

# LUFTQUALITÄT 2011

Feinstaubepisoden prägten das Bild



## Impressum

**Herausgeber:** Umweltbundesamt  
Pressestelle  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau

**E-Mail:** pressestelle@uba.de  
**Internet:** www.umweltbundesamt.de

**Redaktion:** Umweltbundesamt  
Fachgebiet II 4.2 „Beurteilung der Luftqualität“

**E-Mail:** II4.2@uba.de

**Gestaltung:** UBA

**Titelfoto:** © Bruno Neininger / www.metair.ch

**Stand:** 25.05.2012

# Inhaltsverzeichnis

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Auswertung der Luftbelastungssituation in Deutschland</b> | <b>4</b>  |
| a) Zusammenfassung  | 4         |
| b) Ursache der Luftschadstoffbelastung                          | 4         |
| c) Die Belastungsregimes  | 4         |
| <b>II. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)</b>                    | <b>4</b>  |
| a) NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte                           | 4         |
| b) NO <sub>2</sub> -Stundenmittelwerte                          | 6         |
| <b>III. Feinstaub (PM<sub>10</sub>)</b>                         | <b>6</b>  |
| a) PM <sub>10</sub> -Tagesmittelwerte                           | 6         |
| b) PM <sub>10</sub> -Episoden im Jahr 2011                      | 6         |
| c) PM <sub>10</sub> -Jahresmittelwerte                          | 15        |
| <b>IV. Ozon (O<sub>3</sub>)</b>                                 | <b>15</b> |
| <b>ANHANG</b>   | <b>16</b> |

# Luftqualitäts-Grenzwerte vielfach überschritten - Feinstaubepisoden prägten das Bild

## I. Auswertung der Luftbelastungssituation in Deutschland

Das Umweltbundesamt stellt eine Auswertung der Luftbelastungssituation des Jahres 2011 im Vergleich zu den Vorjahren vor. Die Auswertung basiert vorwiegend auf endgültig validierten Daten aus den Messnetzen der Länder und des Umweltbundesamtes. Aufgrund umfangreicher Qualitätssicherungsmaßnahmen in den Messnetzen der Länder und des Umweltbundesamtes stehen alle endgültig validierten Daten erst im Laufe der ersten Hälfte des neuen Jahres zur Verfügung. Es ist daher möglich, dass sich die mittleren Zahlen im Einzelnen noch geringfügig ändern. Beurteilt wird die Belastungssituation durch die Schadstoffe Feinstaub (PM<sub>10</sub>), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) sowie Ozon, die nach wie vor Überschreitungen der geltenden Grenz- und Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit aufweisen. Des Weiteren wird das Ausmaß der PM<sub>10</sub>-Episoden im Jahr 2011 näher untersucht.

### a) Zusammenfassung

Seit dem 01.01.2010 sind die bereits 1999 beschlossenen Grenzwerte für Stickstoffdioxid nun einzuhalten: Die Jahresmittelwerte dürfen den Wert von 40 µg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten, 1-Stundenwerte über 200 µg/m<sup>3</sup> sind höchstens achtzehnmal im Kalenderjahr zugelassen. An etwa 69 Prozent der städtisch verkehrsnahen Stationen lagen im Jahr 2011 die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 40 µg/m<sup>3</sup>. An einzelnen verkehrsnahen Messstationen (ca. 4 Prozent) traten öfter als achtzehnmal NO<sub>2</sub>-Stundenwerte über 200 µg/m<sup>3</sup> auf. Im Vergleich zu den Vorjahren war die Stickstoffdioxidbelastung im Jahr 2011 nahezu unverändert.

An ca. 20 Prozent aller Messstationen wurden an mehr als 35 Tagen PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte über 50 µg/m<sup>3</sup> gemessen und somit Überschreitungen des Grenzwertes festgestellt.

Die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen lagen 2011 im Mittel über dem Niveau der vorangegangenen vier Jahre.

Im Sommer 2011 gab es keine ausgeprägten Episoden mit hohen Ozonspitzenbelastungen. Die Ozonkonzentrationen überschritten dennoch an etwa 11 Prozent der Messstationen den Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Dabei darf der maximale 8-Stunden-Wert eines Tages an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre, den Wert von 120 µg/m<sup>3</sup> überschreiten.

### b) Ursache der Luftschadstoffbelastung

Ursache der Luftschadstoffbelastungen sind vor allem Emissionen des Straßenverkehrs und aus Verbrennungsprozessen in Industrieanlagen, bei der Energieerzeugung sowie in Haushalten, die u.a. abhängig von der Wirtschaftslage von Jahr zu Jahr variieren. Zur Feinstaubbelastung tragen darüber hinaus Emissionen der Landwirtschaft bei. Die Höhe der Schadstoffbelastung wird auch von den Witterungsverhältnissen des jeweiligen Jahres mit beeinflusst. So bedingen winterliche Hochdruckwet-

terlagen bei sehr niedrigen Lufttemperaturen erhöhte Emissionen durch verstärktes Heizen. Sind diese außerdem durch geringe Windgeschwindigkeiten und einen eingeschränkten vertikalen Luftaustausch gekennzeichnet, führt dies zur Anreicherung von Schadstoffen in den unteren Luftschichten. Wetterlagen mit hohen Windgeschwindigkeiten und somit guten Durchmischungsbedingungen verringern hingegen die Schadstoffbelastung in der Luft. Vor allem diese unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen verursachen die zwischenjährlichen Schwankungen in der Luftbelastung. Mehrere Episoden kalten Hochdruckwetters von Ende Januar bis März und im November waren für die Feinstaubbelastung im Jahr 2011 prägend.

### c) Die Belastungsregimes

In den nachfolgenden Abschnitten sind die an den einzelnen Luftmessstationen erhobenen Konzentrationswerte so zusammengefasst, dass sie bestimmte Belastungsregimes charakterisieren. Das Regime *ländlicher Hintergrund* steht dabei stellvertretend für Gebiete, in denen die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen Emissionen ist. Stationen in diesem Regime repräsentieren somit das großräumige Belastungsniveau, das auch als großräumiger Hintergrund bezeichnet wird. Das Regime *städtischer Hintergrund* ist charakteristisch für Gebiete, in denen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen als typisch für die Luftqualität in der Stadt angesehen werden können. Die Belastung ergibt sich dabei aus städtischen Emissionen (Straßenverkehr, Hausbrand, etc.) und dem großräumigen Hintergrund. Stationen des Regimes *städtisch verkehrsnah* befinden sich typischerweise in stark befahrenen Straßen. Dadurch addiert sich zur städtischen Hintergrundbelastung ein Beitrag, der durch die direkten Emissionen des Straßenverkehrs entsteht.

## II. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

### a) NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte

Die Höhe der NO<sub>2</sub>-Belastung ist sehr stark durch lokale Quellen - insbesondere den Verkehr in Ballungsräumen - bestimmt. Daher zeigen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte nur gering ausgeprägte zwischenjährliche Schwankungen. Im ländlichen, emittentfernen Bereich waren an den Messstationen im gesamten Betrachtungszeitraum 2000 bis 2011 NO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf gleichbleibendem Niveau um 10 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel zu verzeichnen (Abbildung 1, grüne Kurve).

Auch im *städtischen Hintergrund* liegen die Werte weit unterhalb des Grenzwertes (Abbildung 1, gelbe Kurve). Mit Werten um 40 µg/m<sup>3</sup> liegt der mittlere NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert an verkehrsnahen Standorten (Abbildung 1, rote Kurve) im Bereich des seit 01.01.2010 einzuhaltenden Grenzwertes. Dies spiegelt wider, dass an einer Vielzahl von Stationen Jahresmittel oberhalb 40 µg/m<sup>3</sup> gemessen und somit Grenzwertüberschreitungen verzeichnet wurden.

An ca. 69 Prozent der verkehrsnahen Messstationen überschritten im Jahr 2011 die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte den einzuhaltenden Grenzwert (Abbildung 2, rote Balken).

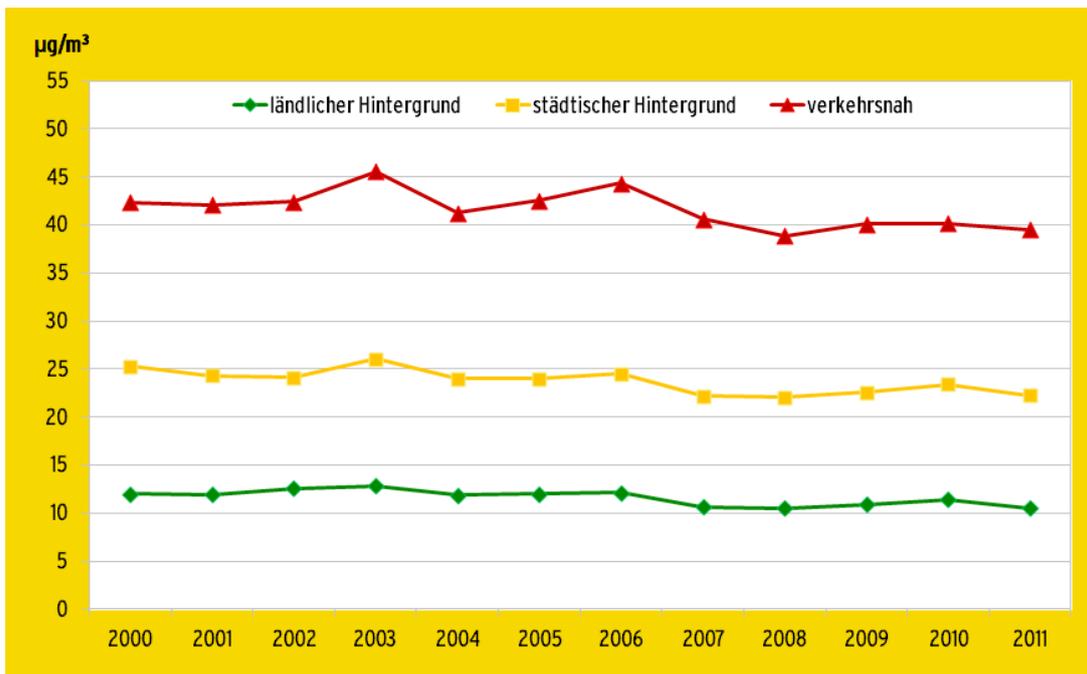


Abbildung 1: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Mittel über die Stationsklassen „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“ im Zeitraum 2000 bis 2011 (Stationen, die mindestens 9 Jahre gemessen haben, Stand der Daten: 25.05.2012)

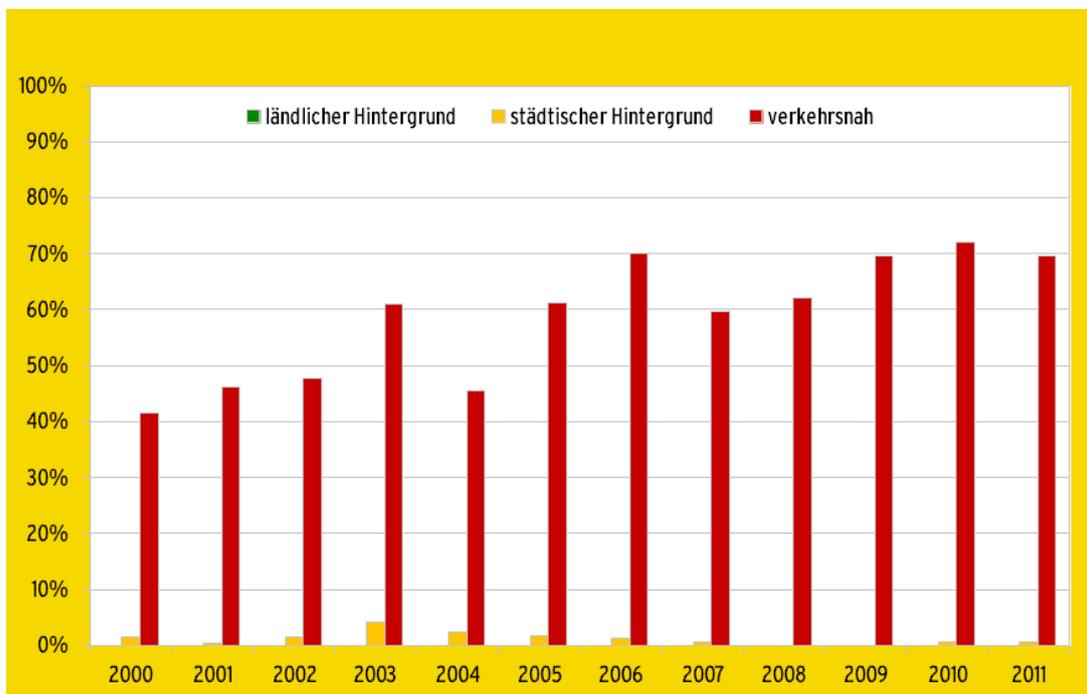


Abbildung 2: Prozentualer Anteil der Stationen in der jeweiligen Stationsklasse „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“ mit NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten über 40 µg/m³ im Zeitraum 2000 bis 2011, Stand der Daten: 25.05.2012

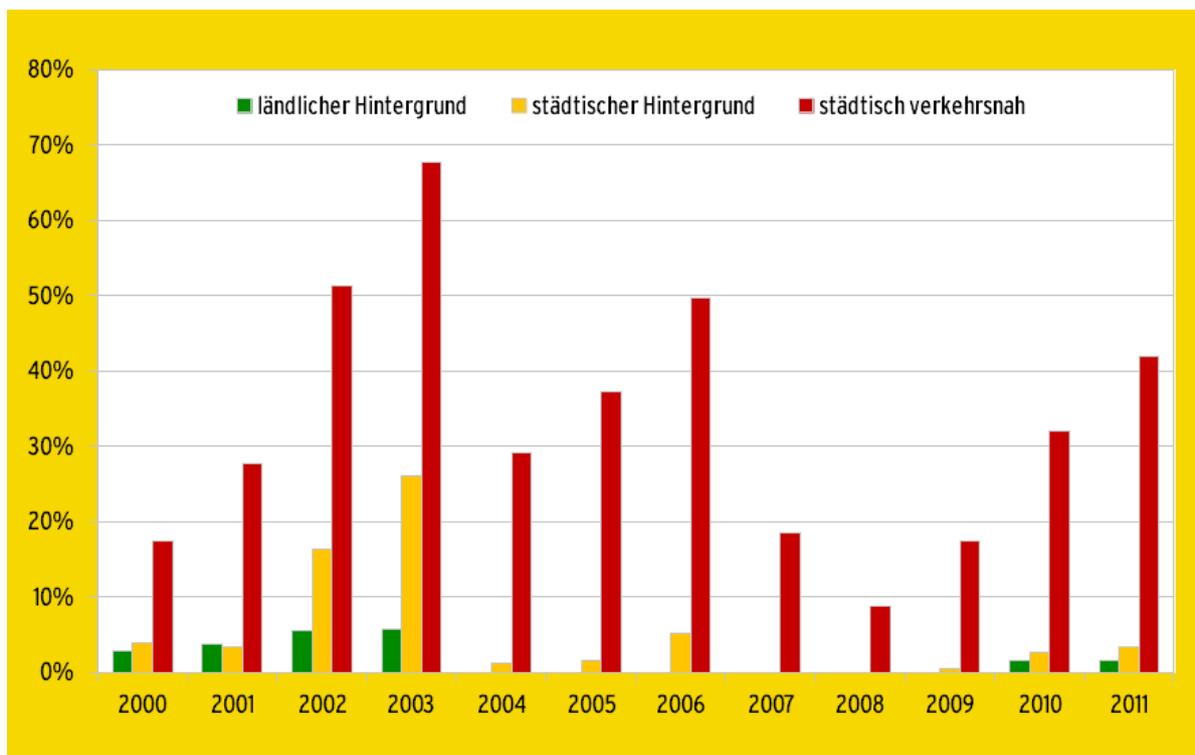


Abbildung 3: Prozentualer Anteil der Stationen in der jeweiligen Stationsklasse „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“ mit  $PM_{10}$ -Tagesmittelüberschreitungen im Zeitraum 2000 bis 2011, Stand der Daten: 04.04.2012

### b) $NO_2$ -Stundenmittelwerte

$NO_2$ -Stundenmittelwerte über  $200 \mu g/m^3$  sind seit 2010 höchstens 18mal im Jahr zulässig. Zu Überschreitungen dieses Wertes kam es im Jahr 2011 an ca. 4 Prozent aller verkehrsnahen Stationen. In den Vorjahren war die Situation ähnlich.

## III. Feinstaub ( $PM_{10}$ )

### a) $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte

An ca. 20 Prozent aller Messstationen traten in Deutschland an mehr als 35 Tagen Tagesmittelwerte über  $50 \mu g/m^3$  auf und somit Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes. Diese Messstationen sind bis auf acht industriennahe Stationen, sechs Stationen im *städtischen* und eine im *ländlichen Hintergrund* alle verkehrsnah gelegen. „Spitzenreiter“ mit der höchsten Zahl an Überschreitungstagen ist auch im Jahr 2011 die Messstation Stuttgart-Neckartor. Dass die Nichteinhaltung dieses Grenzwertes fast ausschließlich ein Problem verkehrsnaher Messstationen war und ist, wird aus Abbildung 3 ersichtlich (rote Balken).

### b) $PM_{10}$ -Episoden im Jahr 2011

Über alle Stationen hinweg, unabhängig vom Belastungsregime, traten bis Anfang April des Jahres 2011 so viele  $PM_{10}$ -Überschreitungstage<sup>1</sup> auf, wie sonst (im Mittel über die Vorjahre 2005-2010) bis zum Herbstende (s. Abbildung 4). Besonders deutlich tritt der Einfluss meteorologischer Bedingungen an Stationen im *ländlichen Hintergrund* zu Tage: Bedingt durch die Episoden

zählten dort bereits Februar und März zusammen mehr Überschreitungstage als sonst im ganzen Jahr registriert werden. Hinzu kamen außergewöhnlich viele Überschreitungstage im November.

### Definition $PM_{10}$ -Episode

Mehr als 35 Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesmittelwertes von  $50 \mu g/m^3$  werden überwiegend lokal im Einflussbereich von Emissionsquellen registriert. Betroffen hiervon sind insbesondere verkehrsnahen Messstellen in Straßenschluchten, die schlecht durchlüftet werden. Flächendeckend hohe  $PM_{10}$ -Belastungen mit Tagesmittelwerten  $> 50 \mu g/m^3$  treten in Episoden auf. Episoden sind gekennzeichnet durch schlechte meteorologische Ausbreitungsbedingungen, die in Verbindung mit Emissionen die großflächige  $PM_{10}$ -Belastung bestimmen. Um den meteorologischen Einfluss auf die Höhe und die räumliche und zeitliche Ausdehnung der  $PM_{10}$ -Belastung zu charakterisieren, wurden im Umweltbundesamt folgende Kriterien zur Definition einer  $PM_{10}$ -Episode eingeführt:

- mindestens 10% aller Stationen in Deutschland zeigen  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte über  $50 \mu g/m^3$
- wenigstens 2 aufeinander folgende Tage erfüllen das obige Kriterium
- ist ein Tag, an dem weniger als 10% der Stationen Werte  $> 50 \mu g/m^3$  aufweisen, in einer Abfolge mehrerer Tage eingeschlossen, so wird diese Abfolge von Tagen trotzdem als Episode betrachtet

<sup>1</sup> Als  $PM_{10}$ -Überschreitungstag gilt jeder Tag, an dem der  $PM_{10}$ -Tagesmittelwert oberhalb von  $50 \mu g/m^3$  liegt. Solche Überschreitungstage sind pro Messstation 35 Mal im Jahr zulässig, ab 36 Tagen kommt es zu einer Grenzwertüberschreitung.

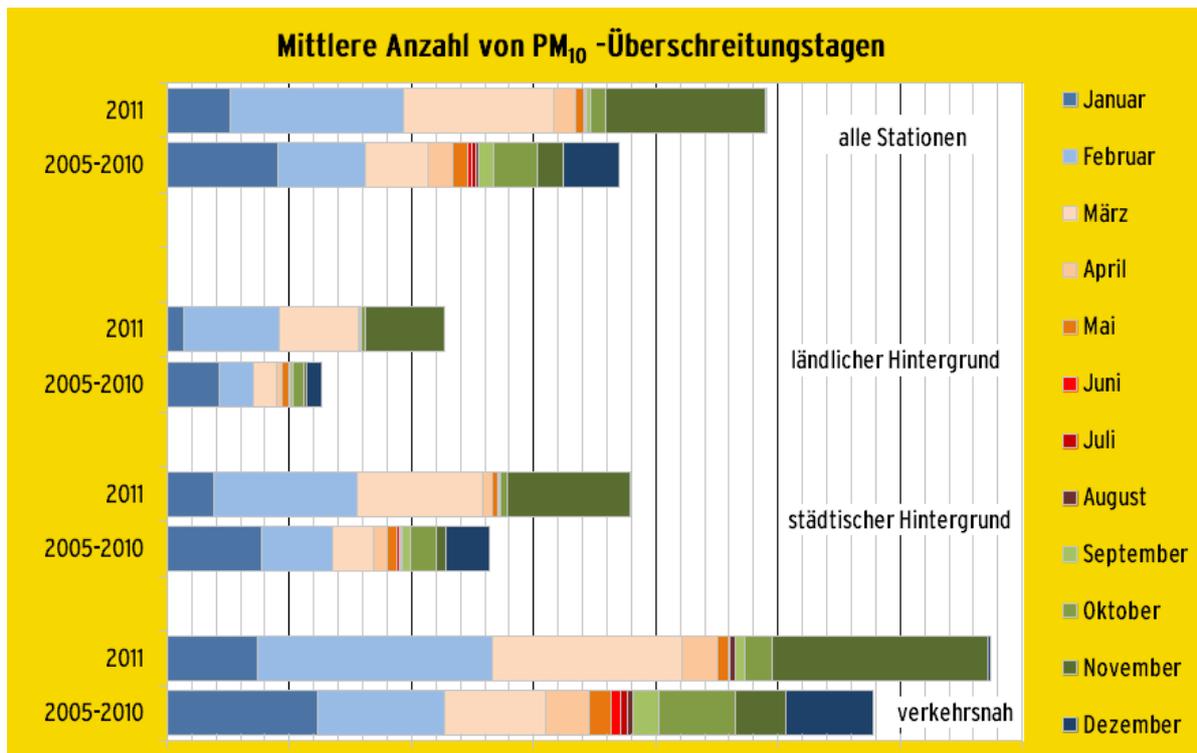


Abbildung 4: Mittlere Anzahl der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte > 50 µg/m<sup>3</sup>, Stand der Daten: 12.03.2012

#### Episoden 2005-2010

Ausgehend von dieser Festlegung der Episoden ergibt sich für die vorangegangenen sechs Jahre folgendes Bild (siehe Abbildung 5). Dabei kam es in den Frühjahren meist zu länger andauernden und räumlich ausgeprägteren Episoden als im Herbst/Winter. Besonders in den Jahren 2007 und 2008 traten vergleichsweise wenige und schwache Episoden auf. Da das Episodenkriterium großräumige Gebiete mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen fordert, sind von den besonderen meteorologischen Bedingungen während der Episode große Teile Deutschlands betroffen. Somit hängt auch der Verlauf der mittleren PM<sub>10</sub>-Belastung Deutschlands in unterschiedlichen Belastungsregimes vom Auftreten dieser Episoden ab (s. Abbildung 5, rechts).

#### Episoden 2011

Im Jahr 2011 konnten insgesamt 9 Episoden beobachtet werden, die hauptsächlich im Februar/März und im November auftraten. Dabei können zwei Besonderheiten festgestellt werden:

- das intensive und langandauernde Auftreten von Episoden im Frühjahr (vergleichbar mit dem hochbelasteten Jahr 2006)
- und
- die seltene, außergewöhnlich lange und ausgeprägte Episode im November (vgl. Abbildung 5)

#### Beschreibung der Einzelepisoden

Die Untersuchung der PM<sub>10</sub>-Belastung im *ländlichen Hintergrund* ist aus 2 Gründen unerlässlich: Zum einen sind die Episoden durch großräumige Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes gekennzeichnet, und das sogar in Gebieten, in denen die Luftqualität weitgehend unbeeinflusst von lokalen Emissionen ist. Zum anderen kann das Auftreten solcher Episoden anhand der weitestgehend unbelasteten Atmosphäre im *ländlichen Hintergrund* gut beschrieben werden.

Zu Beeinträchtigungen der Luftqualität kommt es aber vorwiegend in Ballungsräumen, also an verkehrsnahen Stationen und Stationen im *städtischen Hintergrund*, da dort zur temporär erhöhten Grundbelastung noch die Belastung durch lokale Emissionen hinzukommt (s. Abbildung 7).

Tabelle 1 zeigt auf, an wie vielen Tagen jeder einzelnen Episode wie viele Stationen im *ländlichen Hintergrund* von Tagesgrenzwertüberschreitungen betroffen waren. Dabei wird deutlich, dass besonders während Episode 1, Episode 3-5 und während der Herbstepisoden 8-9 nahezu durchgängig Überschreitungen registriert wurden, diese somit als die entscheidenden Episoden angesehen werden können.

Eine stationsspezifische Aufstellung der Überschreitungstagenanzahl an allen deutschen Stationen im *ländlichen Hintergrund* während der Episoden findet sich im ANHANG in Tabelle 2.

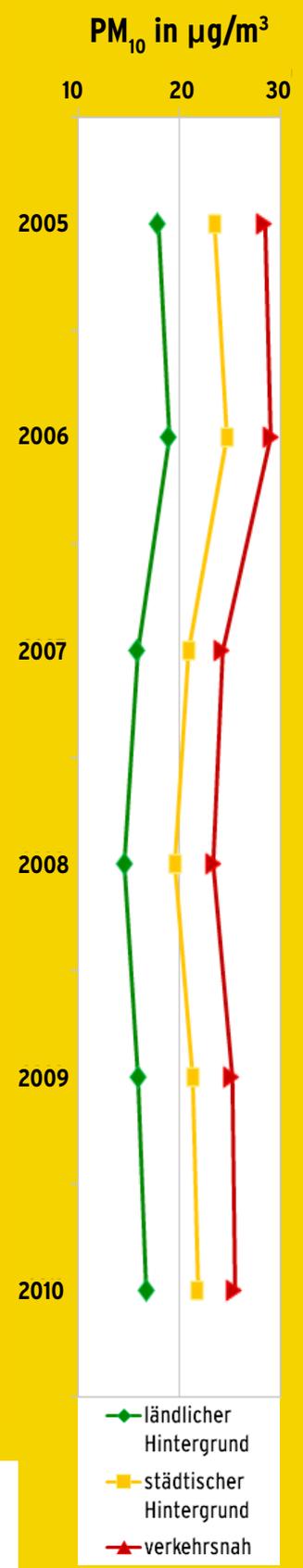
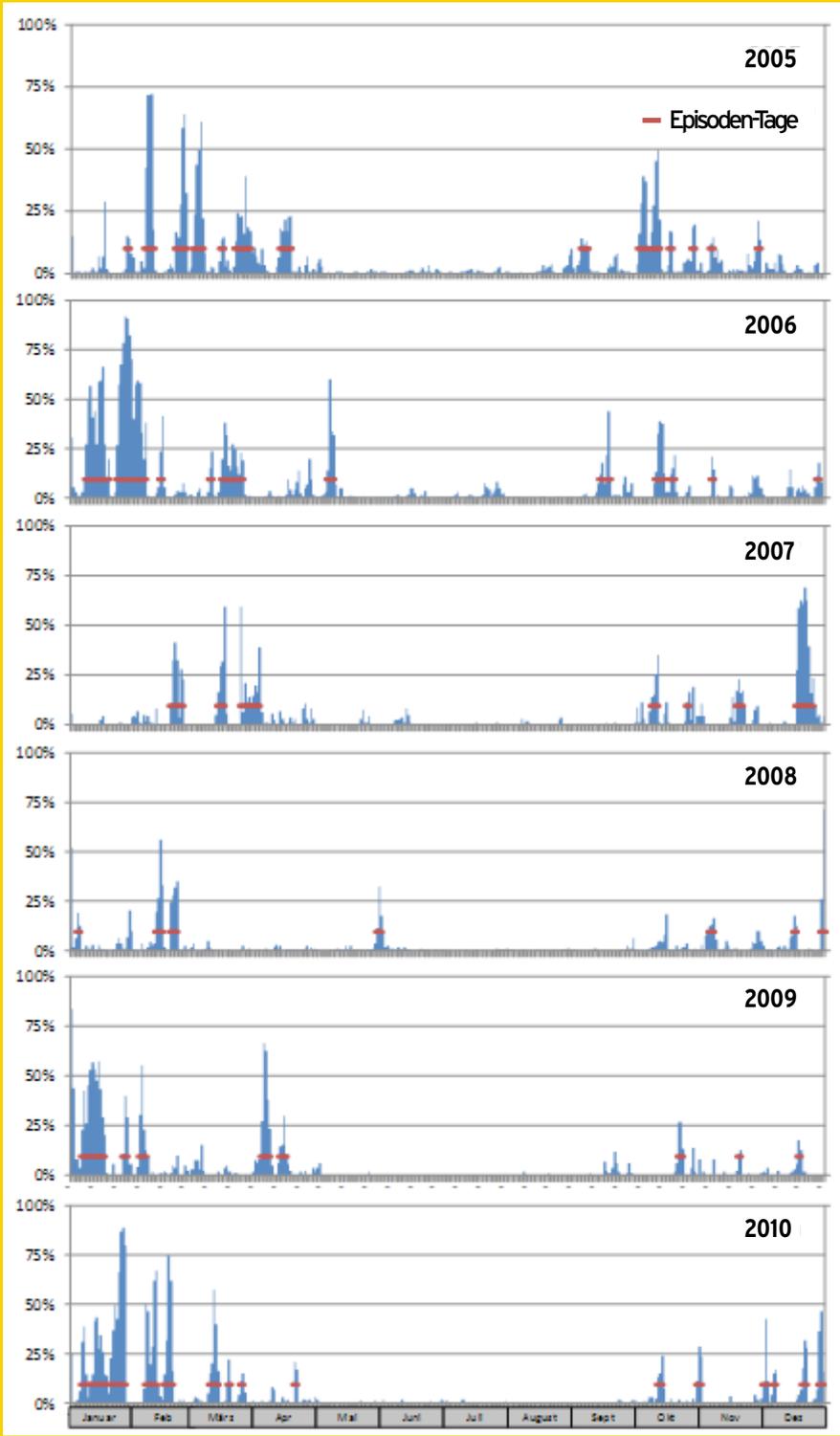


Abbildung 5: links: Anteil der Stationen mit Überschreitung des Tagesgrenzwertes 2005-2010 mit Kennzeichnung einzelner Episoden, rechts: mittlere Stationsmittel

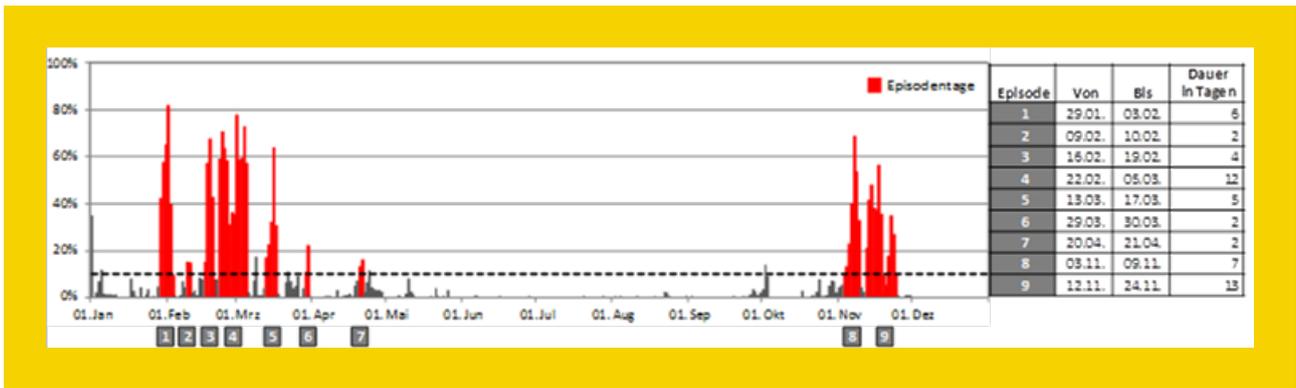


Abbildung 6: Anteil der Stationen mit Überschreitung des Tagesgrenzwertes 2011 und Zuordnung der Episoden

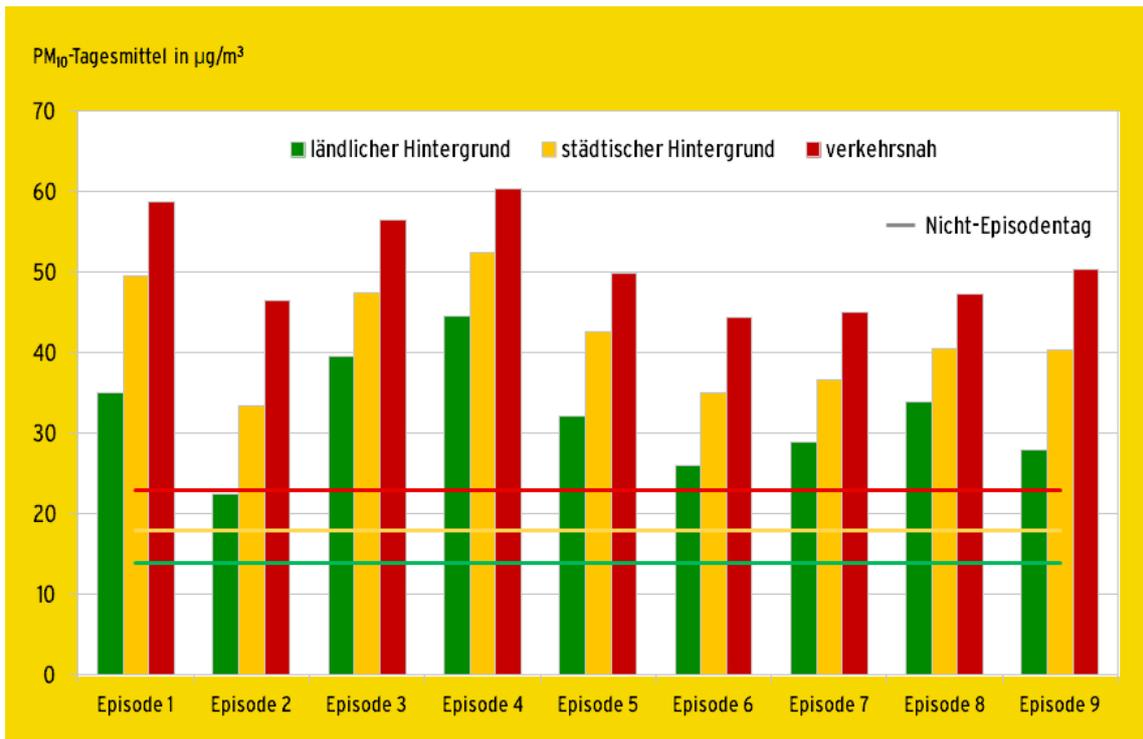


Abbildung 7: Mittlere  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte 2011 an Episoden- und Nicht-Episodentagen.

|           | Zeitraum      | Dauer in Tagen | Anzahl Tage                                      | Anzahl Stationen |
|-----------|---------------|----------------|--|------------------|
|           |               |                | mit Überschreitung(en) im ländlichen Hintergrund |                  |
| Episode 1 | 29.1.-3.2.    | 6              | 6  | 33 von 54        |
| Episode 2 | 9.2.-10.2.    | 2              | 0  | 0 von 54         |
| Episode 3 | 16.2.-19.2.   | 4              | 4  | 36 von 54        |
| Episode 4 | 22.2.-5.3.    | 12             | 12   | 48 von 54        |
| Episode 5 | 13.3.-17.3.   | 5              | 5  | 31 von 54        |
| Episode 6 | 29.3.-30.3.   | 2              | 2  | 3 von 54         |
| Episode 7 | 20.4.-21.4.   | 2              | 1  | 1 von 54         |
| Episode 8 | 3.11.-9.11.   | 7              | 7  | 27 von 54        |
| Episode 9 | 12.11.-24.11. | 13             | 11   | 29 von 54        |

Tabelle 1: Betroffenheit der Stationen im ländlichen Hintergrund, Stand der Daten: 02. März 2012.

#### Episode 1: 29. Januar - 03. Februar

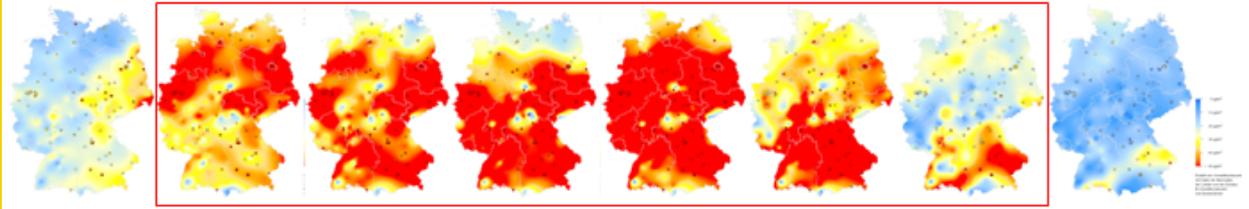


Abbildung 8:  
rot eingerahmt:  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte während Episode vom 29.01.-03.02.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An allen 6 Tagen der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 33 Stationen (61%) betroffen.

#### Episode 3: 16. Februar - 19. Februar

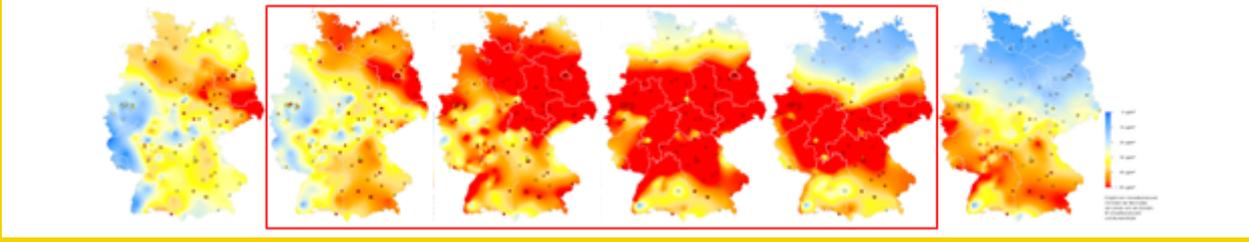


Abbildung 9:  
rot eingerahmt:  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte während Episode vom 16.02.-19.02.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An allen 4 Tagen der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 36 Stationen (66%) betroffen.

#### Episode 4: 22. Februar - 03. März

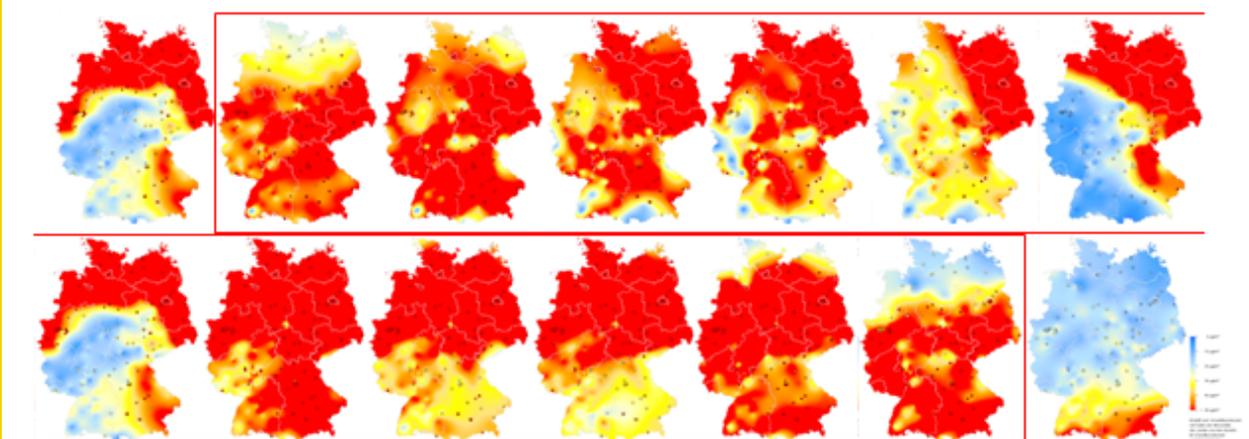


Abbildung 10:  
rot eingerahmt:  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte während Episode vom 22.02.-03.03.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An allen 12 Tagen der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 48 Stationen (88%) betroffen.

### Episode 5: 13. März - 17. März

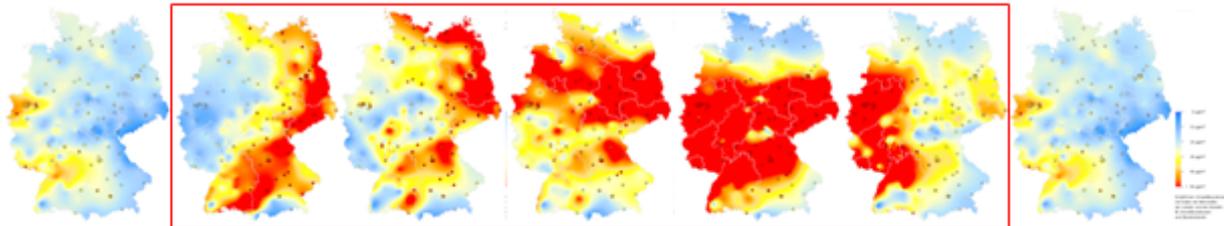


Abbildung 11:

rot eingrahmt: PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte während Episode vom 13.3.-17.03.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An allen 5 Tagen der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 31 Stationen (57%) betroffen.

### Episode 8: 03. November - 09. November

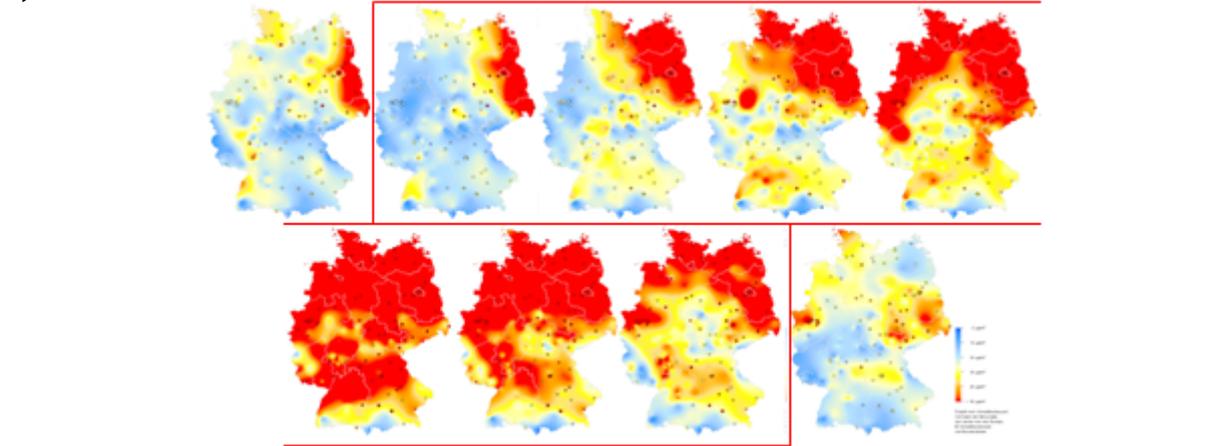


Abbildung 12:

rot eingrahmt: PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte während Episode vom 03.11.-09.11.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An allen 7 Tagen der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 27 Stationen (50%) betroffen.

### Episode 9: 12. November - 24. November

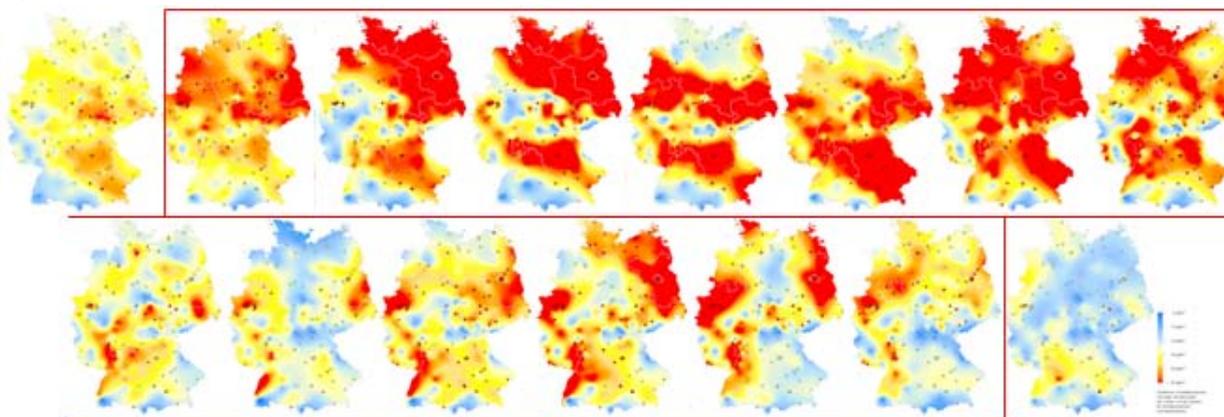


Abbildung 13:

rot eingrahmt: PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte während Episode vom 12.11.-24.11.; rote Flächen: Überschreitung des Tagesgrenzwertes

An 11 der 13 Tage der Episode kam es zu Überschreitungen im *ländlichen Hintergrund*, während der Episode waren 29 Stationen (54%) betroffen.

Die herbstlichen Episoden 8 und 9 erstreckten sich nahezu über den gesamten November (s. Abbildung 12, Abbildung 13). Der seit Monatsbeginn wetterbestimmende Hochdruckeinfluss war ursächlich für anhaltende Inversionswetterlagen. So konnten sich Schadstoffe unterschiedlichster Quellen bei schwachen Winden und einem vertikal auf wenige hundert Meter eingeschränkten Luftaustausch wie unter einer Glocke anreichern. Die Episode hoher Feinstaubwerte Anfang November begann in den östlichen Teilen Brandenburgs, Sachsens und Mecklenburg-Vorpommerns (s. Abbildung 12): Neben der Anreicherung lokaler Emissionen weist dies auf Schadstofftransporte aus den Nachbarländern Deutschlands hin, was jedoch noch zu verifizieren wäre.

### Meteorologische Einflussfaktoren

Grundlage für (erhöhte) Feinstaubkonzentrationen in der Luft sind Emissionen. Dazu zählen zum einen direkte  $PM_{10}$ -Emissionen, die vor allem aus Verkehr und Verbrennungsprozessen in Industrie und Haushalten stammen. Aber auch biogene Emissionen und Emissionen von Vorläuferstoffen (z.B.  $NO_x$ , NMVOC,  $NH_3$ ), aus denen sich erst in der Atmosphäre  $PM_{10}$  bildet, spielen eine wichtige Rolle.

Der Verlauf der Witterung „moduliert“ die Konzentrationen. Als direkte Einflussfaktoren gilt dabei die Anströmungsrichtung, die u. U. zu grenzüberschreitendem Transport von Schadstoffen führt. Des Weiteren wichtig ist die vertikale Schichtung der Atmosphäre, die durch den vertikal zur Verfügung stehenden Raum und die vorherrschende Turbulenz über die Durchmischung bzw. Anreicherung von Schadstoffen entscheidet. Darüber hinaus sind Windgeschwindigkeiten und Niederschlagsprozesse von Bedeutung. Indirekt kann die Meteorologie auch die Emissionen beeinflussen: So wird in Kälteperioden durch verstärktes Heizen mehr Feinstaub freigesetzt. Im konkreten Einzelfall ist der Einfluss der Meteorologie nicht ohne weiteres zu quantifizieren, da er sich nahezu immer aus einer Kombination der genannten Einflussfaktoren ergibt.

### Strömungsrichtung

Eine Untersuchung der Anströmungsrichtungen liegt für das Jahr 2011 nicht vor. Eine Bewertung, welchen Einfluss die Anströmung auf die Höhe der mittleren  $PM_{10}$ -Konzentrationen der Jahre 2005-2009 haben kann, wird in dem Bericht Charakterisierung und Quantifizierung der räumlichen  $PM_{10}$ -Herkunft erläutert.

### Vertikale Schichtung der Atmosphäre

Die vertikale Schichtung der Atmosphäre in der Nähe der Erdoberfläche bestimmt die Mischungsschichthöhe, die als die Höhe gilt, in der eine potentielle Sperrschicht für die Ausbreitung von Luftschadstoffen existiert. Sie charakterisiert den Übergang von turbulenter zu laminarer Strömung. In der Mischungsschicht bewirken Wirbel, die thermisch durch Konvektion und mechanisch durch Windströmungen und deren Reibung am Boden entstehen, eine Vermischung von emittierten Stoffen. Im Normalfall wird durch die einsetzende Strahlung am Morgen die niedrigere nächtliche Mischungsschichthöhe

wieder angehoben, eine eventuell nächtlich entstandene Inversion (Temperaturzunahme mit der Höhe) wieder aufgelöst: eine Erhöhung der Mischungsschicht mit Turbulenz und Vermischung der bodennahen Luftschichten setzen ein. Im Extremfall wird bei herbstlichen und winterlichen Hochdruckwetterlagen durch eine fehlende Wolkendecke die nächtliche Auskühlung und die entstehende Inversion so begünstigt, dass diese sich mit Beginn des neuen Tages nur verzögert oder gar nicht auflösen kann. Die kalte schwere Luft liegt dann (tagelang) in einer dünnen Schicht unter der warmen leichten (Inversionswetterlage). Bildet sich zudem Nebel, wird die Energiezufuhr der untersten Luftschichten und damit die Auflösung der Inversion zusätzlich behindert. Bei diesem atmosphärisch stabilen Zustand können sich Schadstoffe dann über mehrere Tage hinweg in der bodennahen Luftschicht anreichern.

Eine Methode zur Bestimmung der Mischungsschichthöhe, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, ist die Bulk-Richardson-Zahl-Methode. Die so bestimmte Mischungsschichthöhe ist eine aus der Theorie der bodennahen Grenzschicht abgeleitete Rechengröße. Sie wird mit Hilfe von Messwerten der Lufttemperatur und der Windgeschwindigkeit, die von Radiosonden übermittelt werden, berechnet.<sup>2</sup>

Die für die weitere Auswertung genutzten Daten der atmosphärischen Parameter stammen von Radiosondaufstiegen der hier abgebildeten Stationen in Deutschland (s. Abbildung 14).

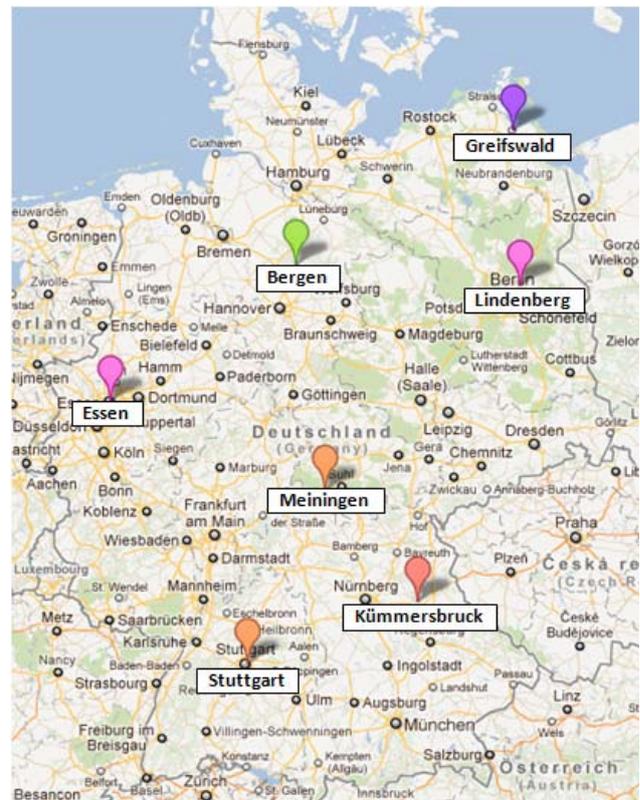


Abbildung 14: Bei der Untersuchung berücksichtigte Radiosondenstationen in Deutschland (Quelle: URL: <http://maps.google.de/> (15.12.2011))

<sup>2</sup> Radiosonden befinden sich an Wetterballons, die mit meteorologischen Messgeräten ausgerüstet sind und Informationen über den Zustand der Atmosphäre vom Boden bis teilweise aus der Stratosphäre senden. Aus den Radiosonden-Profilen wurden für jede Höhe die Bulk-Richardson-Zahl und die Stabilität aus dem vertikalen Gradienten der virtuellen potentiellen Temperatur bestimmt. Anschließend wurde die Höhe, für welche die kritische Richardson-Zahl das erste Mal überschritten wurde, als Mischungsschichthöhe extrahiert.

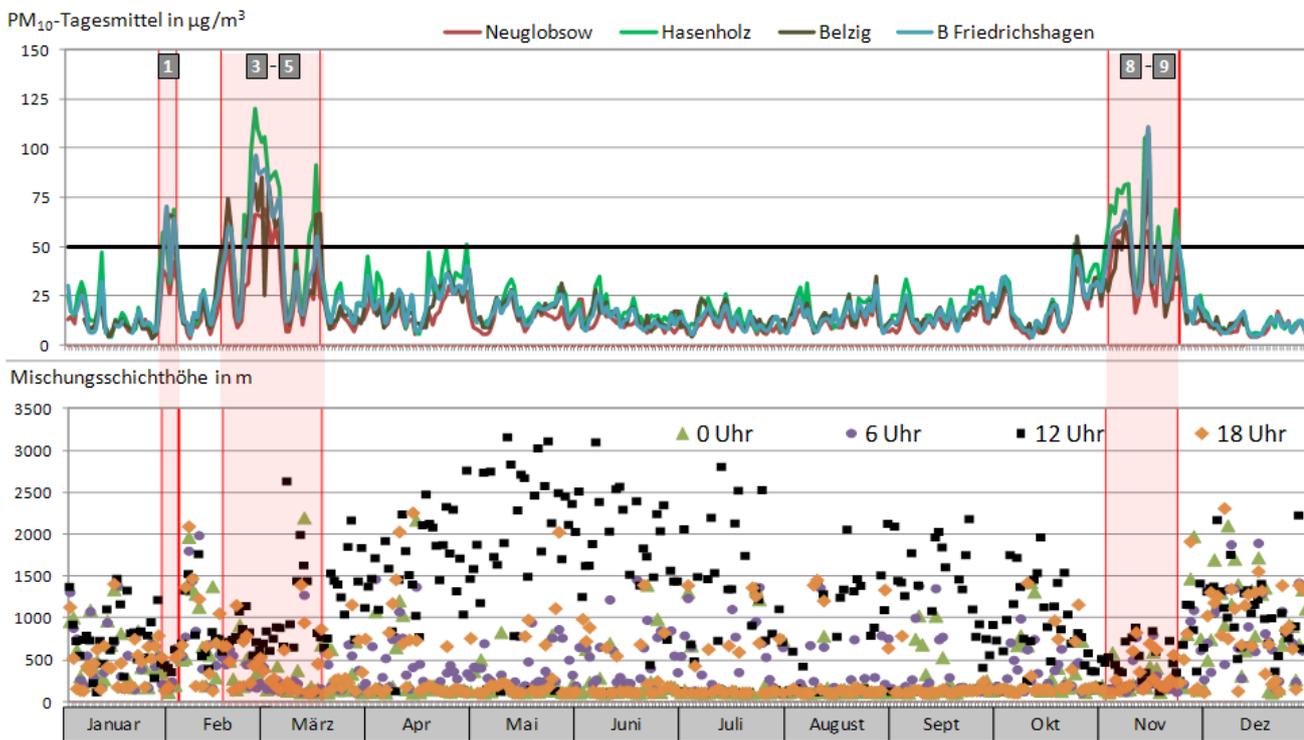


Abbildung 15:  $PM_{10}$ -Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation Lindenberg (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Lindenberg (Mitte) und Lage der  $PM_{10}$ -Messstationen und der Radiosondenstation (A) (unten), Quelle: URL: <http://maps.google.de>

ist, desto weniger Raum steht den am Boden emittierten Schadstoffen zur Ausbreitung zur Verfügung. Auch die mittleren Windgeschwindigkeiten an der Radiosondenstation Lindenberg waren zu Zeiten der Episoden mit 3 m/s niedriger als an Nicht-Episodentagen (6.6 m/s) (s. Tabelle 3 im ANHANG).

Analoge Abbildungen zum Feinstaubverlauf in der Nähe der anderen Radiosondenstationen finden sich im Anhang (Abbildung 19 - Abbildung 24). Damit wird deutlich, dass die Ausprägung der Episoden, d.h. Länge und Intensivität innerhalb Deutschlands variiert. So kann der Einbruch der Mischungsschichthöhe nicht überall gleichermaßen beobachtet werden, zur Zeit der Novemberepisoden ist z.B. in der Thüringer Region weder eine dauerhaft niedrige Mischungsschichthöhe noch ein signifikanter Anstieg der  $PM_{10}$ -Konzentrationen zu verzeichnen gewesen (s. Abbildung 21).

Des Weiteren wird der Einfluss der Mischungsschichthöhe auf die Feinstaubkonzentrationen z.B. bei den hochgelegenen Bergstationen in der Region Baden-Württemberg deutlich (s. Abbildung 16): Während im Sommerhalbjahr die hochgelegenen Stationen Schauinsland und Schwarzwald Süd (> 900 m ü. NN) und die niedriggelegene Station Eggenstein (110 m ü. NN) nahezu identische Verläufe der  $PM_{10}$ -Konzentration aufweisen, unterscheiden sich diese während der Episoden teilweise erheblich: Je höher eine Station liegt, desto niedriger sind die Konzentrationen (Frühjahresepisoden). Liegt die Mischungsschichthöhe innerhalb der sich die belastete Luft befindet, unterhalb der Station, werden dort gar keine erhöhten Werte gemessen. Dieser Effekt wird besonders bei den Novemberepisoden sichtbar, die am Boden zu hochbelasteter Luft führten, in der Höhe aber keine erhöhten  $PM_{10}$ -Konzentrationen mit sich brachten.

Abbildung 15 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen atmosphärischer Schichtung und Höhe der Schadstoffkonzentration: Je niedriger die Mischungsschichthöhe ist (mittlere Abbildung), desto höher sind die  $PM_{10}$ -Konzentrationen an ländlichen Hintergrundstationen (obere Abbildung), da den am Boden emittierten Schadstoffen weniger Raum zur Ausbreitung zur Verfügung steht. Besonders die beiden Episoden im November stechen durch über zwanzig Tage anhaltend niedrige Mischungsschichthöhen mit entsprechend hohen  $PM_{10}$ -Konzentrationen hervor.

Die hier dargestellte Mischungsschichthöhe der Atmosphäre über Lindenberg kann für Brandenburg als repräsentativ angesehen werden. Je niedriger diese Höhe

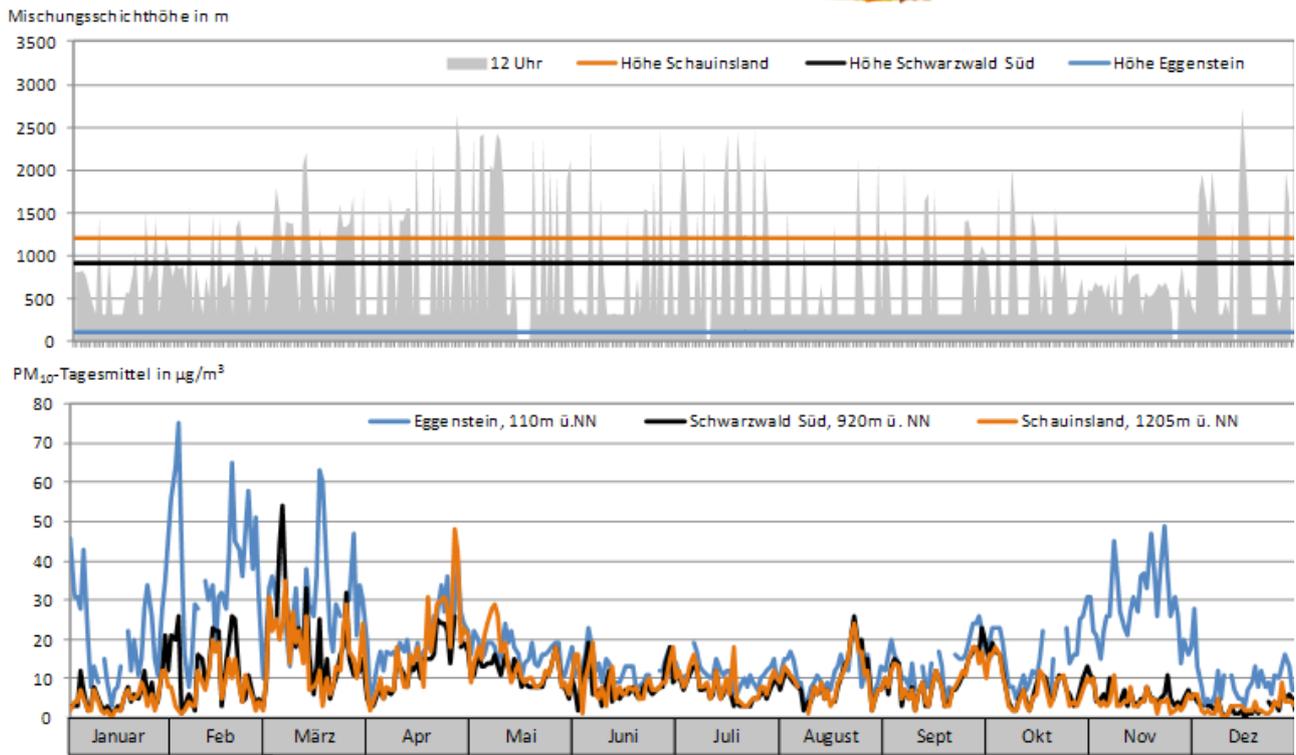
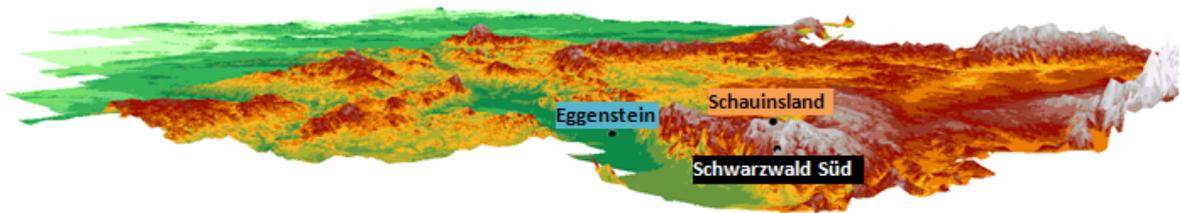


Abbildung 16: Lage der  $PM_{10}$ -Messstationen aus SW blickend (oben), Mischungsschichthöhen über Stuttgart und Stationshöhen (Mitte),  $PM_{10}$ -Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation Stuttgart (unten), Stand der Daten: 02. März 2012

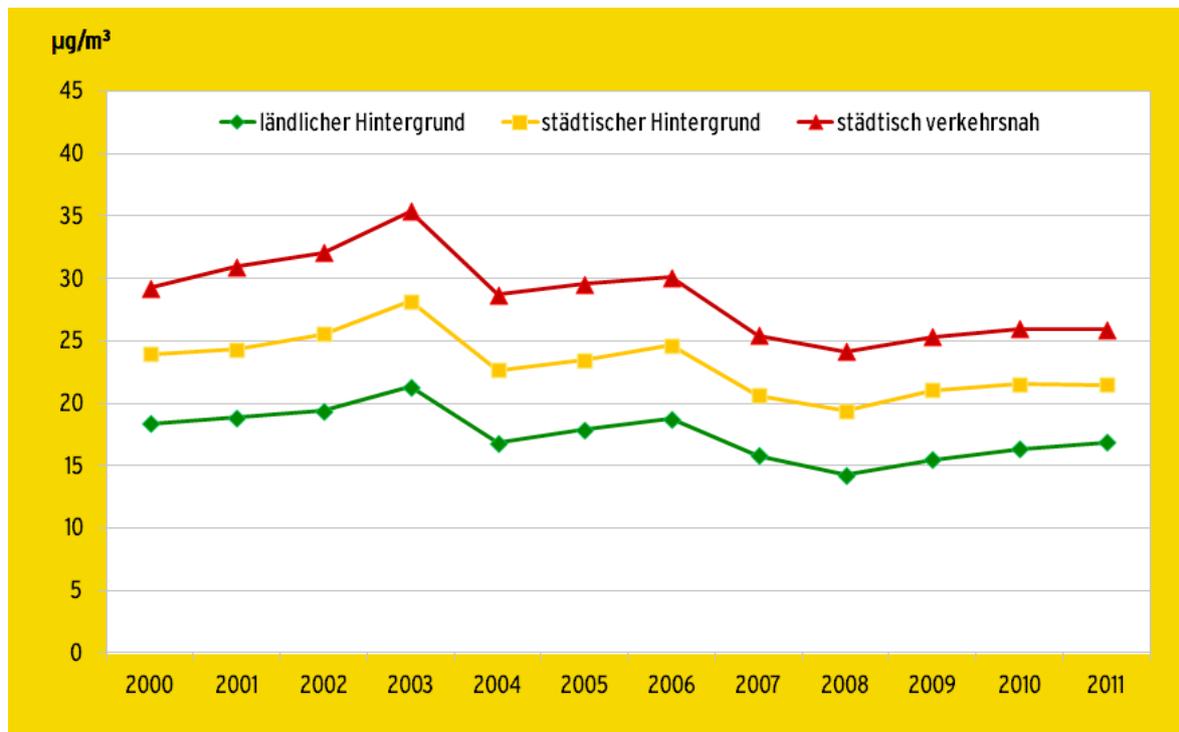


Abbildung 17: Entwicklung der  $PM_{10}$ -Jahresmittelwerte im Mittel über die Stationsklassen „ländlicher Hintergrund“, „städtischer Hintergrund“ und „städtisch verkehrsnah“ im Zeitraum 2000 bis 2011 (Stationen, die mindestens 9 Jahre gemessen haben, Stand der Daten: 12.03.2012)

## Witterungsverlauf 2011

Das Zusammenspiel von kalten, stabilen Hochdruckwetterlagen und flächendeckend erhöhten  $PM_{10}$ -Konzentrationen kann mit dem Witterungsverlauf 2011 nachvollzogen werden, den der Deutsche Wetterdienst etwa wie folgt charakterisierte<sup>3</sup>: Der Januar fiel deutlich zu warm aus und brachte mit Tiefausläufern und einer Südwestströmung mildes Tauwetter. Ab Ende Januar setzte Hochdruckwetter ein, das Kaltluft aus Osteuropa brachte (Episode 1/2), unterbrochen von einer milden Südwestströmung, breitete sich ab 20. Februar ein skandinavisches Kältehoch über ganz Deutschland aus (Episode 3/4). Im März dominierten in Deutschland viele Hochdruckgebiete: ungewöhnlich sonnenreich, trocken und warm mit sehr kalten Nächten (Episode 5/6). Im April setzten 5 weitere Hochdruckgebiete die im März begonnene Serie mit viel Sonnenschein und Trockenheit über Mitteleuropa fort (Episode 7). Mit dem Frühling erlebte Deutschland den zweittrockensten Frühling seit Beginn der Messungen vor 130 Jahren, auf den ein unbeständiger Sommer folgte, der von Tiefdruckgebieten bestimmt war. Schönwetterperioden blieben selten und beschränkten sich meist nur auf wenige Tage. Bundesweit gesehen fiel der Sommer 2011 zu trüb und deutlich zu nass aus. Der Herbst war wieder äußerst trocken, im November herrschten anhaltend hoher Luftdruck und zunehmend Lagen mit Nebel oder Hochnebel (Episode 8/9). Noch nie seit Beginn der Wetteraufzeichnungen wurde deutschlandweit derart wenig Niederschlag registriert wie im November 2011.

### c) $PM_{10}$ -Jahresmittelwerte

Eine Überschreitung des  $PM_{10}$ -Grenzwertes von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  trat ausschließlich an der verkehrsbelasteten Messstation Gelsenkirchen Kurt-Schumacher-Straße auf. Insgesamt wurde der Grenzwert damit an weniger als einem Prozent der Stationen nicht eingehalten. Die im Vergleich zum Vorjahr leichte Erhöhung der Jahresmittelwerte (Abbildung 17) ist auf die extremen Wetterlagen im

Frühjahr und Herbst zurückzuführen.

Einhergehend mit großräumigen Minderungen der  $PM_{10}$ -Emissionen weisen die  $PM_{10}$ -Jahresmittelwerte in allen Belastungsregimes über den gesamten Beobachtungszeitraum 2000 bis 2011 eine leichte Abnahme auf. Der Verlauf ist aber durch starke zwischenjährliche Schwankungen - vor allem verursacht durch die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse - geprägt.

## IV. Ozon ( $O_3$ )

Im Jahr 2011 gab es aufgrund der feuchten, wechselhaften Witterung im Sommer keine Episoden höherer Ozonbelastung. Überschreitungen der Informationsschwelle von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  traten an nur 9 Tagen, während insgesamt 35 Stunden auf. Im Unterschied zum letzten Jahr wurde die Alarmschwelle (Stundenwerte über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nicht überschritten. Das Jahr 2011 ist damit eines der am wenigsten mit Ozon belasteten Jahre in den letzten beiden Jahrzehnten.

Die Bewertung hinsichtlich des Ozon-Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit (die Zahl der Kalendertage mit 8-Stunden-Mittelwerten über  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  über einen Mittelungszeitraum von drei Jahren darf den Wert 25 nicht überschreiten) zeigt: Auch im letzten Mittelungszeitraum, welcher die wenig mit Ozon belasteten Jahre 2009, 2010 und 2011 abbildet, überschreiten noch 11 Prozent der Stationen den Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (Abbildung 18).

Im Vergleich zu den letzten 15 Jahren entsprach die Belastung der Luft mit Ozon im Sommer 2011 in etwa dem Durchschnitt über das letzte Jahrzehnt, in dem es - abgesehen vom hoch belasteten Jahr 2003 - keine ausgeprägten Episoden wie noch in der ersten Hälfte der 1990er-Jahre gab.

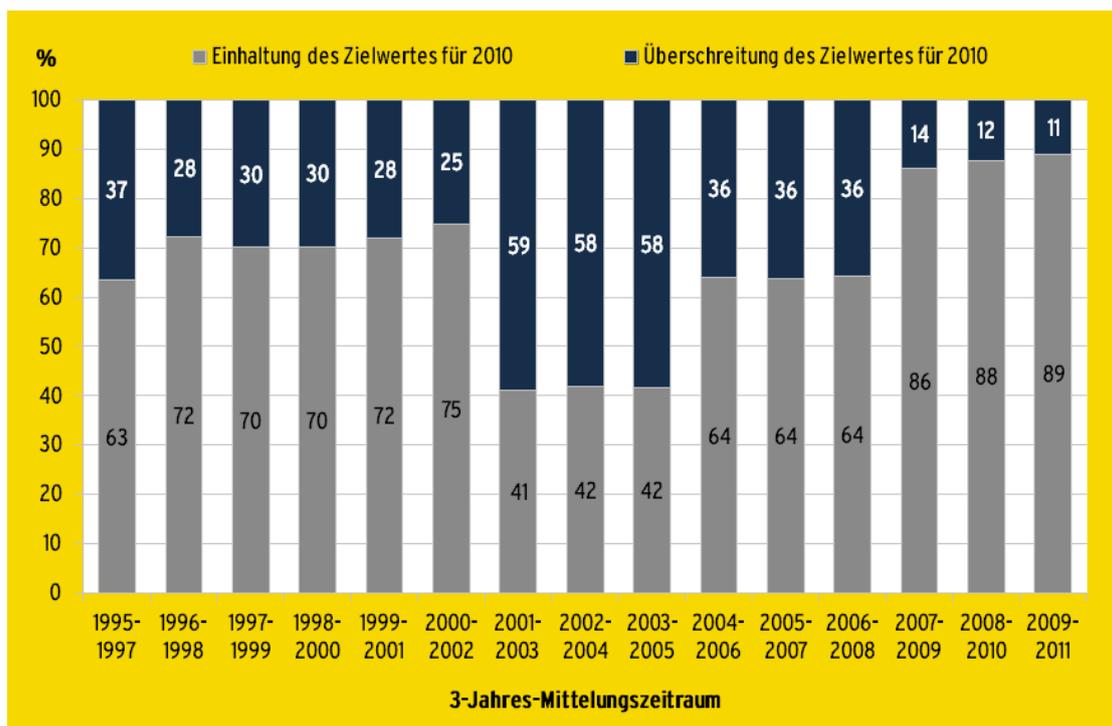


Abbildung 18: Prozentualer Anteil der Ozonmessstationen mit Überschreitung bzw. Einhaltung des Zielwertes seit 1995 (jeweils 1-jährig gleitendes Mittel über 3 Jahre).

<sup>3</sup> Quelle: URL: <http://www.dwd.de>, Archiv Pressemitteilungen 2011

## Weitere Informationen zum Thema:

[Portal Luft und Luftreinhaltung](#)  
[UBA-Kartendienst zu Luftschadstoffen](#)  
[Entwicklung der Luftqualität in Deutschland](#)  
[Aktuelle Luftqualitätsdaten](#)  
[Information zum Schadstoff PM<sub>10</sub>](#)  
[Information zum Schadstoff NO<sub>2</sub>](#)  
[Information zum Schadstoff Ozon](#)  
[Linkliste Luftreinhalte- und Aktionspläne](#)

## Anhang

Tabelle 2: Zahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im ländlichen Hintergrund 2011, Stand der Daten: 02. März 2012

| Stationscode | Stationsname               | Stationstyp | Gebietstyp       | Anzahl PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage 2011 | davon innerhalb Episoden |
|--------------|----------------------------|-------------|------------------|---|--------------------------|
| DEBB053      | Hasenholz                  | Hintergrund | ländlichregional | 37  | 89%                      |
| DEBB065      | Lütte (Belzig)             | Hintergrund | ländlichregional | 22  | 95%                      |
| DEBB075      | Potsdam, Groß Glienicke    | Hintergrund | ländlichstadtnah | 22  | 100%                     |
| DEBE032      | B Grunewald (3.5 m)        | Hintergrund | ländlichstadtnah | 25  | 100%                     |
| DEBE056      | B Friedrichshagen          | Hintergrund | ländlichstadtnah | 27  | 100%                     |
| DEBW004      | Eggenstein                 | Hintergrund | ländlichstadtnah | 8   | 100%                     |
| DEBW031      | Schwarzwald Süd            | Hintergrund | ländlichregional | 1   | 100%                     |
| DEBY013      | Mehring/Sportplatz         | Hintergrund | ländlichregional | 20  | 80%                      |
| DEBY047      | Naila/Selbitzer Berg       | Hintergrund | ländlichstadtnah | 12  | 100%                     |
| DEBY049      | Neustadta.d.Donau/Eining   | Hintergrund | ländlichregional | 9   | 100%                     |
| DEBY072      | Tiefenbach/Altenschneeberg | Hintergrund | ländlichregional | 2   | 100%                     |
| DEBY109      | Andechs/Rothenfeld         | Hintergrund | ländlichregional | 4   | 100%                     |
| DEHE024      | Witzenhausen/Wald          | Hintergrund | ländlichesGebiet | 4   | 100%                     |
| DEHE028      | Fürth/Odenwald             | Hintergrund | ländlichesGebiet | 3   | 100%                     |
| DEHE043      | Riedstadt                  | Hintergrund | ländlichstadtnah | 12  | 92%                      |
| DEHE046      | Bad Arolsen                | Hintergrund | ländlichesGebiet | 10  | 100%                     |
| DEHE051      | Wasserkuppe                | Hintergrund | ländlichesGebiet | 1   | 100%                     |
| DEHE060      | Kellerwald                 | Hintergrund | ländlichregional | 8   | 100%                     |
| DEMV004      | Gülzow                     | Hintergrund | ländlichesGebiet | 16  | 100%                     |
| DEMV012      | Löcknitz                   | Hintergrund | ländlichesGebiet | 25  | 96%                      |
| DEMV017      | Göhlen                     | Hintergrund | ländlichesGebiet | 15  | 100%                     |
| DEMV024      | Leizen                     | Hintergrund | ländlichesGebiet | 15  | 100%                     |
| DENI031      | Jadebusen                  | Hintergrund | ländlichesGebiet | 15  | 100%                     |
| DENI058      | Ostfries. Inseln           | Hintergrund | ländlichesGebiet | 12  | 100%                     |
| DENI059      | Elbmündung                 | Hintergrund | ländlichesGebiet | 18  | 89%                      |
| DENI060      | Wendland                   | Hintergrund | ländlichesGebiet | 19  | 100%                     |

|         |                           |             |                   |    |      |
|---------|---------------------------|-------------|-------------------|----|------|
| DENI063 | Altes Land                | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 17 | 100% |
| DENI077 | Solling-Süd               | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 8  | 100% |
| DENW065 | Netphen(Rothaargebirge)   | Hintergrund | ländlichregional  | 3  | 67%  |
| DENW066 | Nettetal-Kaldenkirchen    | Hintergrund | ländlichstadtnah  | 31 | 84%  |
| DENW068 | Soest-Ost                 | Hintergrund | ländlichstadtnah  | 15 | 93%  |
| DERP013 | Westpfalz-Waldmohr        | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 4  | 100% |
| DERP014 | Hunsrück-Leisel           | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 1  | 100% |
| DERP015 | Westeifel Wascheid        | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 1  | 100% |
| DERP016 | Westerwald-Herdorf        | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 3  | 100% |
| DESH008 | Bornhöved                 | Hintergrund | ländlichregional  | 16 | 94%  |
| DESL019 | Biringen                  | Hintergrund | ländlichregional  | 4  | 75%  |
| DESN051 | Radebeul-Wahnsdorf        | Hintergrund | ländlichstadtnah  | 26 | 100% |
| DESN074 | Schwartenberg             | Hintergrund | ländlichregional  | 7  | 100% |
| DESN076 | Collmberg                 | Hintergrund | ländlichabgelegen | 19 | 100% |
| DESN079 | Niesky                    | Hintergrund | ländlichregional  | 24 | 96%  |
| DESN093 | Brockau                   | Hintergrund | ländlichregional  | 13 | 100% |
| DEST089 | Zartau/Waldstation        | Hintergrund | ländlichregional  | 18 | 100% |
| DEST098 | Unterharz/Friedrichsbrunn | Hintergrund | ländlichregional  | 7  | 100% |
| DEST104 | Domäne Bobbe              | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 26 | 100% |
| DETH026 | Dreißigacker              | Hintergrund | ländlichregional  | 7  | 100% |
| DETH027 | Neuhaus                   | Hintergrund | ländlichabgelegen | 2  | 100% |
| DETH042 | Possen                    | Hintergrund | ländlichabgelegen | 8  | 100% |
| DETH061 | Hummelshain               | Hintergrund | ländlichabgelegen | 12 | 92%  |
| DEUB001 | Westerland                | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 15 | 80%  |
| DEUB005 | Waldhof                   | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 15 | 100% |
| DEUB028 | Zingst                    | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 16 | 100% |
| DEUB029 | Schmücke                  | Hintergrund | ländlichesGebiet  | 2  | 100% |
| DEUB030 | Neuglobsow                | Hintergrund | ländlichregional  | 15 | 100% |

**Tabelle 3: Mittlere Windgeschwindigkeiten 2011 am Boden der Standorte der Radiosondenstationen**

| Mittelwert in m/s                 | Lindenberg | Essen | Stuttgart | Kümmersbruck | Greifswald | Bergen | Meiningen |
|-----------------------------------|------------|-------|-----------|--------------|------------|--------|-----------|
| Episodentag                       | 3.1        | 3.0   | 2.3       | 1.7          | 3.7        | 1.7    | 2.5       |
| Nicht-Episodentag<br>Jan-Apr, Nov | 6.6        | 3.7   | 3.1       | 2.6          | 4.9        | 2.3    | 3.5       |
| Jahr                              | 4.4        | 3.4   | 2.8       | 2.2          | 4.0        | 2.0    | 3.0       |

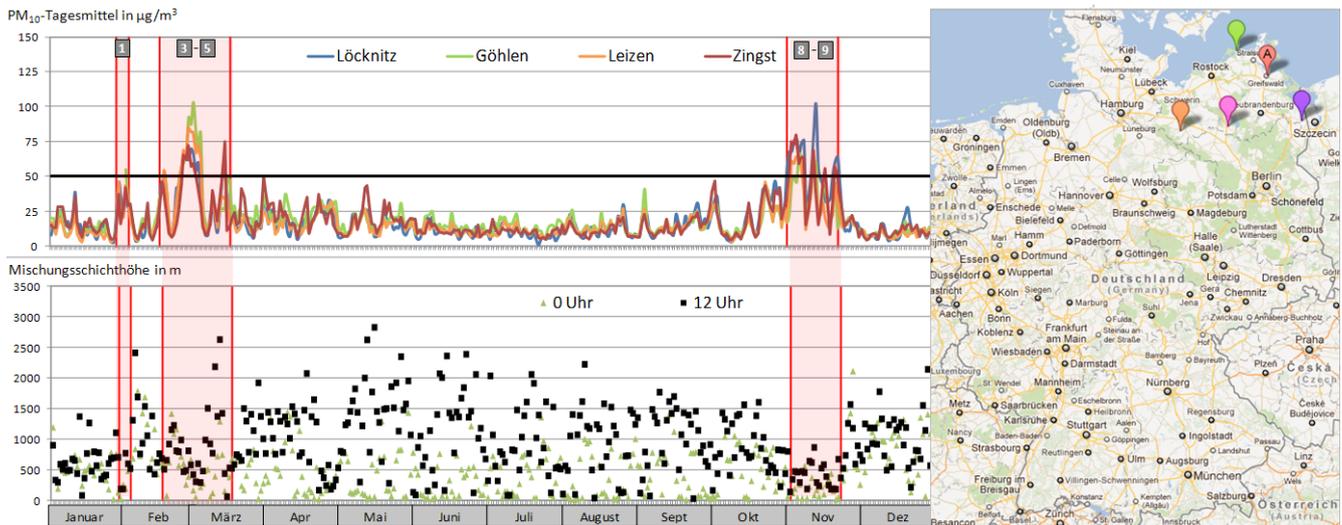


Abbildung 19:  $PM_{10}$ -Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Greifswald** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Greifswald (unten) und Lage der  $PM_{10}$ -Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)

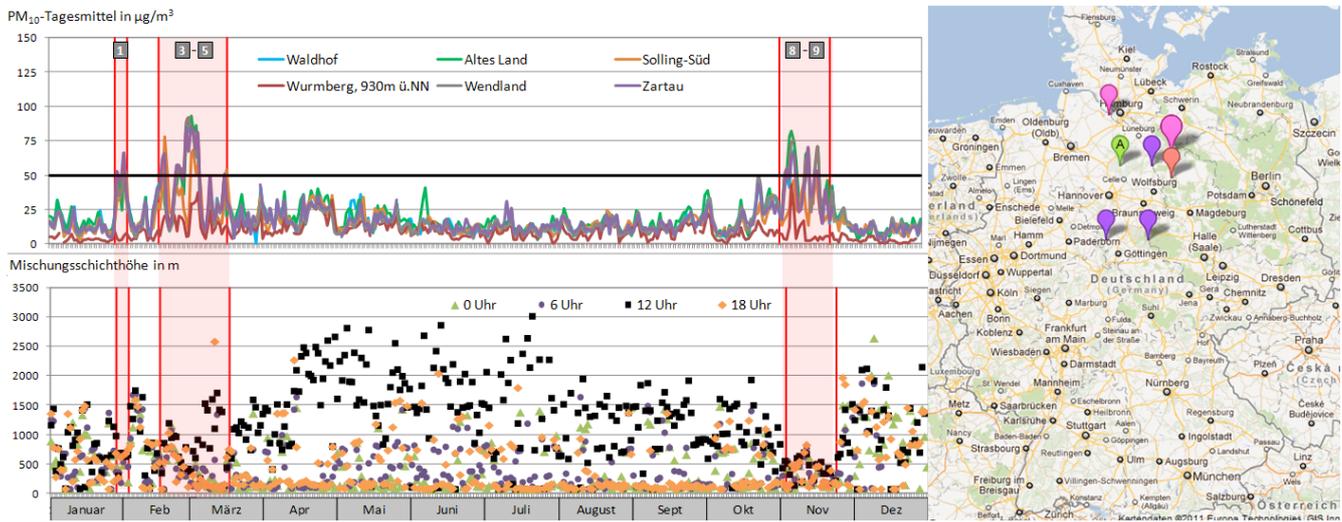


Abbildung 20:  $PM_{10}$ -Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Bergen** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Bergen (unten) und Lage der  $PM_{10}$ -Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)

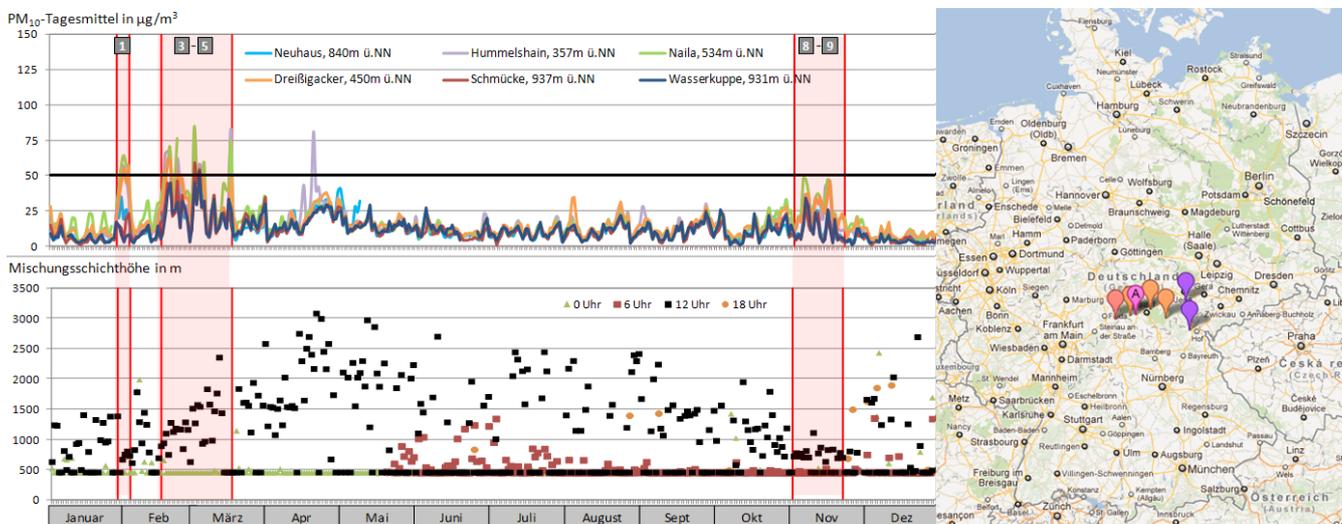


Abbildung 21:  $PM_{10}$ -Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Meiningen** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Meiningen (unten) und Lage der  $PM_{10}$ -Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)

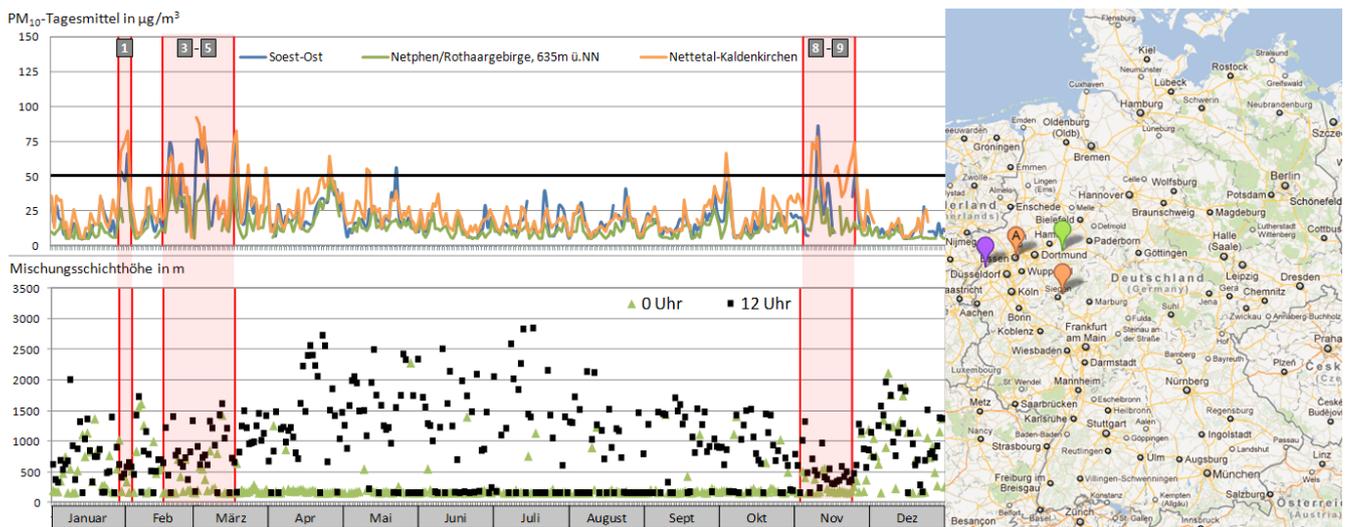


Abbildung 22: PM<sub>10</sub>-Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Essen** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Essen (unten) und Lage der PM<sub>10</sub>-Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)

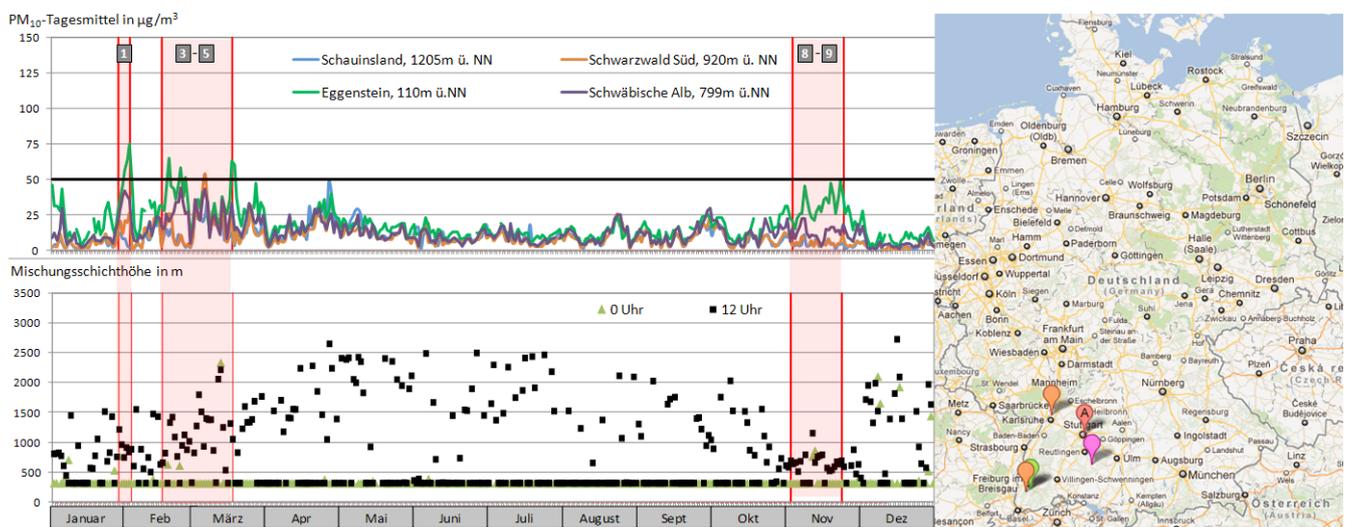


Abbildung 23: PM<sub>10</sub>-Verlauf im ländlichen Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Stuttgart** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Stuttgart (unten) und Lage der PM<sub>10</sub>-Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)

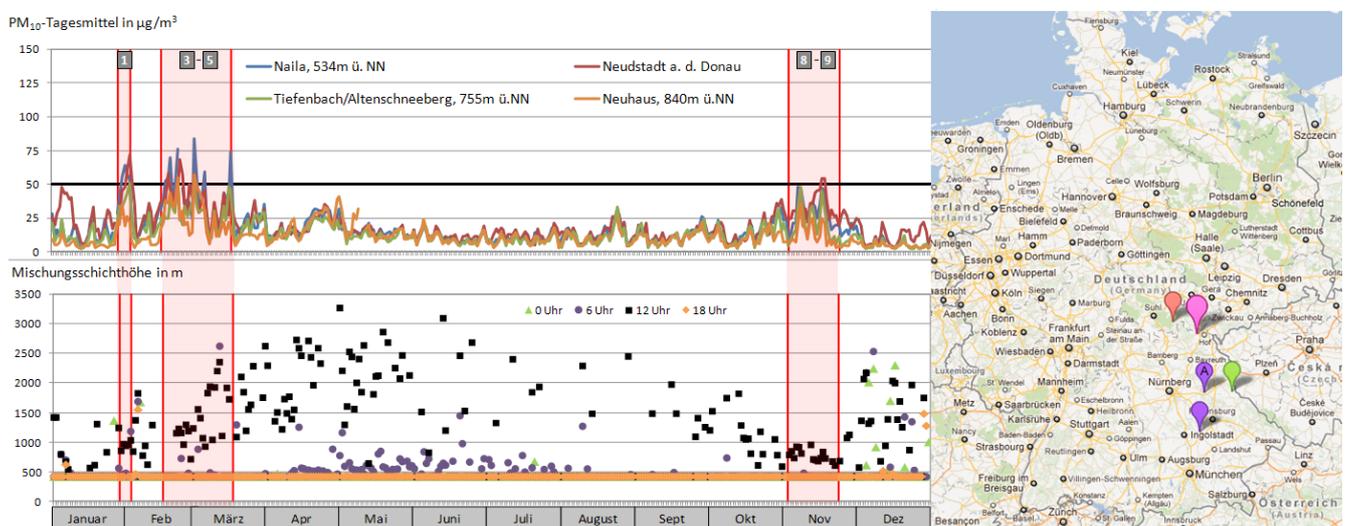


Abbildung 24: PM<sub>10</sub>-Verlauf im ländl. Hintergrund nahe der Radiosondenstation **Kümmersbruck** (oben), Stand der Daten: 02. März 2012, Mischungsschichthöhen über Kümmersbruck (unten) und Lage der PM<sub>10</sub>-Messstationen und der Radiosondenstation (A) (rechts)