Injektion; iv) Einarbeitung von Festmist oder Gülle, die auf Ackerland ausgebracht werden, innerhalb von vier Stunden nach dem Ausbringen; <p>b) Reduktion von Emissionen aus außerhalb von Ställen gelagertem Wirtschaftsdünger nach folgendem Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) für nach dem 1. Januar 2022 angelegte Güllelager Verwendung emissionsarmer Lagersysteme oder -techniken, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 60 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen; für bereits bestehende Güllelager beträgt dieser Wert 40 %; ii) Überdachung von Festmistlagern; iii) Sicherstellung, dass die landwirtschaftlichen Betriebe über eine ausreichende Kapazität für die Lagerung von Wirtschaftsdünger verfügen, damit der Wirtschaftsdünger nur zu Zeiten ausgebracht wird, die für Pflanzenwachstum geeignet sind; <p>c) Reduktion von Emissionen aus Ställen durch Verwendung von Systemen, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 20 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen;</p> <p>d) Reduktion von Emissionen aus Mist durch Strategien der eiweißreduzierten Fütterung, mit denen sich die Ammoniakemissionen nachweislich um mindestens 10 % im Vergleich zu dem im Ammoniak-Leitfaden genannten Referenzverfahren reduzieren lassen.</p>			
<p>B. Emissionsreduktionsmaßnahmen zur Begrenzung der Emissionen von Feinstaub (PM_{2,5}) und Ruß</p>			

<p>1. Die Mitgliedstaaten können unbeschadet des Anhangs II zur „Cross-Compliance“ der Verordnung (EU) Nr. 1306/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates die Verbrennung von landwirtschaftlichen Ernterückständen und -abfällen sowie von forstwirtschaftlichen Rückständen auf der Fläche verbieten. Die Mitgliedstaaten überwachen die Einhaltung eines gemäß Unterabsatz 1 eingeführten Verbots und setzen es durch. Ausnahmen von einem solchen Verbot dürfen lediglich für Vorsorgeprogramme zur Vermeidung unkontrollierter Flächenbrände, zur Schädlingsbekämpfung oder zum Schutz der biologischen Vielfalt gewährt werden.</p>	<p>Vgl. GAP-Konditionalitäten VO (§14 Verbot des Abbrennens von Stoppelfeldern)</p>	<p>Nicht im Text erwähnt.</p>	<p>Ja.</p>
<p>2. Die Mitgliedstaaten können einen nationalen Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung von Ernterückständen auf der Grundlage folgender Verfahren erstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Verbesserung der Bodenstruktur durch Einarbeitung von Ernterückständen; b) bessere Techniken für die Einarbeitung von Ernterückständen; c) alternative Verwendung von Ernterückständen; d) Verbesserung der Nährstoffbilanz und der Bodenstruktur durch Einarbeitung von Wirtschaftsdünger in der für optimales Pflanzenwachstum erforderlichen Menge und durch Vermeidung des Verbrennens von Wirtschaftsdünger oder Strohtiefstreu. 	<p>Ja,</p>	<p>Siehe Tabelle 41 unter A. 1</p>	<p>Ja</p>
<p>C. Verhinderung von Folgen für landwirtschaftliche Kleinbetriebe</p>			
<p>Beim Ergreifen der in den Abschnitten A und B aufgeführten Maßnahmen stellen die Mitgliedstaaten sicher, dass den Folgen für landwirtschaftliche Klein- und Kleinstbetriebe in vollem Umfang Rechnung getragen wird. Die Mitgliedstaaten können beispielsweise landwirtschaftliche Klein- und Kleinstbetriebe von den Maßnahmen ausnehmen, wenn dies im Hinblick auf die geltenden Reduktionsverpflichtungen machbar und angemessen ist (O).</p>	<p>Ja; z. B. DüV (Novelle 2020, §10 Abs. 3)</p>	<p>Siehe Tabelle 39</p>	<p>Ja</p>

7 Zur Verabschiedung vorgesehene Strategien nach Sektoren; Zeitplan für ihre Verabschiedung, Umsetzung und Überprüfung; zuständige Behörden

7.1 Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie-/Maßnahmenpakete; zuständige Behörden

Tabelle 42: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Beschleunigter Ausstieg aus der Kohleverstromung idealerweise bis 2030 Siehe Tabelle 33
Derzeit vorgesehenes Jahr der Verabschiedung	2022
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: 2022 Abschlussjahr: 2030
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.
Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 33

Tabelle 43: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden - Novellierung der 17. BImSchV in 2023

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Novellierung der 17. BImSchV in 2023 (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) Siehe Tabelle 34
Derzeit vorgesehenes Jahr der Verabschiedung	2023
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: 2023, inklusive zwei Jahren Übergangsfrist mit einer Gültigkeit der Regulierung ab 01. Januar 2026 Abschlussjahr: 2029
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.

Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 34
---	------------------

Tabelle 44: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV für ausgewählte Brennstoffe (optional)

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Prüfung einer Änderung der 13. BImSchV (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen) für feste (außer Kohle), flüssige und biogene Brennstoffe Siehe Tabelle 35
Derzeit vorgesehene Jahr der Verabschiedung	Optionale Maßnahme. Prüfung einer Änderung erfolgt, wenn sich abzeichnet, dass die Einhaltung der NO _x -Reduktionsverpflichtung in 2030 mit den sonstigen beschlossenen Maßnahmen nicht gewährleistet werden kann und weitere Emissionsminderungen zur Einhaltung notwendig werden. Bei einer Prüfung ist insbesondere zu untersuchen, ob herabgesetzte Grenzwerte mit der Dekarbonisierung der Industrie (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff) vereinbar sind.
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: Abschlussjahr:
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.
Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 35

Tabelle 45: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen – (Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG))

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen Siehe Tabelle 36
Derzeit vorgesehene Jahr der Verabschiedung	2023
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: 2024 Abschlussjahr: fortlaufend

Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.
Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 36

Tabelle 46: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1189 ab 2027 Siehe Tabelle 37
Derzeit vorgesehenes Jahr der Verabschiedung	2025
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: 2027 Abschlussjahr: fortlaufend
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.
Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 37

Tabelle 47: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Ökodesign-Verordnung (EU) 2015/1185 ab 2029 Siehe Tabelle 38
Derzeit vorgesehenes Jahr der Verabschiedung	2027
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: 2029 Abschlussjahr: fortlaufend
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.

Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 38
---	------------------

Tabelle 48: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Maßnahmenpaket Landwirtschaft

Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets	Maßnahmenpaket Landwirtschaft Siehe Tabelle 39
Derzeit vorgesehene Jahr der Verabschiedung	laufend
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung	Anfangsjahr: laufend Abschlussjahr: 2030
Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)	Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft. Zusätzlich wird künftig jährlich eine Überprüfung der Höhe der Ammoniakemissionen des Vorjahres durchgeführt. Diese soll im Rahmen der Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz § 5 Absatz 1 auch für Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft erfolgen. Die Vorjahresschätzung basiert auf aktuellen Statistiken über wichtige Aktivitätsdaten für das Vorjahr (Tierbestände, N-Mineraldüngerabsatz) und muss jährlich zum 15. März vorgelegt werden. Liegen die Ammoniakemissionen der Vorjahresschätzung oberhalb des linearen Zielpfads nach NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284, so entwickelt BMEL in Abstimmung mit BMUV ein Maßnahmenpaket, das die Einhaltung des Zielpfads für die folgenden Jahre sicherstellen soll. Im Rahmen der Emissionsprognosen kann es zu Ungenauigkeiten kommen, denen bei einer möglichen Anpassung des vorliegenden Programms Rechnung getragen werden muss. Daher wird eine Mindestabweichung von 10 kt NH ₃ oberhalb des linearen Zielpfads als Nicht-Einhaltung gewertet. Das Maßnahmenpaket tritt in Kraft, wenn es im Folgejahr zu einer zweiten Überschreitung von über 10 kt (in der Vorjahresschätzung) kommt und sich damit die Überschreitung im Vorjahr (aus der vorherigen Vorjahresschätzung) in der Emissionsberechnung bestätigt.
Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)	Siehe Tabelle 39

Tabelle 49: Zur Verabschiedung vorgesehene einzelne Strategien/Maßnahmen oder Strategie- oder Maßnahmenpakete; zuständige Behörden – Maßnahmenpaket Verkehr

<p>Bezeichnung und Kurzbeschreibung einer einzelnen Strategie/Maßnahme oder eines Strategie- oder Maßnahmenpakets</p>	<p>Maßnahmenpaket Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einführung einer Euro 7 Norm • Ausweitung der Lkw-Maut • Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität <p>Siehe Tabelle 40</p>
<p>Derzeit vorgesehene Jahr der Verabschiedung</p>	<p>2024 – Verabschiedung einer Euro 7 Norm 2023 – Ausweitung der Lkw-Maut laufend – Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität</p>
<p>Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Umsetzung</p>	<p>Anfangsjahr: 2023 Abschlussjahr: fortlaufend</p>
<p>Derzeit vorgesehener Zeitplan für die Überprüfung (falls abweichend von der allgemeinen Aktualisierung des nationalen Luftreinhalteprogramms alle vier Jahre)</p>	<p>Mit der turnusmäßigen Aktualisierung der Emissionsprojektionen für Luftschadstoffe zur Berichterstattung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 spätestens zum 15. März 2025 werden die Maßnahme sowie die Annahmen zur Bewertung ihres Minderungspotenziales erneut geprüft.</p>
<p>Für die einzelne Strategie/Maßnahme oder das Strategie- oder Maßnahmenpaket zuständige Behörden (siehe Tabelle 9)</p>	<p>Siehe Tabelle 40</p>

7.2 Erläuterung, wie die Auswahl vorgenommen wurde, und Bewertung, wie die ausgewählten Strategien und Maßnahmen die Kohärenz mit Plänen und Programmen in anderen relevanten Politikbereichen gewährleisten

Die Strategien und Maßnahmen, die im nationalen Luftreinhalteprogramm zur Erreichung der Minderungsverpflichtungen der Richtlinie (EU) 2016/2284 ausgewählt wurden, weisen teilweise erhebliche Synergieeffekte mit anderen Politikfeldern auf.

Dabei ergibt sich insbesondere eine hohe Kohärenz mit dem Politikfeld des Klimaschutzes, da die Emission von Luftschadstoffen in vielen Fällen mit der Emission von Klimagasen korreliert. Im Bereich des Klimaschutzes bereitet die Bundesregierung derzeit das erste Maßnahmenprogramm zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 vor. Eine sukzessive Verminderung der Verstromung von Kohle wird sowohl im Maßnahmenprogramm im Klimaschutz als auch im nationalen Luftreinhalteprogramm einen Beitrag zu den jeweiligen Zielen/Minderungsverpflichtungen leisten.

In Bezug auf den nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) der Bundesregierung wird – auch in Bezug auf die zugrundeliegenden Projektionen – eine größtmögliche Kohärenz mit dem nationalen Luftreinhalteprogramm angestrebt. Erschwert wird dies allerdings dadurch, dass die Pläne zu unterschiedlichen Zeitpunkten bei der Europäischen Kommission einzureichen sind.

Neben dem Klimaschutz haben auch agrarpolitische Pläne und Programme einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen, insbesondere der Ammoniak-Emissionen. So setzt die Weiterentwicklung der gemeinsamen Agrarpolitik der EU und ihre Umsetzung in Deutschland die Rahmenbedingungen für die Emissionen selbst als auch für die Förderfähigkeit von Emissionsminderungsmaßnahmen.

Darüber ergeben sich weitere Synergien der ausgewählten Maßnahmen im nationalen Luftreinhalteprogramm insbesondere mit Plänen und Programmen in den Bereichen Gesundheit, Biodiversität, Wasser, Stickstoff und Nachhaltigkeit.

8 Voraussichtliche kombinierte Auswirkungen von Strategien und Maßnahmen („mit zusätzlichen Maßnahmen“) im Hinblick auf Emissionsreduktion, Luftqualität und Umwelt und damit verbundene Unsicherheiten

8.1 Voraussichtliche Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen (mit zusätzlichen Maßnahmen)

Tabelle 50: Voraussichtliche Einhaltung der Emissionsreduktionsverpflichtungen (mit zusätzlichen Maßnahmen)

Schadstoffe	Gesamtemissionen (kt), in Übereinstimmung mit den Inventaren für das Jahr x-3 (2022)			Erzielte Emissionsreduktion in % gegenüber 2005		Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung für 2020-2029 ggü. 2005 (in %)	Nationale Emissionsreduktionsverpflichtung ab 2030 ggü. 2005 (in %)
	berichtet ⁷⁵	NEC-Compliance-Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM)		NEC-Compliance-Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM)			
		Basisjahr 2005	2025	2030	2025		
SO _x (als SO ₂)	473	191	143	59,6	69,7	21	58
NO _x (als NO ₂)	1632	802	609			-	-
NO _x (als NO ₂) ohne NFR 3B und 3D	1515	700	513	53,8	66,1	39	65
NMVOC	1487	1038	1025			-	-
NMVOC ohne NFR 3B und 3D	1180	755	753	36,0	36,2	13	28
NH ₃	603	454	415	24,7	31,2	5	29
PM _{2,5}	135	82	76	39,1	43,7	26	43
Datum der Emissionsprognosen	Die erstellten Emissionsprojektionen des NEC-Compliance-Szenarios „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM) entsprechen dem Stand der EMMA-Datenbank zum 02.05.2023. Das Szenario kann bereits umgesetzte Maßnahmen umfassen, sofern diese zu den in Kapitel 5.1.1 aufgeführten Stichtagen (je Sektor) noch nicht rechtskräftig waren.						

⁷⁵ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/inventories/envygij4g/

8.2 Nichtlinearer Emissionsreduktionspfad

Die in diesem Programm erstellten Emissionsreduktionen der Luftschadstoffe führen zu einer Einhaltung der Zielverpflichtung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 ab 2030 sowie der Einhaltung der indikativen Reduktionsverpflichtung in 2025.

8.3 Flexibilitätsregelungen

Für die Erstellung des nationalen Luftreinhalteprogramms 2023 und der Erstellung und Bewertung der Emissionsprojektion der Luftschadstoffe für die Jahre 2020 – 2029 und ab 2030 wurde keine Flexibilitätsregelung gemäß der Richtlinie (EU) 2016/2284 in Anspruch genommen.

Die verpflichtenden Emissionsreduktionsziele werden mit den Strategien und Maßnahmen im Szenario „mit Maßnahmen“ (WM) bzw. unter Berücksichtigung zusätzlicher Maßnahmen (WAM) vollumfänglich erreicht.

8.4 Voraussichtliche Verbesserung der Luftqualität (mit zusätzlichen Maßnahmen)

Zur Beschreibung der Verbesserung der Luftqualität im WAM-Szenario wurden RCG-Modellläufe durchgeführt. Die allgemeine Methodik der Modellierung mit RCG ist in Kapitel 4.3 beschrieben. Die Quantifizierung erfolgte durch einen Vergleich eines RCG-Modelllaufes für 2020 und eines RCG-Modelllaufes für 2030. Als Emissionsdaten wurden für Deutschland die mit GRETA räumlich verteilten Emissionen für 2020 aus der Submission 2022 verwendet, für 2030 ein mit GRETA räumlich verteiltes vorläufiges WAM-Szenario, mit dem die Reduktionsverpflichtungen eingehalten werden. Für Europa wurden Emissionen von CAMS v5.1 verwendet, die für 2030 mit den von den Mitgliedstaaten im WAM-Szenario mit der Submission 2021 berichteten Emissionen und Emissionsprojektionen skaliert wurden. Beide Modellläufe wurden mit meteorologischen ICON-Daten für 2020 und innerhalb von Deutschland mit einer räumlichen Auflösung von $2 \times 2 \text{ km}^2$ durchgeführt. Die Auswertung erfolgte für die Schadstoffe PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 und O_3 auf Basis der Jahresmittelwerte.

In der Abbildung 25, Abbildung 26, Abbildung 27 und Abbildung 28 sind die Ergebnisse in Karten dargestellt, jeweils für die Jahre 2020 und 2030 sowie als Differenz über die Dekade. Die Tabelle 51 enthält zusammenfassende Ergebnisse zu den Konzentrationsänderungen.

Entsprechend der hohen Reduktionen bei den NO_x -Emissionen ist der Rückgang bei den NO_2 -Konzentrationen am höchsten. Sie machen sich v. a. entlang der stark befahrenen Verkehrsachsen bemerkbar. Die Rückgänge der Feinstaub-Konzentrationen sind für beide PM-Fraktionen vergleichbar, für Ozon wird im Mittel ein minimaler Rückgang prognostiziert.

Abbildung 25: Kartendarstellung der PM₁₀-Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m³

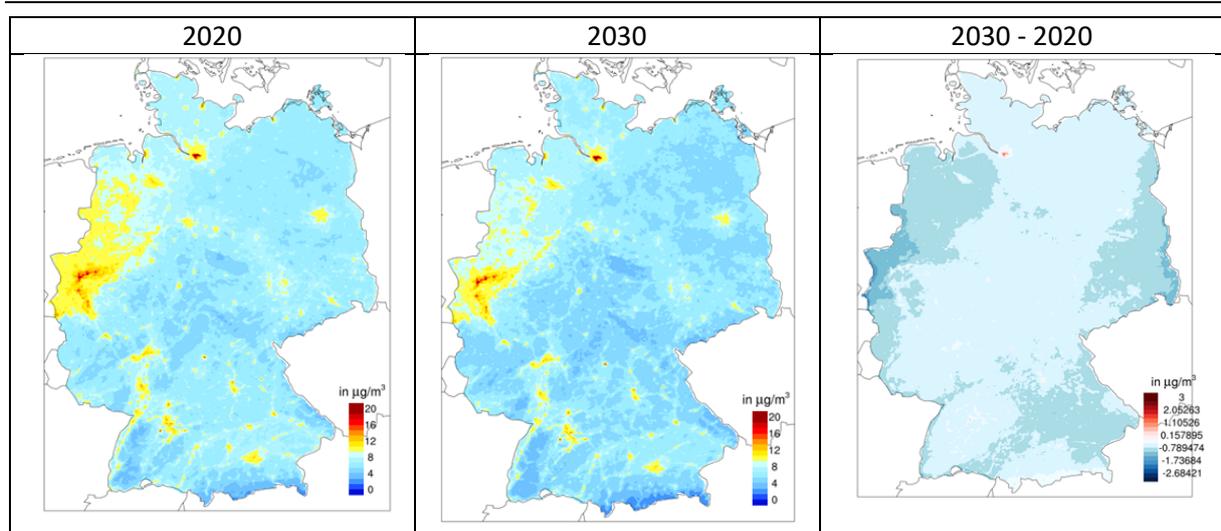


Abbildung 26: Kartendarstellung der PM_{2,5}-Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m³

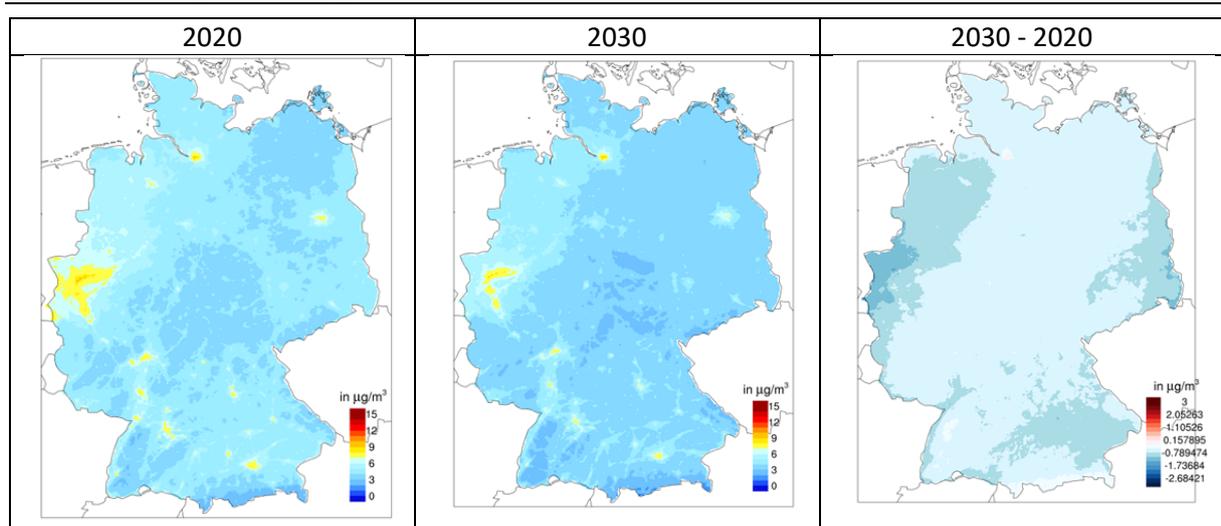


Abbildung 27: Kartendarstellung der NO₂-Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m³

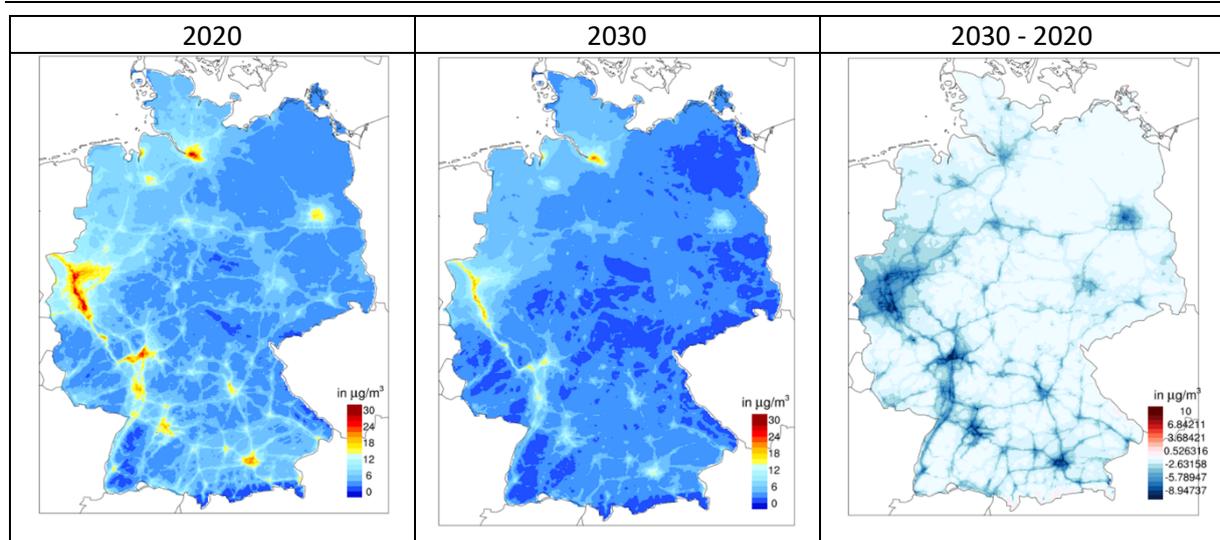


Abbildung 28: Kartendarstellung der O₃-Konzentrationen in den Jahren 2020 und 2030 im WAM-Szenario sowie der Konzentrationsdifferenz innerhalb der Dekade; Angaben jeweils in µg/m³

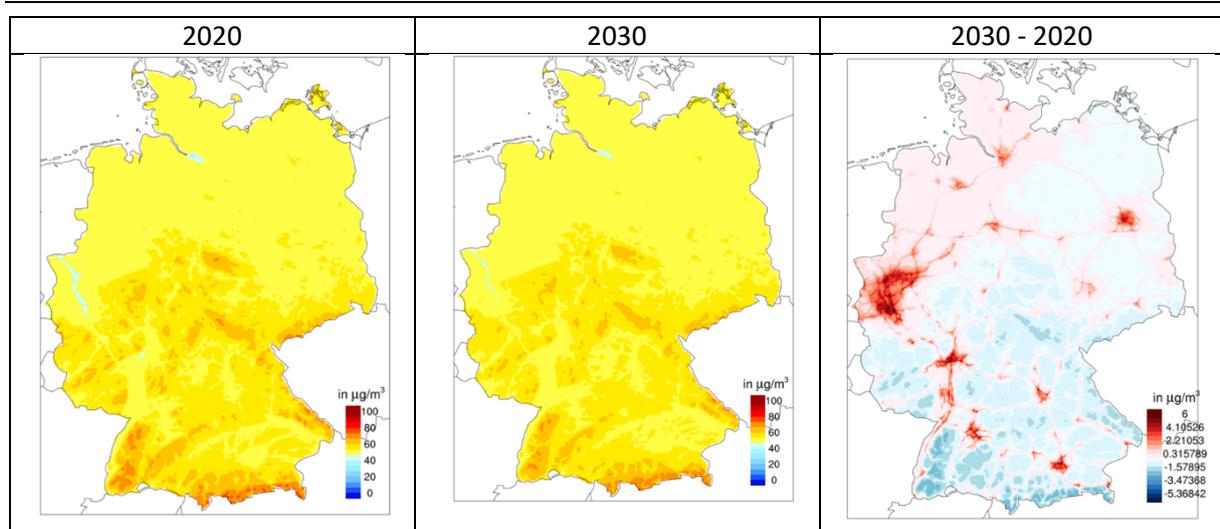


Tabelle 51: Auswertung aller 2x2 km²-Zellen für die beiden Modellläufe

Luftschadstoff	Differenz Konzentration 2030-2020 in µg/m ³	Relative Änderung der Kon- zentration von 2020 nach 2030
PM ₁₀	-0,8	-11 %
PM _{2,5}	-0,7	-16 %
NO ₂	-2,1	-38 %
O ₃	-0,3	<-1 %

8.5 Voraussichtliche Auswirkungen auf die Umwelt (mit zusätzlichen Maßnahmen)

Durch die weiteren Emissionsminderungen von versauernd und eutrophierend wirkenden Luftschadstoffen werden sich die Gebiete, in denen in Deutschland die Versauerung und die Eutrophierung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreiten, weiter verkleinern (vgl. Tabelle 52). Dieser Effekt wird bei Gebieten, in denen Ozon die kritische Belastungsschwelle überschreitet, weniger stark ausgeprägt sein (siehe auch die in Kapitel 8.4 dargestellten Ergebnisse), wurde aber hier nicht ausgewertet.

Die Ergebnisse wurden in einem laufenden Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes mit dem Chemie-Transportmodell LOTOS-EUROS durch die Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (kurz: TNO) unter Annahme der Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen erzeugt. Das Jahr 2030 wurde mit dem meteorologischen Datensatz des Jahres 2015 modelliert. Die meteorologischen Daten wurden vom European Centre of Medium Range Weather Forecasting (ECMWF) geliefert. Das Emissionsszenario wurde vom Umweltbundesamt in 2x2 km² horizontaler Auflösung zur Verfügung gestellt und entspricht nahezu dem im Kapitel 8.1 dargestellten WAM-Szenario.

Tabelle 52: Voraussichtliche Auswirkungen auf die Umwelt (mit zusätzlichen Maßnahmen)

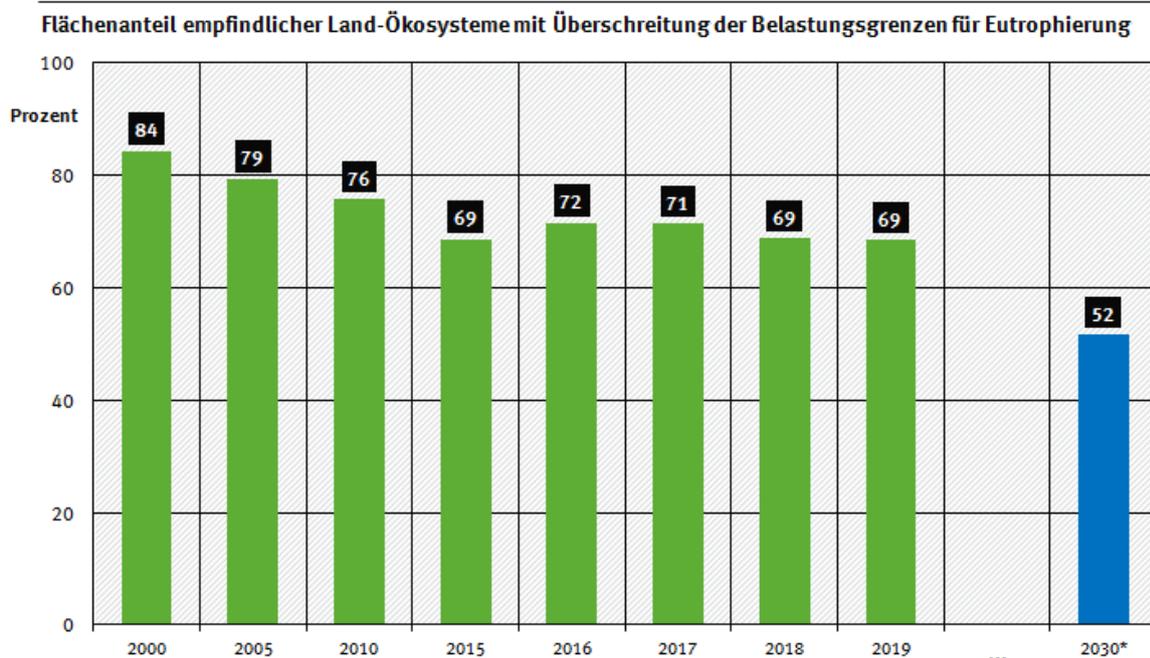
	Zur Bewertung der Umweltauswirkungen herangezogenes Basisjahr (2005)	2019	2030	Beschreibung
Gebiet des Mitgliedsstaats, in dem die Versauerung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreitet (in %)	57,8	26,1	12,2	Ergebnisse aus PINETI IV im Auftrag des Umweltbundesamtes, quantifiziert mit LOTOS-EUROS ⁷⁶ , in Schaap et al., 2023 (noch nicht veröffentlicht)
Gebiet des Mitgliedsstaats, in dem die Eutrophierung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreitet (in %)	79,4	68,5	51,8	
Gebiet des Mitgliedsstaats, in dem die kritische Belastungsschwelle überschreitet (in %)	Aussagen zu Überschreitungen von kritischen Belastungsschwellen können nicht gebiets- jedoch stationsbezogen getroffen werden, da aktuell keine flächenhaften Berechnungen oder Modellierungen existieren. Im Zuge der Berichterstattung gem. NEC-RL Art. 9 wurde für ausgewählte Stationen des Luftmessnetzes in Deutschland für den Zeitraum von 2009 bis 2021 die phytotoxische Ozondosis (POD) für bestimmte Pflanzenarten berechnet.			Die Berechnung der POD erfolgte gemäß den Vorgaben aus VDI 2310 Blatt 6 (2020): Maximale Immissions-Werte zum Schutz der Vegetation – Kritische Dosis-Kenngrößen für Ozon. Diese VDI-Richtlinie geht von

⁷⁶ gemäß <https://www.umweltbundesamt.de/en/cce-manual>

		permanenter Wasserverfügbarkeit der Pflanze aus und stellt damit ein Schlimmstfall-Szenario dar.
--	--	--

Damit erreicht Deutschland das Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung⁷⁷, die Gebiete, in denen die Eutrophierung den kritischen Eintragungsschwellenwert überschreitet, in 2030 gegenüber 2005 um 35 Prozent zu reduzieren (vgl. Abbildung 29 und Tabelle 52).

Abbildung 29: Entwicklung des Flächenanteils empfindlicher Landökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung von 2000 bis 2019 und für 2030



* Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung: Der Anteil der Flächen, die von zu hohen Stickstoffeinträgen betroffen sind, soll zwischen 2005 und 2030 um 35 % sinken. Bei einem Wert von 79 % im Jahr 2005 ergibt sich für 2030 ein Zielwert von 52 %.

Quelle: Schaap et al., 2023, in Vorbereitung

Die Abbildung 30 gibt die Überschreitungssituation des Critical Load für Versauerung durch Schwefel- und Stickstoffeinträge aus Tabelle 52 räumlich aufgelöst in 2030 (rechts) im Vergleich zu 2005 (links) wieder.

⁷⁷ <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/974430/1940716/4bdf89ccea3b1e4367918384b8839a37/2021-07-26-gsds-en-data.pdf?download=1>

Abbildung 31 zeigt diesen Vergleich für die Überschreitungssituation des Critical Load für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge analog.

Abbildung 30: Überschreitungssituation des Critical Load für Versauerung durch Schwefel- und Stickstoffeinträge im Jahr 2005 und in 2030

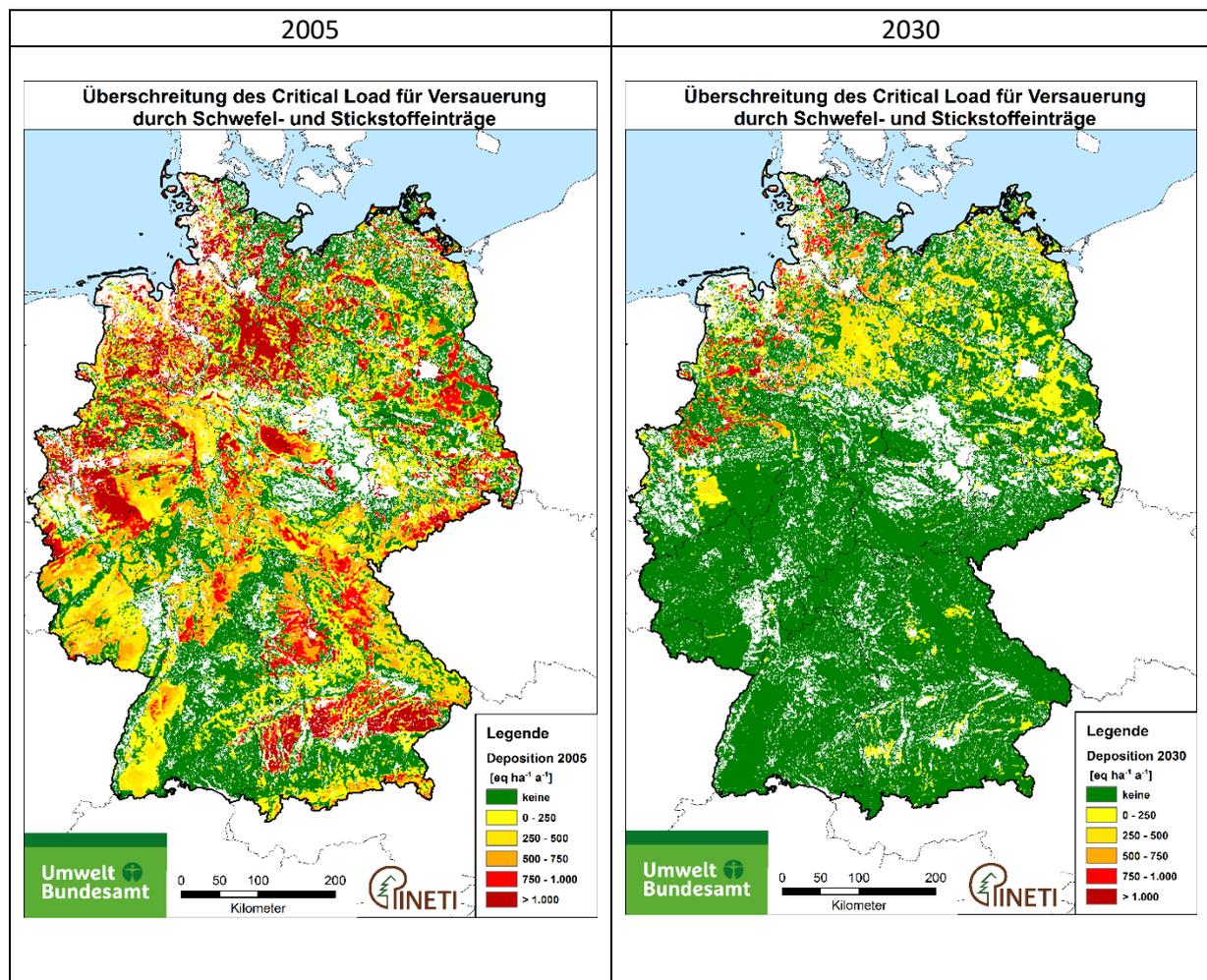
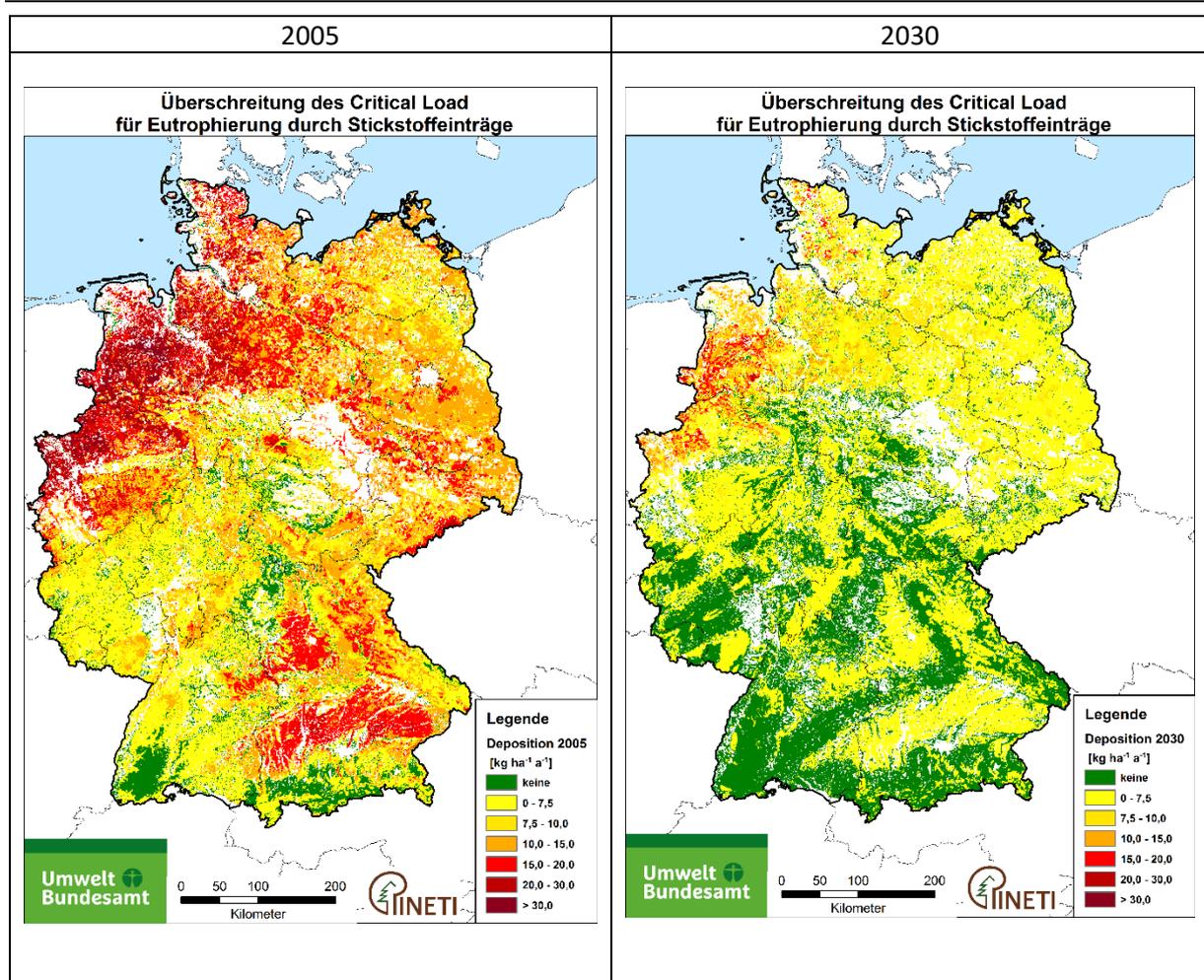


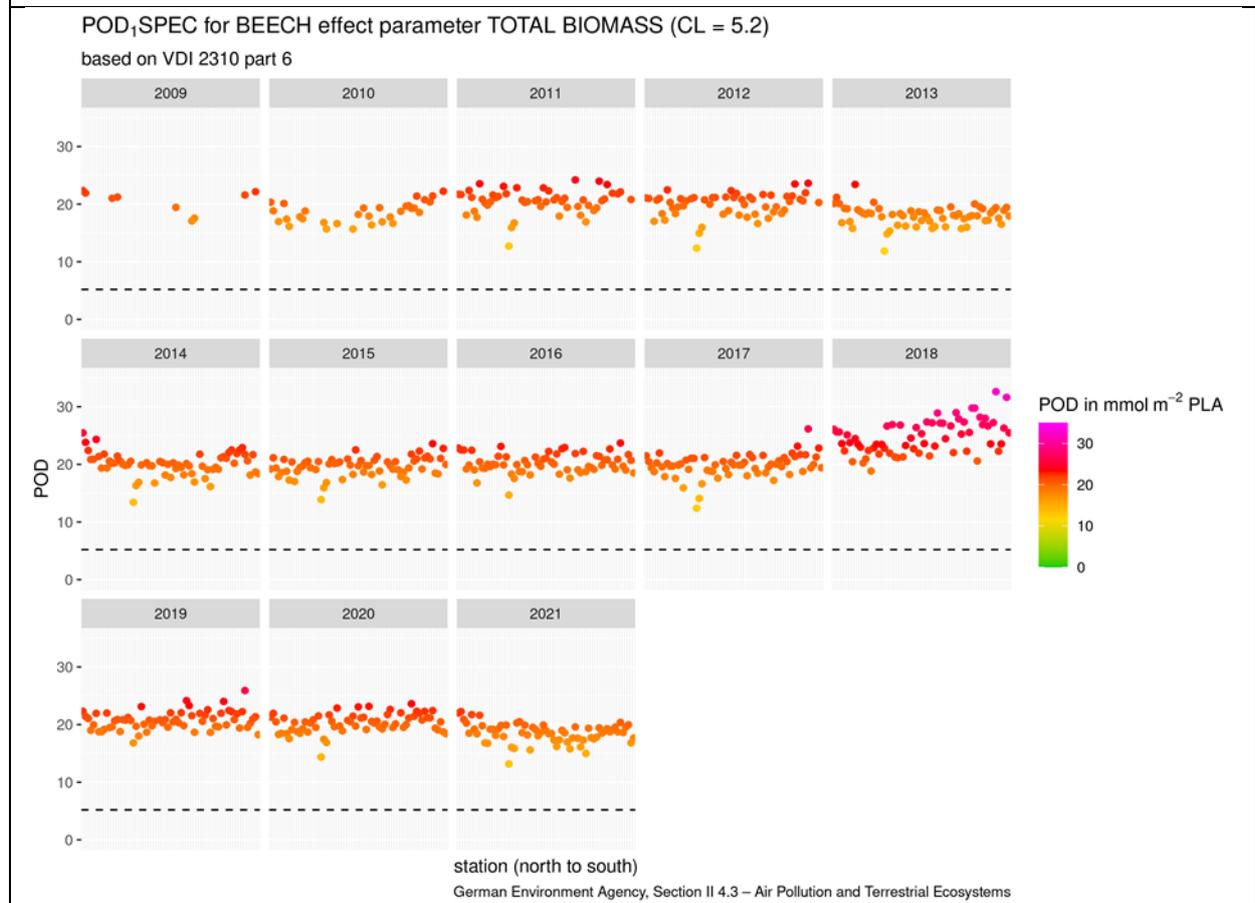
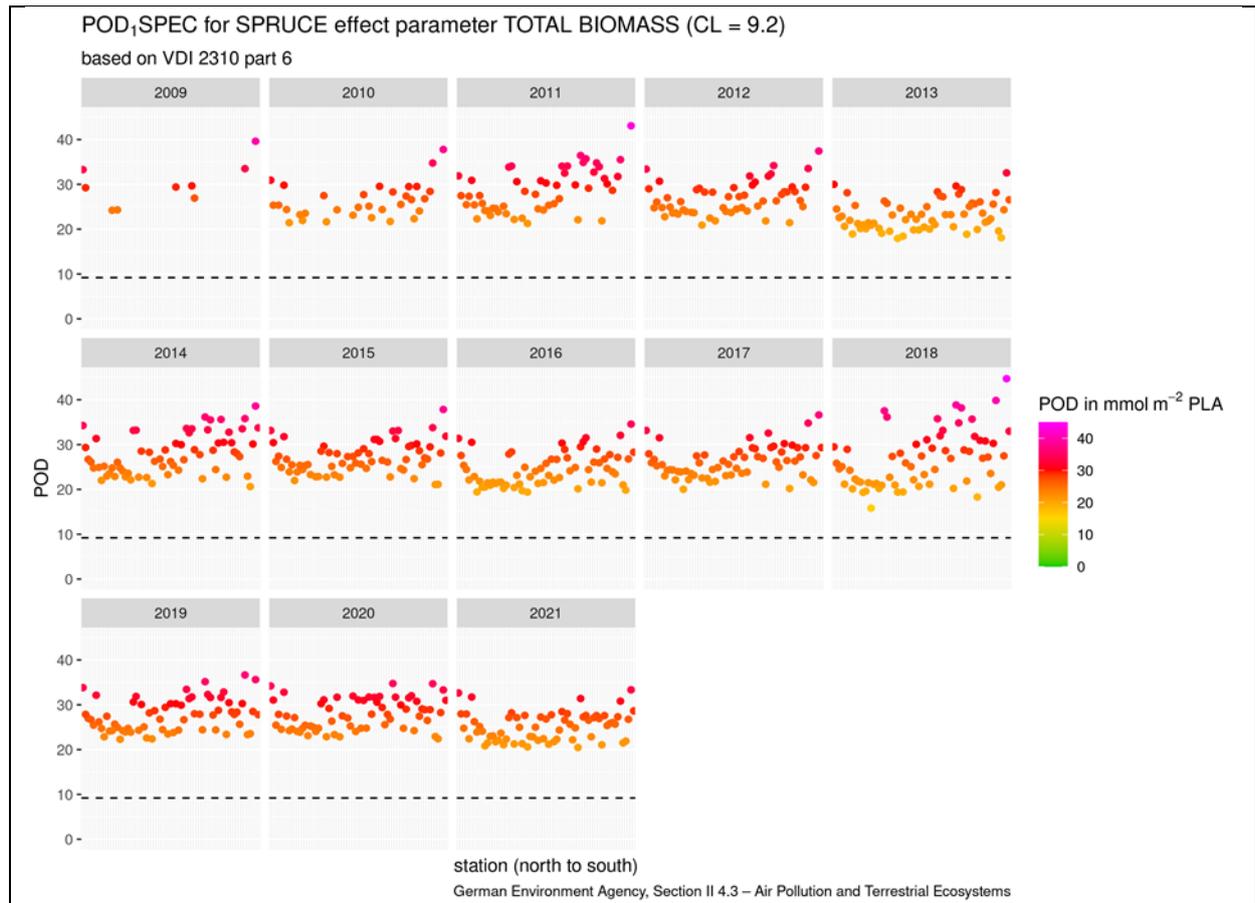
Abbildung 31: Überschreitungssituation des Critical Load für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge im Jahr 2005 und in 2030



Nach den in Tabelle 52 beschriebenen Schlimmstfall-Berechnungen der phytotoxischen Ozondosis (POD) für ausgewählte Pflanzenarten wurden im gesamten Zeitraum 2009 bis 2021 die kritischen Belastungsschwellen für Weizen, Fichte und Buche an allen Stationen überschritten. Die stationsbezogenen Ergebnisse sind in Abbildung 32 grafisch dargestellt.

Abbildung 32: stationsbezogene Ergebnisse zur phytotoxischen Ozondosis (POD) für Weizen (oben), Fichte (Mitte) und Buche (unten) von 2009 bis 2021 aufgetragen als Punktwolke gegenüber der spezifischen kritischen Belastungsschwelle





9 Quellenverzeichnis

Quellen / Referenzen sind i. d. R. direkt auf derselben Seite in einer Fußnote zur jeweiligen Textstelle angegeben. Im Quellenverzeichnis sind nur Quellen aufgeführt, die häufiger im Text auftauchen und daher nicht an allen Stellen mit einer Fußnote versehen sind.

Koalitionsvertrag der Bundesregierung 2021-2025 vom 24.11.2021 (KoaV, 2021): <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800>

Ralph O. Harthan, Hannah Förster, Kerstin Borkowski, Hannes Böttcher, Sibylle Braungardt, Veit Bürger, Lukas Emele, Wolf Kristian Görz, Klaus Hennenberg, Luca Lena Jansen, Wolfram Jörß, Peter Kasten, Charlotte Loreck, Sylvie Ludig, Felix Chr. Matthes, Roman Mendelewitsch, Lorenz Moosmann, Christian Nissen, Julia Repenning, Margarethe Scheffler, Inia Steinbach, Malte Bei der Wieden, Kirsten Wiegmann, Öko-Institut, Berlin, Freiburg, Darmstadt, Heike Brugger, Tobias Fleiter, Tim Mandel, Matthias Rehfeldt, Clemens Rohde, Songmin Yu, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Jan Steinbach, Jana Deurer, IREES GmbH, Karlsruhe, Roland Fuß, Joachim Rock, Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Sascha Adam, Karsten Dunger, Claus Rösemann, Wolfgang Stümer, Bärbel Tiemeyer, Cora Vos, Thünen-Institut, Braunschweig, Hamburg, Eberswalde (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland, Climate Change 39/2023: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>

Repenning, J.; Harthan, R.O.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jörß, W.; Ludig, S.; Matthes, F. C.; Mendelewitsch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Rausch, L.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Wissner, N.; Zerrahn, A. (Öko-Institut, Berlin); Brugger, H.; Fleiter, T.; Rehfeldt, M.; Rohde, C.; Schlomann, B.; Yu, S. (Fraunhofer ISI, Karlsruhe); Steinbach, J.; Deurer, J. (IREES GmbH, Karlsruhe); Osterburg, B.; Rösemann, C.; Gensior, A.; Rock, J.; Stümer, W.; Rüter, S.; Fuß, R.; Tiemeyer, B.; Laggner, A.; Adam, S. (Thünen-Institut, Braunschweig, Eberswalde, Hamburg) (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland, <https://dip.bundestag.de/vorgang/projektionsbericht-2021-f%C3%BCr-deutschland/282715>

