



LUFTBILANZ STUTTGART 2010/2011

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ





**INHALTSVERZEICHNIS**

1 ZUSAMMENFASSUNG	5
2 EINLEITUNG	7
3 WITTERUNGSVERLAUF.....	9
3.1 Temperatur.....	9
3.2 Niederschlag.....	11
3.3 Sonnenstrahlung.....	12
4 LUFTHYGIENISCHE SITUATION.....	14
4.1 Beurteilungs- und Zielwerte.....	15
4.2 Lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Stuttgart.....	17
4.2.1 Messergebnisse 2010/2011.....	17
4.2.2 Zeitliche Variationen ausgewählter Luftschadstoffe.....	21
4.2.2.1 Tagesverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe.....	21
4.2.2.2 Wochenverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe.....	25
4.2.2.3 Jahresverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe.....	26
4.2.2.4 Langjährige Entwicklung ausgesuchter Luftschadstoffe.....	28
4.2.3 Ursachenanalyse.....	32
5 AUSBLICK.....	35
6 WEITERFÜHRENDE LINKS	37
7 LITERATURVERZEICHNIS	38





1 Zusammenfassung

Im Jahr 2010 wurden im Stadtgebiet von Stuttgart die Grenzwerte für Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Benzol deutlich unterschritten. Zwar sind für das Jahr 2011 keine Konzentrationsdaten dieser Luftschadstoffe verfügbar, aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Grenzwerte über die letzten Jahre hinweg ist aber davon auszugehen, dass auch im Jahr 2011 die Belastungssituation im Hinblick auf SO₂, CO und Benzol die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden können.

Bezüglich Ozon (O₃) kann festgestellt werden, dass sich der über die letzten Jahre abzeichnende Trend eines Rückgangs der mittleren Ozonjahreskonzentration auch in den Jahren 2010 und 2011 (für das Jahr 2011 sind nur Daten der stadt eigenen Messstation verfügbar) fortgesetzt hat. Auch die Anzahl der Überschreitungen des Stuttgarter Zielwertes für Ozon war im Jahr 2010 wie auch in den Jahren zuvor weiter rückläufig.

Hinsichtlich Stickstoffdioxid (NO₂) zeigen sich sowohl bei den Jahresmittelwerten als auch bei den kurzzeitigen Spitzenwerten große standortbedingte Unterschiede. Im städtischen Hintergrund von Stuttgart werden die seit 2010 gültigen Grenzwerte für den Jahresmittelwert (Langzeitgrenzwert) sowie für die Anzahl der Überschreitung der maximal zulässigen Kurzzeitbelastung (Kurzzeitgrenzwert) in den Jahren 2010/2011 eingehalten. Auch werden im städtischen Hintergrund der Kurzzeit- und Langzeitgrenzwert für die Feinstaubpartikelmassenkonzentration (PM10) unterschritten.

Dennoch gab es in den Jahren 2010/ 2011 wieder zahlreiche Grenzwertüberschreitungen. An den straßennahen Messstationen ist auch nach Inkrafttreten der Fortschreibung des Luftreinhalte-/Aktionsplans zum 01. Februar 2010 eine hohe Luftschadstoffbelastung zu diagnostizieren.

Die derzeit geltenden NO₂-Grenzwerte für die Kurzzeit- und die Langzeitbelastung

werden an den straßennahen Messstationen deutlich überschritten. Insbesondere an den Messstationen S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße wurde der Langzeitgrenzwert in den Jahren 2010 und 2011 um einen Faktor 2 bis 2,5 und die Anzahl der erlaubten Überschreitungen des NO₂-Kurzzeitgrenzwertes um bis zu einem Faktor von 20 überschritten.

Der Grenzwert für die PM10- Langzeitbelastung wurde im Jahr 2010 an der Stationen S-Am Neckartor überschritten, an allen anderen Messstationen im Stadtgebiet von Stuttgart jedoch eingehalten. Im Jahr 2011 wurde dieser Grenzwert erstmalig an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten.

Die maximal zulässige Anzahl an Überschreitungstagen des Grenzwertes für die PM10-Kurzzeitbelastung konnte in den Jahren 2010 und 2011 nur an den Stationen S-Bad Cannstatt und S-Schwabenzentrum eingehalten werden. An allen weiteren Messstationen im Stadtgebiet von Stuttgart wurde dieser Grenzwert in beiden Jahren überschritten insbesondere an der Messstation S-Am Neckartor konnte eine drastische Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes in beiden Jahren beobachtet werden. Hier wurde die maximal zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des PM10- Kurzzeitgrenzwertes im Jahr 2010 mit 102 Überschreitungstagen um den Faktor 2,9 und im Jahr 2011 mit 89 Überschreitungstagen um den Faktor 2,5 überschritten.

Insgesamt wurden im Jahr 2011 gegenüber dem Jahr 2010 im Stadtgebiet von Stuttgart tendenziell geringfügig niedrigere oder gleich bleibende Werte ermittelt. Dies kann teilweise auf die derzeit umgesetzten Maßnahmen zur Luftreinhaltung zurückgeführt werden. Dennoch reichen die derzeit ergriffenen Maßnahmen nicht aus, um insbesondere die NO₂- Belastung an stark verkehrsbelasteten Straßen soweit zu reduzieren, dass die geltenden Grenzwerte eingehalten werden können.



Informationen zu den Themen Luftqualität und Klima können im Internet unter <http://www.stadtklima-stuttgart.de> abgerufen werden. Aktuelle Messdaten sind sowohl unter [\[stadtklima-stuttgart.de\]\(http://www.stadtklima-stuttgart.de\) als auch <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de> verfügbar. Weiterführende Links und Literaturhinweise sind in den Kapiteln 6 \(Seite 37\) und 7 \(Seite 38\) aufgelistet.](http://www.stadtklima-</p></div><div data-bbox=)



2 EINLEITUNG

Gasförmige und partikelförmige Luftschadstoffe beeinflussen die Luftqualität und modifizieren somit die Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen. Trotz großer Anstrengungen, die anthropogenen Emissionen zu reduzieren, führt die zunehmende Urbanisierung verbunden mit steigendem Verkehrsaufkommen teilweise zu hohen Luftschadstoffbelastungen in städtischen Regionen. Die hohen städtischen Immissionen von Luftschadstoffen verringern die Aufenthalts- und Lebensqualität in urbanen Gebieten.

In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von Projekten und Studien initiiert, um zum einen den Einfluss von Luftschadstoffen auf die menschlichen Lebensbedingungen aber auch auf den Zustand der Atmosphäre zu untersuchen. Beispielsweise zeigten Bäumer et al. (2007) einen direkten Zusammenhang zwischen den Wochengängen meteorologischer Größen, wie Temperatur und Niederschlagshäufigkeit, und den durch den menschlichen Lebenszyklus verursachten Wochengängen anthropogener Emissionen. Die Ergebnisse aktueller epidemiologischer Studien führen zu dem Schluss einer von gasförmigen und partikelförmigen Luftbeimengungen verursachten Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit. Diese Studien zeigen negative gesundheitliche Auswirkungen bestimmter anthropogener Luftbeimengungen vor allem auf den menschlichen Atemtrakt und das kardiovaskuläre System (Blutkreislauf) (z.B. Kampa und Castanas, 2008). Derzeit stehen speziell partikelförmige Luftbeimengungen (Feinstäube) im Fokus zahlreicher medizinischer Studien aufgrund deren hohen Potentials einer Gesundheitsgefährdung. Beispielsweise Dockery und Pope (1996) sowie Lippmann et al. (2000) zeigten, dass durch atmosphärische Partikel akute und langfristig negative gesundheitliche Effekte verursacht werden können. Nach Ergebnissen von Donaldson et al. (1998), Wichmann et al. (2000) und Oberdörster et al. (2002) ist insbesondere von einem

erhöhten gesundheitsgefährdenden Potential von Feinstaub- und Feinstaubpartikeln (PM₁₀ und PM_{2,5}) auszugehen, da diese Partikel aufgrund ihrer kleinen Durchmesser tief in den menschlichen Atemtrakt eindringen können. Pope et al. (2002) zeigen, dass in mit Feinstaubpartikeln hoch belasteten Gebieten langfristig mit erhöhten Mortalitätsraten zu rechnen ist.

Der heutige Wissensstand über die Auswirkungen anthropogener gasförmiger und partikelförmiger Luftbeimengungen auf die Ökosysteme und die menschliche Gesundheit zeigt die Bedeutung einer Überwachung, Regulierung und Minderung der Immissionen relevanter Substanzen. Nicht zuletzt aufgrund der Risiken für die menschliche Gesundheit hat die Europäische Kommission Richtlinien für die atmosphärischen Konzentrationen gesundheitsrelevanter Luftbeimengungen verabschiedet. Diese Richtlinien nennen Grenzwerte für die Konzentrationen verschiedener gasförmiger Luftbeimengungen sowie die Feinstaub- und Feinstaubpartikelmassenkonzentration (nationale Umsetzung in der 39. Bundesimmissionsschutzverordnung (39. BImSchV – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen). Die Grenzwerte stellen aktuell die Basis der operationellen Überwachung der Luftqualität in den Ländern der EU dar. Die derzeitige Überwachung der Luftqualität erfolgt mittels stationärer Messungen der nationalen Umweltschutzbehörden. Diese messen und analysieren überwiegend die in den EU Richtlinien vorgegebenen zu überwachenden gasförmigen Substanzen Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Ozon (O₃) sowie die Partikelparameter PM₁₀ und PM_{2,5}. Um den von der EU vorgegebenen gesetzlichen Bestimmungen Folge zu leisten werden die Messungen an den Stellen, an denen die höchsten Konzentrationen vermutet werden, wie beispielsweise an stark befahrenen Hauptverkehrsweegen, realisiert („Hotspots“). Dies trägt dem



Gedanken des Grenzwertes Rechnung, da so sichergestellt ist, dass, wenn an diesen „Hotspots“ der Grenzwert nicht überschritten wird, auch an anderen Stellen im Untersuchungsgebiet der Grenzwert eingehalten wird. Diese Annahme gilt natürlich nur für direkt emittierte Luftbeimengungen, wie zum Beispiel Kohlenmonoxid (CO) oder Primärpartikel, wie beispielsweise Ruß. Anders verhält sich dies unter Umständen bei sekundären Luftbeimengungen, wie zum Beispiel den in der Atmosphäre aus gasförmigen Vorläufersubstanzen gebildeten Sekundärpartikeln. Diese können aufgrund von Transportphänomenen und chemischen Umwandlungen maximale Konzentrationen weit entfernt von den Quellen der Vorläufersubstanzen aufweisen. Die tatsächliche Belastung der Bevölkerung, die sich im Allgemeinen nicht über einen längeren Zeitraum an dicht befahrenen Straßen aufhält, kann somit mit stationären Messstationen nur schwer bewertet werden, da hierfür die flächenhafte Verteilung der Luftverunreinigungen bekannt sein muss. Des Weiteren setzt sich in der Wirkungsforschung die Erkenntnis durch, dass hinsichtlich der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit eher die Gesamtexposition als punktuelle Konzentrationswerte von Bedeutung ist. Bei der Frage welcher Exposition die Bevölkerung bzw. einzelne Individuen im Laufe eines Tages ausgesetzt sind, ist die flächenhafte Verteilung der Luftschadstoffe in unterschiedlichen Lebensräumen während unterschiedlicher Aktivitäten (Arbeit, Freizeit, Wohnen) von Bedeutung.

In Baden-Württemberg betreibt die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) das Messnetz zur Erfassung der Luftqualität. Die Messungen an Dauermessstationen werden durch die LUBW seit dem Jahr 2004 durch landesweite Spotmes-

sungen ergänzt. Im Rahmen dieser zeitlich befristeten Spotmessungen werden an so genannten „Spots“ mit besonders hohen Schadstoffkonzentrationen die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO₂) sowie die Massenkonzentration von Feinstaubpartikeln PM10 gemessen.

In den Jahren 2010/2011 stehen für das Stadtgebiet von Stuttgart Messergebnisse von zwei Dauermessstationen (Stuttgart-Mitte, Arnulf-Klett-Platz und S-Bad Cannstatt, Gnesener Straße) und drei Spotmesspunkten (Stuttgart-Am Neckartor, S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße und Stuttgart Hohenheimer Straße) zur Verfügung. In Ergänzung zu diesen Messungen der LUBW betreibt das Amt für Umweltschutz eine stadt eigene Messstation im Schwabenzentrum.

Die vorliegende Luftbilanz für die Jahre 2010 und 2011 basiert auf den Immissionsmessungen der oben genannten Stationen. Des Weiteren wird für die Beurteilung der Luftqualität in Stuttgart der Zustand der Atmosphäre (z.B. Strahlungsverhältnisse, Niederschlag, Temperatur) berücksichtigt. Die meteorologischen Bedingungen für die Jahre 2010 und 2011 werden auf Grundlage des vom Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim bereitgestellten Witterungsverlaufes dargestellt.

Zur Beurteilung der Luftschadstoffbelastungssituation in Stuttgart werden die gemessenen Luftschadstoffimmissionen den geltenden Grenz- und Zielwerten der 39. BImSchV gegenübergestellt. Des Weiteren werden die vom Gemeinderat beschlossenen Luftqualitätszielwerte zur Einordnung und Bewertung der Luftschadstoffbelastung verwendet. Mittels der Ursachenanalyse der LUBW werden die Gründe der Belastungssituation aufgezeigt.



3 WITTERUNGSVERLAUF

Die Belastungssituation wird neben den Luftschadstoffemissionen maßgeblich von den meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Der Witterungsverlauf hat neben seiner bioklimatischen Bedeutung somit auch Auswirkungen auf die Belastungssituation. Beispielsweise können die oftmals hohen Luftschadstoffkonzentrationen in den Wintermonaten mit austauscharmen

Inversionswetterlagen in Verbindung gebracht werden. In den Sommermonaten treten hohe Ozonbelastungen besonders an warmen strahlungsreichen Tagen auf. Der Witterungsverlauf für die Jahre 2010 und 2011 wird im Folgenden anhand der meteorologischen Messungen der Messstation Stuttgart- Hohenheim dargestellt.

3.1 Temperatur

Im Folgenden werden die Jahresmitteltemperatur sowie die Verläufe der Monatsmitteltemperaturen für die Jahre 2010 und 2011 an der Station Stuttgart Hohenheim dem langjährigen Mittel für den jeweiligen Monat (1961-1990) gegenübergestellt (Abb. 3.1).

Insgesamt zeigen sich bei den Jahresmitteltemperaturen für die Jahre 2010 und 2011 deutliche Unterschiede. Während das Jahr 2010 mit einer Jahresmitteltemperatur von 8,9°C nahe am langjährigen Mittel von 8,8°C lag, war das Jahr 2011 mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6°C um 1,8°C deutlich wärmer als das langjährige Mittel.

Das Jahr 2010 begann zu kühl mit einer im Januar um 1,9°C tieferen Monatsmitteltemperatur als im vergleichbaren langjährigen Mittel von -0,2°C. Der Januar war mit einer Monatsmitteltemperatur von -2,1°C der kälteste Monat im Jahr 2010. Die Monatsmitteltemperatur im Februar lag um 0,1°C unter, aber nah am langjährigen Mittel von 1,2°C. Insgesamt war der Winter 2009/2010 kühler (1,0°C) als im langjährigen Mittel. Im Jahr 2010 war die Anzahl der Frosttage (Tagesminimumtemperatur <0°C) mit 98 Tagen um 13 % höher und die Anzahl der Eistage (Tagesmaximumtemperatur <0°C) mit 43 Tagen um 95 % höher als im langjährigen Mittel.

Das Frühjahr 2010 war im März mit 0,3°C etwas milder und April 2010 mit 1,8°C deutlich wärmer als im langjährigen Mittel.

Die Monatsmitteltemperaturen im langjährigen Mittel betragen im März 4,6°C und im April 8,3°C. Der Mai 2010 zeigte sich dann um 1,3°C kühler als der Mai im langjährigen Mittel mit 12,7°C. Insgesamt ergibt sich damit ein etwas zu mildes (0,3°C) Frühjahr 2010.

Die Sommermonate Juni 2010 und Juli 2010 lagen um 1,7°C und 3,0°C deutlich über dem langjährigen Mittel von 15,8°C im Juni und 17,8°C im Juli und waren somit deutlich zu warm. Der Juli 2010 war somit der wärmste Monat des Jahres mit der höchsten positiven Abweichung vom langjährigen Mittel. Am Ende der Sommerperiode im August 2010 erreichte die Monatsmitteltemperatur genau das langjährige Mittel von 17,2°C. Der Sommer 2010 war damit deutlich zu warm (1,6°C) im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die Anzahl der Sommertage im Jahr 2010 (Tagesmaximumtemperatur >25°C) war mit 41 Tagen um 31 % höher als im langjährigen Mittel. Mit 11 Tagen war die Anzahl der heißen Tage im Jahr 2010 (Tagesmaximumtemperatur >30°C) um 168 % höher als im langjährigen Mittel.

Der Herbst 2010 war in den Monaten September um 1,3°C und Oktober 2010 um 0,8°C zu kühl gegenüber dem vergleichbaren langjährigen Mittel mit 14,1°C im September und 8,4°C im Oktober. Am Ende des Herbstes im November 2010 lag die Monatsmitteltemperatur um 1,5°C über dem langjährigen Mittel von 4,1°C. Damit war der Herbst 2010 etwas kühler (0,2°C) als der Herbst im langjährigen Mittel.

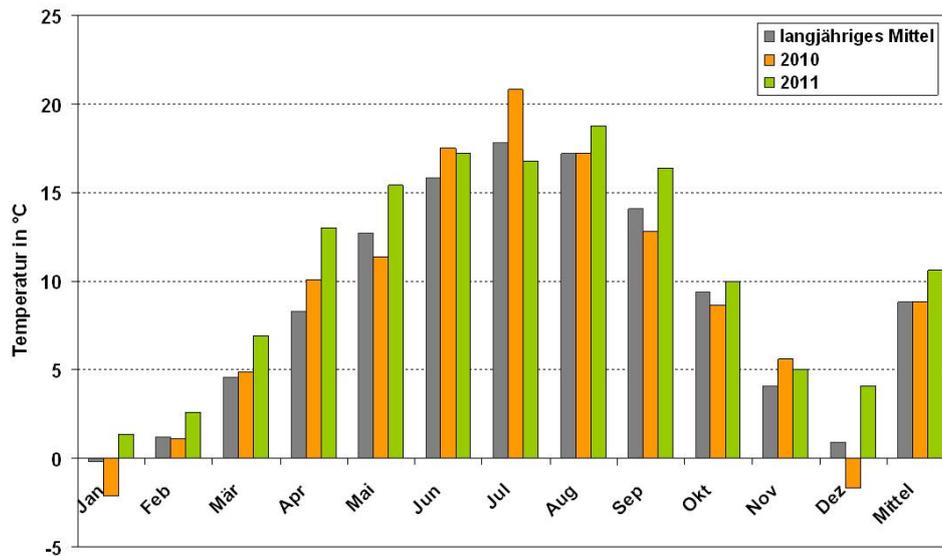


Abbildung 3.1: Monatsmitteltemperatur gemessen an der Messstation Stuttgart- Hohenheim für die Jahre 2010 (orange) und 2011 (grün) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-1990 (grau).

Der Dezember 2010 war um $2,6^{\circ}\text{C}$ kühler als das vergleichbare langjährige Mittel von $0,9^{\circ}\text{C}$.

Die Monatsmitteltemperaturen im Jahr 2011 waren alle, mit Ausnahme der Monatsmitteltemperatur für den Juli 2011, wärmer als die vergleichbaren langjährigen Mittel. Lediglich der Juli 2011 war um $1,0^{\circ}\text{C}$ kühler als im langjährigen Mittel.

Der Winter 2010/2011 war um $0,1^{\circ}\text{C}$ leicht milder als im langjährigen Mittel. Zwar lagen die Januartemperatur um $1,6^{\circ}\text{C}$ und die Februartemperatur um $1,4^{\circ}\text{C}$ höher als die vergleichbaren Monatstemperaturen im langjährigen Mittel, aufgrund des kalten Dezembers 2010 wurden die relativ hohen Temperaturen zu Beginn des Jahres 2011 bei der Betrachtung der gesamten Winterperiode weitestgehend ausgeglichen. Der Januar 2011 war mit einer Monatsmitteltemperatur von $1,4^{\circ}\text{C}$ der kälteste Monat des Jahres 2011. Im Jahr 2011 war die Anzahl der Frosttage mit 66 Tagen um 24 % niedriger und die Anzahl der Eistage mit 13 Tagen um 41 % niedriger als im langjährigen Mittel.

Das Frühjahr 2011 war deutlich um $3,2^{\circ}\text{C}$ milder als im Vergleich zum langjährigen Mittel. Auch gegenüber dem etwas zu milden Frühjahr 2010 waren im Jahr 2011

die Frühjahrstemperaturen nochmals um $2,9^{\circ}\text{C}$ wärmer. Der wärmste Frühjahrsmonat 2011 war der Mai mit $15,4^{\circ}\text{C}$ ($2,7^{\circ}\text{C}$ höhere Monatsmitteltemperatur im Vergleich zum langjährigen Mittel).

Der Sommer 2011 war insgesamt gesehen um $0,7^{\circ}\text{C}$ wärmer als der Sommer im langjährigen Mittel aber um $0,9^{\circ}\text{C}$ kühler als der Sommer 2010. Dabei waren die Monate Juni 2011 um $1,4^{\circ}\text{C}$ und August 2011 um $1,6^{\circ}\text{C}$ wärmer als im langjährigen Mittel. Der Juli 2011 war um $1,0^{\circ}\text{C}$ kühler als im langjährigen Mittel. Der wärmste Monat der Sommerperiode und des Jahres 2011 war der Juni mit einer Monatsmitteltemperatur von $17,2^{\circ}\text{C}$. Im Jahr 2011 war die Anzahl der Sommertage mit 44 Tagen um 41 % höher und die Anzahl der heißen Tage mit 7 Tagen um 71 % höher als im langjährigen Mittel.

Der Herbst 2011 war insgesamt gesehen um $1,3^{\circ}\text{C}$ milder als im langjährigen Mittel und um $1,5^{\circ}\text{C}$ milder als der vergleichsweise kühle Herbst 2010. Insbesondere der September 2011 war um $2,3^{\circ}\text{C}$ deutlich milder als das langjährige Mittel. Das Jahresende 2011 war im Dezember 2011 nochmals deutlich zu mild mit $3,2^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Mittel.



3.2 Niederschlag

Bezogen auf die Jahresniederschlagssumme war das Jahr 2010 mit 708 l/m² nahe am langjährigen Mittel von 698 l/m². Dennoch fielen im Jahr 2010 (Abb.3.2) der Winter (Januar 2010 und Februar 2010) sowie das Frühjahr mit Ausnahme des Monats Mai vergleichsweise trocken aus. Insbesondere im April 2010 fiel die Niederschlagsmenge um 87 % geringer aus als im langjährigen Mittel. Der Sommer 2010 (Juni - August) zeigte sich sehr wechselhaft. Während der Juni 2010 im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich zu trocken war (24 % weniger Niederschlagsmenge), fielen in den Monaten Juli 2010 und August 2010 deutlich mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel (38 % mehr im Juli 2010 und 30 % mehr im August 2010). Der Herbst 2010 war vergleichsweise feucht, was auf die relativ hohen Niederschlagsmengen im September 2010 mit 30 % höherer Niederschlagsmenge und im November mit 36 % höherer Niederschlagsmenge als im langjährigen Mittel zurückzuführen ist. Im Oktober 2010 war die Niederschlagsmenge vergleichsweise niedrig und lag um 31 % unter dem langjährigen Mittel. Der

Dezember 2010 war deutlich zu nass. Die Dezemberniederschlagsmenge war doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel.

Das Jahr 2011 war mit 548 l/m² im Vergleich zum langjährigen Mittel zu trocken. Mit Ausnahme der Monate Juli und Dezember lagen die monatlichen Niederschlagssummen teils deutlich unter den Vergleichswerten des langjährigen Mittels (Abb. 3.2). Insbesondere die Frühjahrsmonate (März 2011 – Mai 2011), die Herbstmonate (September 2011 - November 2011) sowie der Februar 2011 waren verglichen mit dem langjährigen Mittel deutlich zu trocken. Der Februar 2011 mit nur 21 % und der November mit nur 1 % der nach dem langjährigen Mittel zu erwartenden Niederschlagsmenge zeigten sich dabei besonders trocken. Den zu geringen Monatsniederschlagsmengen stehen lediglich die Niederschlagsmengen im Juli 2011 mit 61 % mehr Niederschlagswasser und im Dezember mit 143 % mehr Niederschlagswasser im Vergleich zum langjährigen Mittel gegenüber. Die Dezemberniederschlagssummen lagen somit in beiden Jahren 2010 und 2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel ungewöhnlich hoch.

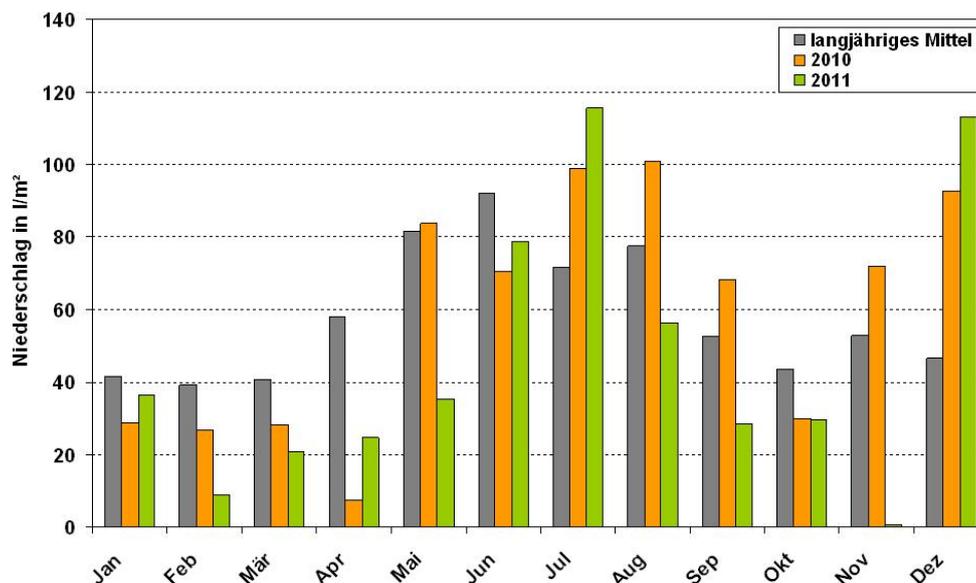


Abbildung 3.2: Gemessene Niederschlagsmonatssummen an der Messstation Stuttgart-Hohenheim für das Jahr 2010 (orange) und das Jahr 2011 (grün) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990, grau).



3.3 Sonnenstrahlung

Die Sonnenscheindauer lag in dem Jahr 2010 um 9 % unter und im Jahr 2011 um 16 % über dem langjährigen Mittel von 1726,5 Stunden (h). Die Sonnenstrahlung erreichte im Jahr 2010 103 % und im Jahr 2011 99 % des üblichen Jahreswertes im langjährigen Mittel von 401442 J/m².

In den Abbildungen 3.3 und 3.4 sind die jeweiligen Monatsmittelwerte der Sonnenscheindauer und der Sonnenstrahlung der Jahre 2010 und 2011 im Vergleich zum langjährigen Mittel dargestellt.

Im Jahr 2010 hatten die Monate Juni mit 216 h und Juli mit 277 h die meisten Sonnenscheinstunden. Die Monate Januar mit 39,6 h, Februar mit 60,2 h sowie die Monate November mit 76,8 h und Dezember mit 60 h waren im Jahr 2010 die Monate mit der geringsten Sonnenscheindauer. Deutlich mehr Sonnenscheinstunden im Vergleich zum langjährigen Mittel konnten im März 2010 mit 21 % mehr Sonnenscheinstunden und im Juli mit 17 % mehr Sonnenscheinstunden beobachtet werden. Im Mai 2010 konnten nur 51 % der nach dem langjährigen Mittel zu erwartenden Sonnenscheindauer erreicht werden. Damit war der Mai 2010 der in Relation zum langjährigen Mittel sonnenärmste Monat des Jahres 2010.

Die Sonnenstrahlung erreichte im Jahr 2010 ihre Maximalwerte in den Monaten Juni mit 61848 J/m² und im Juli mit 69694 J/m². In diesen Monaten lag die Sonnenstrahlung mit 9 % im Juni und 21 % im Juli über der vergleichbaren durchschnittlichen Sonnenstrahlung im langjährigen Mittel. Die geringste monatliche Sonnenstrahlung im Jahr 2010 war in den Monaten Dezember mit 7556 J/m² und Januar mit 9826 J/m² zu beobachten. Dabei lag die Sonnenstrahlung im Januar um 16 % und im Dezember um 49 % niedriger als im vergleichbaren langjährigen Mittel.

Im Jahr 2011 waren das Frühjahr und der Herbst im Vergleich zum langjährigen Mittel außerordentlich sonnig. Der März 2011 hatte mit 195,9 h um 51 % mehr Sonnenstunden als im langjährigen Mittel.

Der April 2011 war mit 270,7 h um 73 % und der Mai 2011 mit 269,7 h um 36 % sonniger als im langjährigen Mittel. Die Herbstmonate waren im September mit 214,9 h um 26 %, im Oktober mit 177,6 h um 37 % und im November mit 134,4 h um 75 % sonniger als im langjährigen Mittel. Damit waren die Monate April und Mai die sonnenreichsten Monate des Jahres 2011. Im Gegensatz zum Frühjahr und Herbst 2011 fiel der Sommer 2011 sonnenarm aus. Im Juni 2011 konnten mit 183 h nur 87 % und im Juli 2011 mit 175 h nur 74 % der nach dem langjährigen Mittel zu erwartenden Sonnenstunden beobachtet werden. Lediglich der August 2011 mit 221,3 h lag nahe (um 4 % höher) am langjährigen Mittel. Die wenigsten Sonnenscheinstunden waren im Jahr 2011 im Dezember mit 30,4 h (51 % vom langjährigen Mittel), im Januar mit 54,2 h (84 % des langjährigen Mittels) und im Februar mit 70 h (80 % des langjährigen Mittels) zu beobachten. Damit war im Jahr 2011 wie auch im Jahr 2010 der Dezember der Monat mit den wenigsten Sonnenstunden.

Wie bei der Sonnenscheindauer war auch die Sonnenstrahlung in den Frühjahrsmonaten 2011 überdurchschnittlich hoch. Die Sonnenstrahlung lag im März 2011 mit 38105 J/m² um 21 %, im April 2011 mit 60001 J/m² um 42 % und im Mai 2011 mit 69180 J/m² um 30 % über dem langjährigen Durchschnitt. In den Sommermonaten 2011 lag die Sonnenstrahlung im Juni mit 58438 J/m² um 4 % geringfügig höher als im langjährigen Mittel und in den Monaten Juli mit 32740 J/m² um 44 % und August mit 31698 J/m² um 36 % deutlich unter dem langjährigen Mittel. Im Herbst 2011 waren mit 24407 J/m² um 34 % geringere Strahlungswerte im Vergleich zum langjährigen Mittel zu beobachten. Die Sonnenstrahlung in den Monaten Oktober mit 31043 J/m² und November mit 16542 J/m² lag um 31 % bzw. 35 % über den Durchschnittswerten des langjährigen Mittels. Der Dezember hatte eine mit 7182 J/m² um 18 % geringere Sonnenstrahlung im Vergleich zum langjährigen Mittel.



Im Vergleich der beiden Jahre 2010 und 2011 war zu beobachten, dass das Frühjahr und der Herbst 2011 deutlich sonniger gewesen sind als im Jahr 2010. Im Jahr

2010 war der Sommer deutlich sonniger als im Jahr 2011. Die Winter 2009/2010 und 2010/2011 waren beide vergleichsweise sonnenarm.

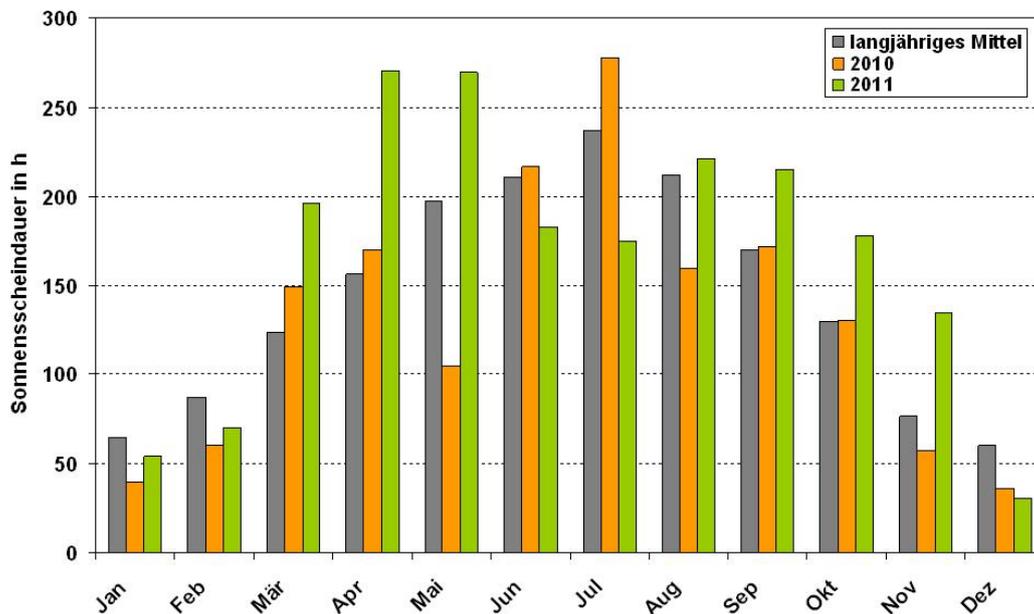


Abbildung 3.3: Beobachtete monatliche Sonnenscheindauer in Stunden (h) an der Messstation Stuttgart-Hohenheim für das Jahr 2010 (orange) und das Jahr 2011 (grün) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990, grau).

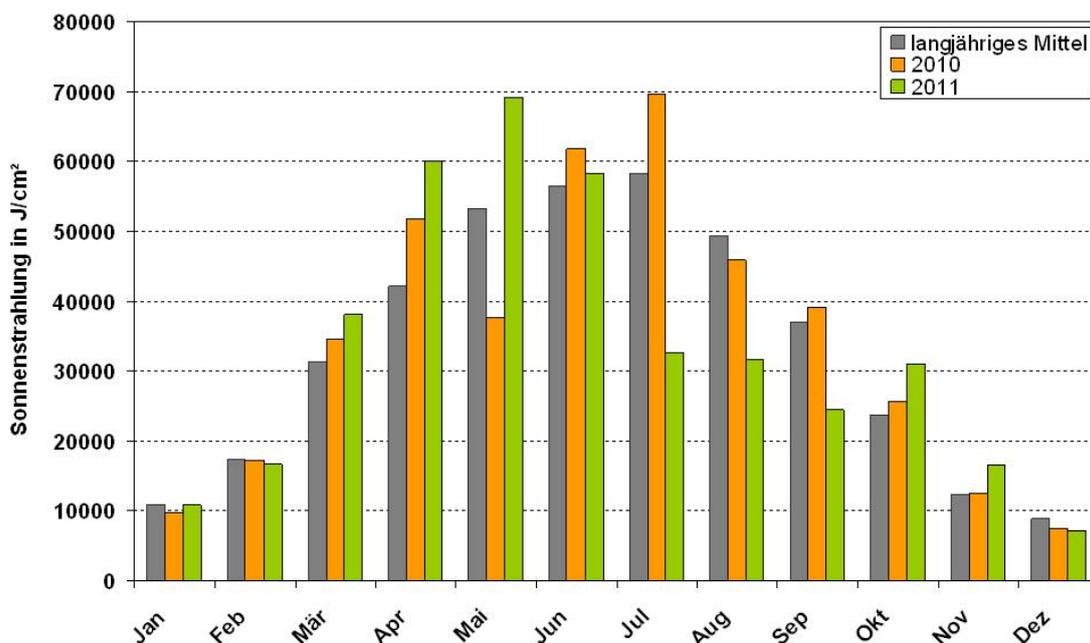


Abbildung 3.3: Gemessene monatliche Sonnenstrahlung an der Messstation Stuttgart-Hohenheim für das Jahr 2010 (orange) und das Jahr 2011 (grün) im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990, grau).

4 LUFTHYGIENISCHE SITUATION

In Abbildung 4.1 sind die in den Jahren 2010/2011 im Stadtgebiet von Stuttgart betriebenen Messstationen zur Erfassung der Luftschadstoffbelastung dargestellt. Die Dauermessstationen der LUBW sind in der Abbildung mit grünen Dreiecken und die Spotmesspunkte der LUBW mit roten Quadraten markiert, die stadteigene Messstation ist mit einem blauen Kreis eingezeichnet.

Mit Ausnahme der Messstation S-Bad Cannstatt sind die angeführten Messstationen verkehrsnah gelegen. Die Dauermessstation S-Mitte Straße und die Spotmesspunkte S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße und S-Bad Cannstatt-Waiblinger Straße geben die Luftschadstoffkonzentrationen an Haupt-

verkehrsstraßen wieder. Die Messstation S-Bad Cannstatt wird von der LUBW als Station im städtischen Hintergrund klassifiziert. Während an den LUBW Stationen die Luftschadstoffkonzentrationen in der Regel in ca. 2 m Höhe gemessen werden, ist die Messprobennahme der stadteigenen Messstation auf dem Dach des Schwabenzentrums in ca. 60 m Höhe installiert. Die stadteigene Messstation kann somit, aufgrund ihrer Entfernung zu den Emissionsquellen (hier hauptsächlich der Straßenverkehr), als städtischer verkehrsbeeinflusster Hintergrund klassifiziert werden. Der Messbetrieb der in den vorangegangenen Luftbilanzen betrachteten LUBW Messstation S-Zuffenhausen wurde Anfang 2010 eingestellt.

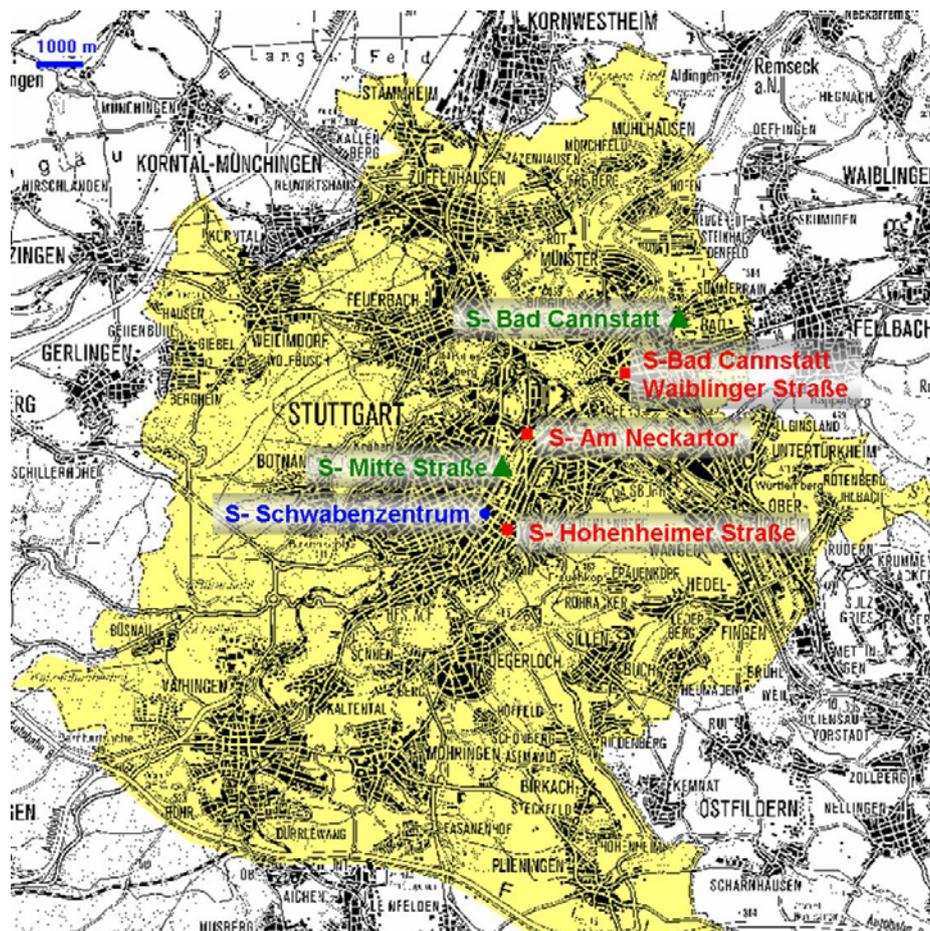


Abbildung 4.1: Messstationen 2010/2011 im Stadtgebiet von Stuttgart Dreieck grün: Dauer-
messstation (LUBW), Quadrat rot: Spotmesspunkt (LUBW), Kreis blau: Messstation Schwaben-
zentrum (Stadt Stuttgart)



Die Messstation S-Bad Cannstatt ist in parkähnlichem Umfeld im Bereich der Einmündung der Seubertstraße in die vierspurig ausgebaute Gnesenerstraße gelegen. Die Messstation S-Mitte Straße liegt am Arnulf-Klett-Platz vor dem Hindenburgbau zwischen der Lautenschlagerstraße und der Königstraße. Der Arnulf-Klett-Platz ist zwei- bzw. dreispurig befahrbar. Die Messstation S-Am Neckartor befindet sich an der B 14 nahe dem Amtsgericht. Die Straße ist im Bereich der Messstation in jeder Richtung mit je drei Fahrstreifen ausgebaut und einseitig

bebaut. In ca. 40 m Entfernung befindet sich in nordöstlicher Richtung die lichtsignalgeregelte Kreuzung Am Neckartor/Heilmannstraße mit der Einmündung der Cannstatter Straße. Die Messstation S-Hohenheimer Straße liegt an der ansteigenden Seite dieser vierspurig ausgebauten und beidseitig bebauten Straße in der Nähe der Stadtbahnhaltestelle Bopser. Die Messstation S-Bad Cannstatt-Waiblinger Straße ist im Bereich der ebenfalls vierspurig ausgebauten und beidseitig bebauten Waiblinger Straße in Stuttgart-Bad Cannstatt gelegen.

4.1 Beurteilungs- und Zielwerte

Die durch die Europäische Union definierten Beurteilungswerte von Immissionen von Luftschadstoffen wurden im Wesentlichen in der 39. BImSchV in deutsches Recht überführt. Aufgrund des gesundheitsgefährdenden Potentials von Luftschadstoffen schreibt die 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit u. a. Grenzwerte für Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂), Feinstaub (PM₁₀), Kohlenmonoxid (CO) und Benzol vor. Weiterhin gibt die 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit verschiedene Schwellen- und Zielwerte für Ozon vor. Seit dem Jahr 2010 ist in der 39. BImSchV ein Zielwert für die Feinstaubmassenkonzentration PM_{2,5} definiert, welcher ab 2015 zum Grenzwert werden soll. Zusätzlich zu der auf europäischer Ebene entwickelten Basis zur Überwachung der Luftqualität bestehen für die Stadt Stuttgart durch den Gemeinderat beschlossene Luftqualitätszielwerte (GRDRs 1421/2003).

Die gegebenen Grenzwerte für verschiedene Luftschadstoffkonzentrationen sind rechtlich verbindliche Beurteilungswerte, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums eingehalten werden müssen und danach nicht überschritten werden dürfen. Um dem Zweck der Grenzwerte, dem Schutz der menschlichen Gesundheit, nachzukommen, müssen die Grenzwerte nicht nur an den jeweiligen Messstationen zur

Überwachung der Luftqualität eingehalten werden, sondern im gesamten Stadtgebiet bzw. national im gesamten Bundesgebiet. Auch wenn aufgrund fehlender flächendeckender Messungen die Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte im gesamten Stadtgebiet schwierig ist, müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung das Ziel einer Verbesserung der Belastungssituation im gesamten Stadtgebiet verfolgen.

Entsprechend dem Gemeinderatsbeschluss GRDRs 1421/2003 sollen die Luftqualitätszielwerte der Stadt Stuttgart in den Abwägungsprozess bei Planungen und Entscheidungen einbezogen werden. In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen die Zielwerte der Stadt Stuttgart für das Jahr 2010 unverändert fortzuschreiben.

In Tab. 4.1 sind auszugsweise die Grenzwerte und Zielwerte der 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit sowie die Luftqualitätszielwerte der Stadt Stuttgart angegeben. Die in Tab. 4.1 enthaltenen Grenz- und Zielwerte im Bezug auf die Konzentration von Luftschadstoffen sind in Mikrogramm pro Kubikmeter (µg/m³) angegeben.

Wesentliche Neuerungen der im August 2010 inkraftgetretenen 39. BImSchV sind die Regelungen für Feinstäube PM_{2,5} und die Möglichkeit der Ausnahme von der



Verpflichtung zur Einhaltung bestehender Grenzwerte (Fristverlängerungen). Luftreinhaltepläne werden durch Luftqualitätspläne abgelöst, Aktionspläne durch Pläne für kurzfristige Maßnahmen. Die bisherigen Grenzwerte sollen unverändert beibehalten werden. Weiterhin können Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen und Überschreitungen aufgrund der Ausbringung von Streusand oder –salz auf Straßen im Winterdienst ausgewiesen werden.

Für PM_{2,5} ist seit dem Jahr 2010 ein Zielwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel gültig, der ab 2015 zum Grenzwert wird. Ab 2020 ist ein Richtgrenzwert von 20 µg/m³ im Jahresmittel vorgesehen, der von der europäischen Kommission im Jahr 2013 überprüft wird. Allerdings bestätigt die Richtlinie, dass für PM_{2,5} bisher keine feststellbare Schwelle ermittelt werden konnte, unterhalb der PM_{2,5} kein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellt. Demnach sind die festgesetzten Ziel- bzw. Grenzwerte für die Feinstaubkonzentration als einzuhalten-

de Mindestwerte im Bezug auf den Gesundheitsschutz anzusehen.

Für PM₁₀ konnte eine Fristverlängerung für die Einhaltung der Grenzwerte, bis zum 11. Juni 2011, in Anspruch genommen werden. Für die Einhaltung der NO₂-Grenzwerte hat die EU, unter bestimmten Voraussetzungen, eine Fristverlängerung bis zum Jahre 2015 beschlossen. Als Voraussetzung für die Fristverlängerung ist ein Luftreinhalteplan zu erstellen, mit dem die Einhaltung der Grenzwerte innerhalb der Verlängerungsfrist sichergestellt ist. In den Übergangszeiträumen dürfen die Grenzwerte zzgl. maximaler Toleranzmargen nicht überschritten werden. Für PM₁₀ bedeutet dies, dass bis zum 10. Juni 2011 48 µg/m³ im Jahresmittel nicht überschritten werden durften. Für den PM₁₀- Kurzzeitgrenzwert wurde eine Fristverlängerung zur Einhaltung für die Stadt Stuttgart von der EU abgelehnt. Für NO₂ sind 60 µg/m³ im Jahresmittel einzuhalten und maximal 18 Stunden mit Werten über 300 µg/m³ zulässig.

Tab. 4.1: Grenz- und Zielwerte der 39. BImSchV, Zielwerte der Stadt Stuttgart (Auszug)

Schadstoff	Gültigkeit	39. BImSchV			Luftqualitätszielwerte der Stadt Stuttgart 2010		
		Zahlenwert in µg/m ³		zul. Anzahl Ü ^a /Jahr	Zahlenwert in µg/m ³		zul. Anzahl Ü/Jahr
		Jahresmittel	Kurzzeitwert		Jahresmittel	Kurzzeitwert	
SO ₂	seit 2005	20 ^b	350 (S) ^c 125 (T) ^d	24 3	5	350	-
NO ₂	seit 2010	40	200 ^c	18	20	200 ^c	10
PM ₁₀	seit 2005	40	50 ^d	35	20	30 ^d	25
CO	seit 2005	-	10000 ^e	-	-	3000 ^e	-
Benzol	seit 2010	5	-	-	1	-	-
Ozon ^f	seit 2010	-	120 ^e	25 ^g	30 ^h	120 ^e	15
PM _{2,5} ⁱ	seit 2010	25	-	-	-	-	-



S: Stundenmittelwert, T: Tagesmittelwert, ^a: Überschreitung des Kurzzeitwertes, ^b: zum Schutz von Ökosystemen, ^c: Stundenmittel, ^d: Tagesmittel, ^e: höchster 8-Stundenwert eines Tages, ^f: Zielwert, ^g: 3-Jahresmittel, ^h: Zielwert aus Gemeinderatsbeschluss von 1994, ⁱ: seit 2010 gültiger Zielwert für die PM_{2,5}- Jahresbelastung (Aufwertung im Jahr 2015 zum gesetzlich geltenden Grenzwert)

4.2 Lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Stuttgart

4.2.1 Messergebnisse 2010/2011

Die Ergebnisse der Dauermessstationen sowie der Spotmessungen im Stadtgebiet von Stuttgart sind für die Jahre 2010/2011 auszugsweise in Tab. 4.2 dargestellt. Die Beurteilung erfolgt anhand der Grenzwerte der 39. BImSchV.

Im Stadtgebiet von Stuttgart werden die höchsten

Feinstaubpartikelkonzentrationen an der Messstation S-Am Neckartor und die höchsten NO₂-Konzentrationen an der Messstation S-Hohenheimer Straße erfasst. An den anderen Straßenmessstationen treten teilweise ebenfalls hohe Belastungen auf. Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden derzeit erfahrungsgemäß am ehesten bei NO₂ und PM₁₀ erreicht. Die Messungen zeigen, dass andere Schadstoffkomponenten nach dem derzeitigen Immissionsschutzrecht im Vergleich zu den Beurteilungswerten eher von untergeordneter Bedeutung sind.

Schwefeldioxid (SO₂)

Der nur noch an der Messstation S-Bad Cannstatt ermittelte SO₂-Jahresmittelwert liegt mit 3 µg/m³ im Jahr 2010 deutlich unterhalb des Grenzwertes zum Schutz von Ökosystemen von 20 µg/m³ der 39. BImSchV. Der Grenzwert zum Schutz von Ökosystemen ist rein rechtlich nicht für urbane Gebiete anzuwenden. Der Vergleich der SO₂-Jahresmittelkonzentration mit dem Grenzwert zum Schutz von Ökosystemen lässt dennoch die Einschätzung des SO₂-Niveaus in Stuttgart als niedrig belastet zu. An der Messstation S-Bad Cannstatt wurde im Jahr 2010 auch keine

Überschreitung des SO₂-Kurzzeitgrenzwerts von 350 µg/m³ im Tagesmittel registriert. Der Zielwert 2010 der Stadt Stuttgart mit 5 µg/m³ wurde ebenfalls unterschritten. Für das Jahr 2011 liegen zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichtes noch keine Daten der LUBW vor. Es ist aber anzunehmen, dass auch im Jahr 2011 die SO₂-Belastung in Stuttgart als unproblematisch angesehen werden kann. Dies ist begründet in den seit Jahren auf sehr niedrigem Niveau befindlichen SO₂-Konzentrationen, die weit unterhalb der zulässigen Höchstmengen liegen. Eine Zunahme der SO₂-Konzentrationen kann nur durch deutlich höhere Emissionen verursacht werden, welche aber nicht zu erkennen sind.

Benzol

Auch wurde der Grenzwert für Benzol von 5 µg/m³ im Jahresmittel in dem Jahr 2010 an allen Benzol erfassenden Messstationen (S-Bad Cannstatt, S-Mitte Straße und S-Am Neckartor) sicher eingehalten. Der Stuttgarter Zielwert 2010 von 1 µg/m³ im Jahresmittel wurde jedoch an allen Messstationen überschritten. Auch für Benzol liegen zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Luftbilanz keine Daten der LUBW für das Jahr 2011 vor. Wie schon beim SO₂ kann aber aufgrund des über die letzten Jahre beobachteten niedrigen Benzolkonzentrationsniveaus davon ausgegangen werden, dass auch im Jahr 2011 die erlaubte Jahreshöchstmenge an Benzol nicht überschritten wurde. Es ist aber fraglich, ob der Stuttgarter Zielwert für Benzol im Jahr 2011 eingehalten werden konnte.



Kohlenmonoxid (CO)

Der Grenzwert für CO von $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-Stundenmittel wurde wie in den Jahren zuvor ebenfalls im Jahr 2010 auch an den CO-erfassenden Messstationen (S-Bad Cannstatt, S-Mitte Straße und S-Am Neckartor) sicher eingehalten. Auch der seit dem Jahr 2010 geltende Stuttgarter Zielwert von $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-Stundenmittel konnte an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten werden. Da auch für CO zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Luftbilanz keine Daten der LUBW für das Jahr 2011 vorlagen, kann auch hier nur vermutet werden, dass auch im Jahr 2011 der Grenzwert für die CO-Jahresmittelkonzentration eingehalten wurde, da die gemessenen Konzentrationen über Jahre hinweg weit unter der zulässigen Höchstmenge lagen.

Stickstoffdioxid (NO₂)

Bezüglich der NO₂-Konzentration sind sowohl bei den Jahresmittelwerten als auch bei den kurzzeitigen Spitzenwerten große standortbedingte Unterschiede zu erkennen. An den Messstationen S-Bad Cannstatt und S-Schwabenzentrum konnte in den Jahren 2010/2011 der gültige NO₂-Jahresmittelgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingehalten werden. Diese Messstationen spiegeln das Belastungsniveau in nicht straßennahen Bereichen wieder. In den Jahren 2010/2011 werden dort NO₂-Werte bis $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel gemessen. Dagegen konnte der Grenzwert für den NO₂-Jahresmittelwert an den stark vom Straßenverkehr beeinflussten Messstationen S-Mitte Straße, S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße und S-Bad Cannstatt-Waiblinger Straße nicht eingehalten werden. Insbesondere an den Messstationen S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße wurde der Grenzwert um bis zu $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Hohenheimer Straße drastisch überschritten.

Der Stuttgarter Zielwert 2010 für die NO₂-Jahresbelastung von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ konnte an keiner der im Stadtgebiet befindlichen Messstationen eingehalten werden. Dies lässt den Schluss zu, dass im Stadtgebiet von Stuttgart die NO₂-Jahresbelastung

großflächig über dem vom Gemeinderat beschlossenen Zielwert liegt. Im Vergleich der Jahre 2010 und 2011 ergibt sich insgesamt ein sehr ähnliches Bild, wobei die Werte im Jahr 2011 teilweise, bedingt durch den günstigen Jahresverlauf mit mildem Winter, geringfügig niedriger liegen.

Hinsichtlich der NO₂-Kurzzeitbelastung wurden in beiden Betrachtungsjahren an den Messstationen S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße hohe Überschreitungen des seit dem Jahr 2010 gültigen Grenzwerts für den Stundenmittelwert der NO₂-Konzentration von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei maximal 18 zulässigen Überschreitungen pro Jahr festgestellt. Dabei treten an der Station S-Hohenheimer Straße deutlich mehr Überschreitungsstunden auf (379 im Jahr 2010) als an der Station S-Am Neckartor (182 im Jahr 2010). Die Anzahl der Überschreitungsstunden an beiden genannten Stationen war im Jahr 2011 deutlich geringer als im Jahr 2010. An den nicht straßennahen Messstationen konnten wie der Kurzzeitgrenzwert der 39. BImSchV auch die entsprechenden Zielwerte von 10 zulässigen Überschreitungen pro Jahr eingehalten werden.

Ozon

An den Messstationen S-Bad Cannstatt, S-Mitte Straße sowie an der stadt eigenen Messstation S-Schwabenzentrum wurde im Jahr 2010 der Zielwert der 39. BImSchV für Ozon von maximal 25 Überschreitungen pro Jahr eines 8h-Mittelwerts von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unterschritten. Der Stuttgarter Zielwert für den Ozonjahresmittelwert konnte im Jahr 2010 ebenfalls an allen Stationen unterschritten werden. Der 2010er Stuttgarter Zielwert für die Ozonkurzzeitbelastung von im Jahr maximal 15 Überschreitungen eines 8h-Mittelwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an der Messstation S-Bad Cannstatt überschritten. An den beiden anderen Ozonerfassenden Messstationen wurde der Stuttgarter Zielwert für die Kurzzeitbelastung jedoch sicher unterschritten. Für das Jahr 2011 stehen zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Jahresberichtes nur die Daten



der stadteigenen Messstation S-Schwabenzentrum zur Verfügung. Hier konnten im Jahr 2011 der Zielwert nach der 39. BImSchV sowie die Zielwerte 2010 der Stadt Stuttgart eingehalten werden. Die Ozonbelastung im Jahr 2011 an den weiteren Ozon erfassenden Messstationen, kann hier allerdings nicht bewertet werden. Anders als bei den schon vorgestellten Luftschadstoffen ist das Ozon sehr stark von den meteorologischen Bedingungen im Jahresverlauf abhängig. Insbesondere die Jahreshäufigkeit sommerlicher Hitzeperioden und Strahlungstage

(Tage mit sehr hoher Sonnenstrahlung) wirkt sich direkt auf die Ozonbelastung in Form von höheren Ozonkonzentrationen bei heißer, strahlungsreicher Witterung aus. Trotz bundesweiter Verringerungen der Emissionen von Ozonvorläufersubstanzen und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen können witterungsbedingt hohe Ozonkonzentrationen auch in städtischen Gebieten auftreten. Eine Aussage, ob die geltenden Zielwerte im Jahr 2011 eingehalten wurden, ist hier ohne Kenntnis der Messdaten nicht möglich.

Tab. 4.2: Messergebnisse 2010/2011 im Stadtgebiet von Stuttgart (Auszug – LUBW, 2011–2012;



Stadt Stuttgart 2010–2011)

- Überschreitung der Stuttgarter Zielwerte 2010,
 Überschreitung der Stuttgarter Zielwerte 2010 und der Grenzwerte der 39. BImSchV

Feinstaub (PM10)

Der für den Feinstaub gültige Langzeitgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde im Jahr 2010 an der Messstation S-Am Neckartor mit $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich überschritten und im Jahr 2011 mit $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Nach den Zusammenfassungen

Stuttgarter Neckartor damit im Jahr 2010 deutschlandweit die einzige Messstation, an der der PM10-Jahresmittelgrenzwert überschritten wurde (UBA, 2010 und 2011). Mit Ausnahme an der Messstation S-Schwabenzentrum wurde der städtische Zielwert für die PM10-Jahresbelastung an

Schadstoff	Zeit- raum	S-Bad Cannstatt	S-Mitte-Straße	S-Am Neckartor	S-Hohenheimer Straße	S-Bad Cannstatt- Waiblinger Straße	S-Schwaben- zentrum
Anzahl SO_2 -Ü ^a > $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittel	2010	0	-	-	-	-	-
	2011	-	-	-	-	-	-
SO_2 -Jahresmittel	2010	3	-	-	-	-	-
	2011	-	-	-	-	-	-
NO_2 -Jahresmittel	2010	29	71	94	100	66	37
	2011	31	65	90	97	68	37
Anzahl NO_2 -Ü > $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Stundenmittel	2010	0	6	182	379	-	0
	2011	0	6	76	269	-	0
PM10- Jahresmittel	2010	21	33	44	32	31	20
	2011	21	31	40	31	31	20
Anzahl PM10- Ü > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Ta- gesmittel	2010	15	40	102	43	39	6
	2011	11	42	89	38	54	2
PM2,5- Jahresmittel	2010	16	20	27	-	-	-
	2011	-	-	-	-	-	-
CO-max. 8-Stundenmittel	2010	1500	2000	2900	-	-	-
	2011	-	-	-	-	-	-
Benzol-Jahresmittel	2010	1,4	2,0	2,8	-	-	-
	2011	-	-	-	-	-	-
Anzahl Ozon-Ü > $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-Stundenmittel	2010	23	11	-	-	-	0
	2011	-	-	-	-	-	0
Ozon- Jahresmittel	2010	28	27	-	-	-	21
	2011	-	-	-	-	-	19

des Umweltbundesamts (UBA) war das allen Messstationen überschritten. Im



städtischen Hintergrund wurden in den Jahren 2010/2011 PM10-Werte bis $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel gemessen.

Der PM10-Kurzzeitgrenzwert von 35 zulässigen Überschreitungen pro Jahr eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an allen straßennah gelegenen Stationen in den Jahren 2010/2011 überschritten. Insbesondere an den Stationen S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße, und S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße wurde der Kurzzeitgrenzwert drastisch überschritten. Die PM10-Jahresmittelkonzentration sowie die Häufigkeit der Grenzwertüberschreitungen des PM10-Kurzzeitgrenzwertes variiert nur geringfügig im Vergleich der Jahre 2010 und 2011 an den jeweiligen Messstationen. An der Station S-Am Neckartor konnte ein leichter Rückgang der Überschreitungstage beobachtet werden, was mit dem milden Winter 2011 und der geringen Anzahl austauscharmer Wetterlagen im Jahr 2011 erklärt werden kann. Aber auch die umgesetzten Maßnahmen des Luftreinhalteaktionsplans bewirken eine Reduktion der Emissionen von Luftschadstoffen und somit niedrigere Luftschadstoffkonzentrationen in einigen Stadtgebieten Stuttgarts. An der Messstation S-Am Neckartor wurden im Jahr 2010 102 und im Jahr 2011 89 Überschreitungen gemessen. An den Stationen S-Bad Cannstatt und S-Schwabenzentrum konnten die Kurzzeitgrenzwerte eingehalten werden. Der städtische Zielwert 2010 für die PM10-Kurzzeitbelastung wurde ebenfalls an allen straßennahen Messstationen überschritten. Die städtischen Zielwerte

konnten in beiden Jahren 2010 und 2011 nur an den Messstationen S-Bad Cannstatt und S-Schwabenzentrum eingehalten werden.

Feinststaub (PM_{2,5})

Seit Mitte des Jahres 2005 werden im Stadtgebiet von Stuttgart an den Messstationen S-Bad Cannstatt, S-Mitte Straße und S-Am Neckartor auch Messungen von Feinststäuben der Korngrößenfraktion PM_{2,5} durchgeführt. Der seit 2010 gültige Zielwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an den Stationen S-Bad Cannstatt und S-Mitte Straße im Jahr 2010 eingehalten. An der stark verkehrsbeeinflussten Messstation S-Am Neckartor wurde der Zielwert um $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. Auch hier liegen zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Jahresberichtes keine Messdaten der LUBW für das Jahr 2011 vor. Es ist zu vermuten, dass der Zielwert im Jahr 2011 in stark verkehrsbeeinflussten Gebieten überschritten wird. Eine verlässliche Aussage lässt sich aber hier nicht treffen, da aufgrund der kurzen Dauer der operativen Messungen und Überwachungen wenige Erfahrungen über das Verhalten der PM_{2,5}-Konzentrationen vorhanden sind und sich bisher keine Trends aus den kurzen Datenreihen ableiten lassen. Die Entwicklung der PM_{2,5}-Konzentration ist für den Immissionsschutz von Bedeutung, da unter anderem der jetzige Zielwert im Jahr 2015 zu einem rechtlich geltenden Grenzwert aufgewertet wird.



4.2.2 Zeitliche Variationen ausgewählter Luftschadstoffe

Im Folgenden werden für das Jahr 2011 die mittleren Tagesgänge, Wochengänge und Monatsgänge der Luftschadstoffe Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Ozon (O₃) und der Feinstaubpartikelmassenkonzentration PM10 diskutiert. In den vorangegangenen Ausführungen wurde das NO bisher nicht betrachtet, da nach der aktuellen Gesetzgebung zur Luftreinhaltung keine Grenzwerte für die NO-Belastung existieren. Für die Analyse der Belastungssituation ist die atmosphärische NO-Konzentration allerdings von großer Bedeutung. Allgemein werden die Stickoxide NO und NO₂ in Stuttgart zu erheblichen Teilen vom Straßenverkehr emittiert. Dabei ist das NO eine so genannte chemische Vorläufer-

substanz für das NO₂. In der Atmosphäre wird NO größtenteils durch den chemischen Prozess der Oxidation in NO₂ umgewandelt. Neben der Oxidation zu NO₂ hat NO weiter eine Bedeutung im atmosphärischen Ozonkreislauf. Ozon wird in der Atmosphäre in Bodennähe überwiegend aus NO₂ und O₂ durch die Einwirkung von UV-Strahlung (Photodissoziation) gebildet. Diesem chemischen Prozess wirkt die Reaktion von Ozon mit NO entgegen. Demnach ist NO für den Ozonabbau in Bodennähe von Bedeutung. Bei einer umfassenden Analyse der Luftschadstoffbelastung insbesondere der NO₂- und O₃-Belastung müssen die NO-Belastung und deren Variation berücksichtigt werden.

4.2.2.1 Tagesverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe

Stickstoffmonoxid (NO)

In Abbildung 4.2a ist der mittlere Tagesgang der NO-Belastung (auf Basis von Stundenmittelkonzentrationen) für das Jahr 2011, ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum, dargestellt. In der Abbildung 4.2a wird zwischen Werktagen Samstagen und Sonntagen unterschieden. Da das NO überwiegend vom Straßenverkehr emittiert wird, verläuft die atmosphärische NO-Konzentration zeitlich analog zur jeweiligen Verkehrsbelastung. Der NO-Tagesgang an den Werktagen ist charakterisiert durch zwei Maxima, eins in den Morgenstunden zwischen 07:00 Uhr und 11:00 Uhr und eins in den Abendstunden zwischen 17:00 Uhr und 21:00 Uhr. Diese Maxima spiegeln das erhöhte berufs- und lieferbedingte Verkehrsaufkommen in diesen Zeiten wieder. Die geringsten NO-Konzentrationen treten zu Zeiten des geringsten Verkehrsaufkommens nachts zwischen 01:00 Uhr und 04:00 Uhr auf. Der Tagesverlauf an Samstagen ist ebenfalls gekennzeichnet durch 2 Maxima zu in etwa gleichen Zeiten wie an Werktagen mit einem etwas späteren Anstieg der NO-

Konzentration in den Morgenstunden. Im Vergleich zu den Werktagen ist die NO-Konzentration in den Maxima an Samstagen etwas geringer, was auf ein geringeres Verkehrsaufkommen an Samstagen zurückgeführt werden kann. Eine Besonderheit des NO-Tagesgangs sind die im Vergleich zum NO-Tagesgang an Werktagen höheren NO-Konzentrationen in den Nachtstunden. Dies kann auf ein höheres Verkehrsaufkommen infolge von Freizeitverkehr in den Abend- und Nachtstunden an Samstagen zurückgeführt werden. Des Weiteren ist die Atmosphäre infolge fehlender Sonneneinstrahlung in den Nachtstunden weniger gut durchmischt als in den Tagstunden. Die emittierten Luftschadstoffe sammeln sich in den Nachtstunden bodennah an und bewirken eine zusätzliche Erhöhung der Konzentrationen. An den Sonn- und Feiertagen treten die höchsten NO-Konzentrationen in den Nachtstunden zwischen 00:00 Uhr und 03:00 Uhr auf. Die geringsten NO-Konzentrationen treten in den Mittagstunden auf. Da Sonn- und Feiertags das geringste Verkehrsaufkommen zu beobachten ist, wird dieser Verlauf maßgeb-



lich durch den Mischungszustand der Atmosphäre bestimmt. In den Mittagsstunden bei gut durchmischter Atmosphäre verteilt sich das NO besser als nachts bei abgesenkter Grenzschicht (Inversionschicht). Die NO-Belastung ist an Sonn- und Feiertagen über den gesamten Tagesverlauf am geringsten.

Stickstoffdioxid (NO₂)

Der NO₂-Tagesverlauf (Abb. 4.2b) ist eng verbunden mit dem NO-Tagesverlauf. Die Ähnlichkeit in den NO₂- und NO-Tagesgängen ist begründet zum einen in der gleichen Hauptemissionsquelle dem Straßenverkehr und zum anderen aufgrund der Entstehung von NO₂ durch Oxidation von NO. An Werktagen treten 2 Maxima im NO₂ Tagesverlauf auf analog zu dem Tagesverlauf der NO-Stundenmittelkonzentration und ebenfalls bedingt durch das erhöhte berufs- und lieferbedingte Verkehrsaufkommen. An Samstagen, Sonntagen und Feiertagen treten die höchsten NO₂-Stundenmittelkonzentrationen in den Abend- und Nachtstunden und die geringsten NO₂-Stundenmittelkonzentrationen in den Mittagstunden auf. Erklärt werden kann dieser Verlauf in Analogie zu dem NO-Tagesverlauf zum einen mit dem Mischungszustand der Atmosphäre und dem erhöhten freizeitbedingten Verkehrsaufkommen in den Abendstunden an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen.

Ozon (O₃)

Der O₃-Tagesverlauf (Abb. 4.3a) ist gekennzeichnet durch ein ausgeprägtes Maximum der Ozonkonzentration in den späten Nachmittagstunden zwischen 17:00 Uhr und 18:00 Uhr sowie ein Minimum werktags zwischen 06:00 Uhr und 09:00 Uhr und an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen in den Nachtstunden. Die bodennahen atmosphärischen Ozonkonzentrationen werden hauptsächlich durch die Ozonproduktion durch Photodissoziation von Sauerstoff sowie durch den Ozonabbau infolge der Reaktion von O₃ mit NO bestimmt. Die Ozonproduktion ist dabei an strahlungsreichen Sommertagen in den frühen Nachmittagstunden am

größten. Das Maximum der Ozonstundenmittelkonzentration ist gegenüber dem Maximum der Ozonproduktion um einige Stunden in die späten Nachmittagstunden verschoben, da unter Einwirkung der UV-Sonnenstrahlung weiter Ozon produziert wird und so sich die Ozonkonzentrationen aufbauen. Bei nachlassender UV-Sonneneinstrahlung überwiegt die Ozonabbaureaktion mit NO und die Ozonkonzentrationen sinken in den Abendstunden und erreichen im Allgemeinen (hier an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen) in den Nachtstunden ihr Minimum. Das Minimum der Ozonkonzentration in den Morgenstunden an Werktagen entsteht zum einen infolge der geringen Ozonproduktion bei schwacher UV-Sonneneinstrahlung in den Morgenstunden und dem verstärkten Abbau von Ozon durch die Reaktion mit NO. Der Ozonabbau wird durch die hohe Verfügbarkeit von NO in den Morgenstunden, infolge der erhöhten Verkehrsemissionen an den Werktagen (siehe Ausführungen zum NO-Tagesverlauf) verstärkt. Generell ist zu beobachten, dass die Ozonkonzentrationen tagsüber an Samstagen, Sonn- und Feiertagen über den Ozonkonzentrationen an Werktagen liegen. Dies ist zurückzuführen auf den verringerten Ozonabbau infolge geringer NO-Konzentrationen an Samstagen, Sonntagen und Feiertagen.

Feinstaub (PM₁₀)

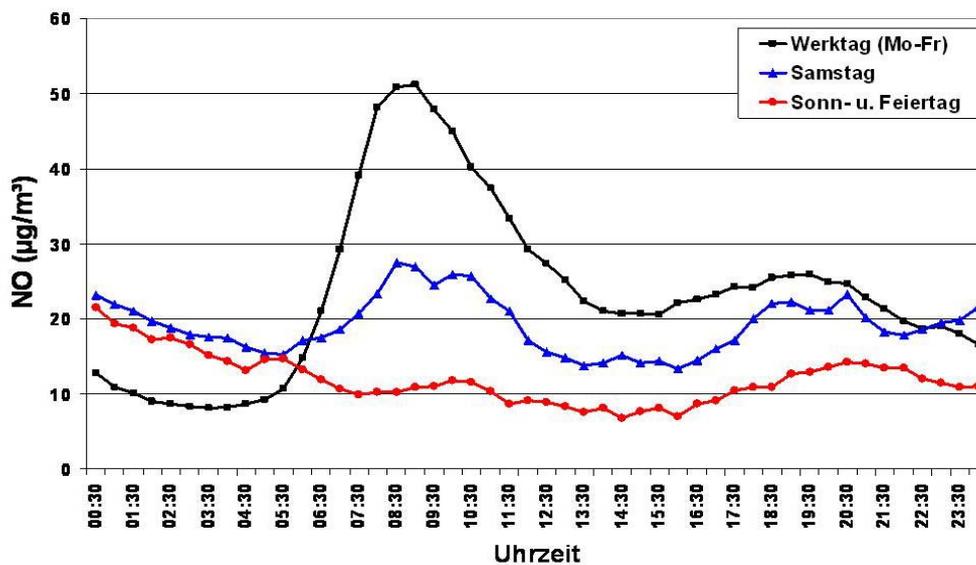
Der Tagesverlauf der über 1 Stunde gemittelten Feinstaubmassenkonzentration PM₁₀ (Abb. 4.3b) ist charakterisiert werktags durch ein Minimum in den späten Nachtstunden, ein Maximum in den Morgenstunden und überwiegend gleich bleibend hohe Stundenmittelkonzentrationen tagsüber. Da Feinstaubpartikel in hohem Maße vom Straßenverkehr emittiert werden, entstehen maximale PM₁₀-Stundenmittelkonzentrationen in den Morgenstunden von 07:30 Uhr bis 11:00 Uhr zu Zeiten des stärksten Verkehrs (ähnlich der Stickoxidkonzentrationen). Auch die hohen Stundenmittelkonzentrationen tagsüber mit einem zweiten schwach ausgeprägten Maximum zwischen 18:00 Uhr und



20:30 Uhr können auf verkehrsbedingte Emissionen von Feinstaubpartikeln zurückgeführt werden. An Samstagen sind bei der PM10-Konzentration im Tagesverlauf zwei Maxima zwischen 08:30 Uhr und 11:30 Uhr und zwischen 18:00 Uhr und 21:30 Uhr zu beobachten. Beide Maxima sind wie auch an den Werktagen auf den Tagesgang des Verkehrs zurückzuführen.

Die Feinstaubbelastung liegt an Samstagen überwiegend unter der an Werktagen. Die geringsten Feinstaubkonzentrationen werden an Sonn- und Feiertagen beobachtet, wo die PM10-Stundenmittelkonzentration über den gesamten Tagesverlauf nur geringe Variationen aufweist.

(a)



(b)

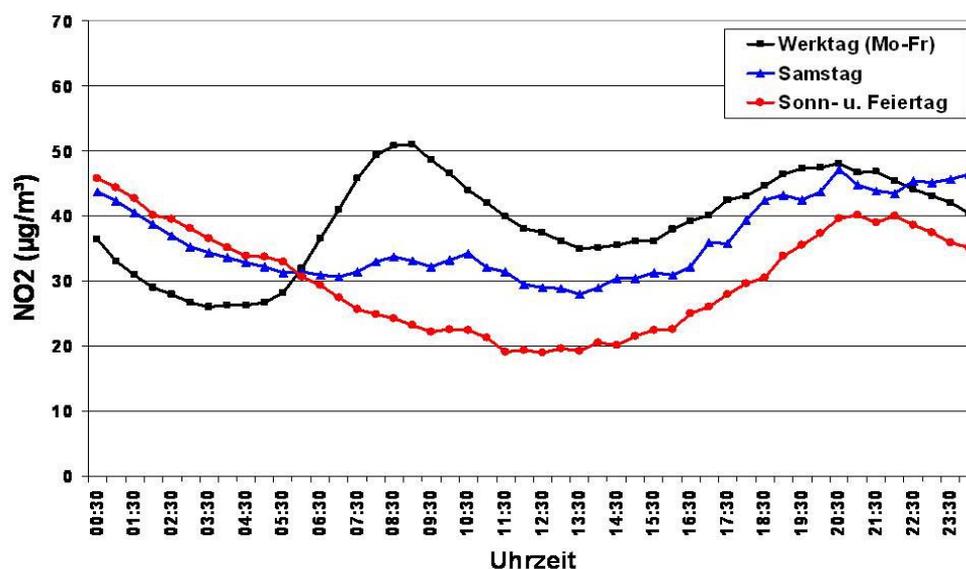
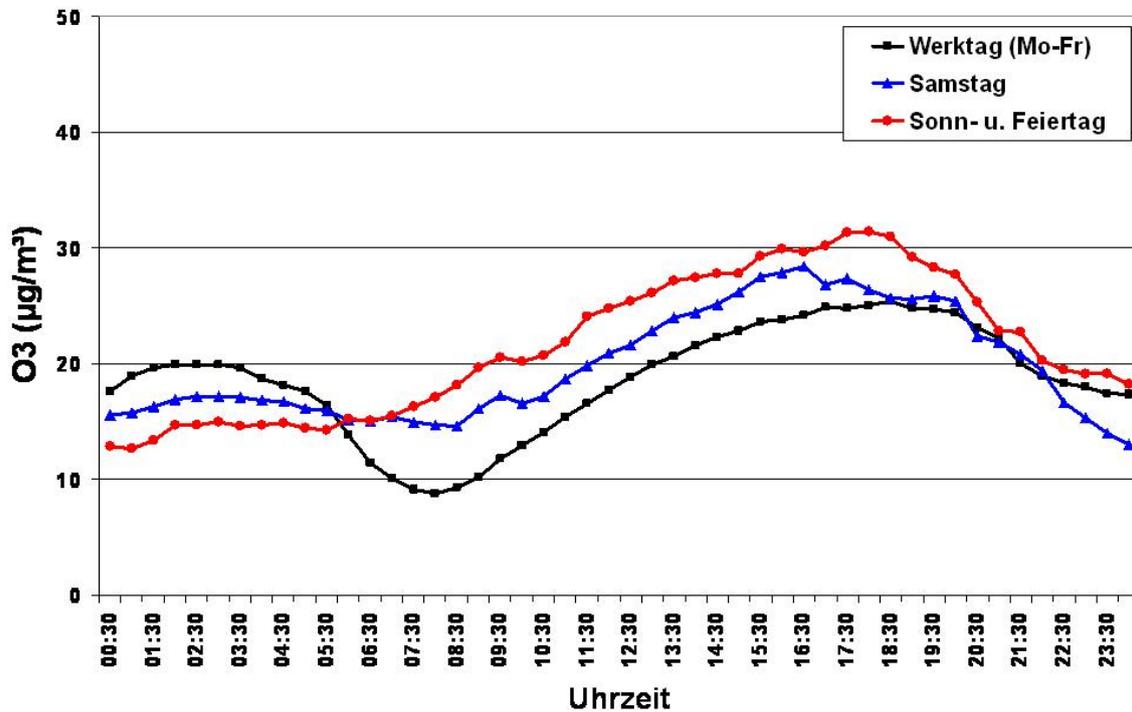


Abbildung 4.2: Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von Stickstoffmonoxid (NO, Abb. 4.2a) und Stickstoffdioxid (NO₂, Abb. 4.2b) ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum für das Jahr 2011. Es wird zwischen Werktagen (schwarz), Samstagen (blau) und Sonn- und Feiertagen (rot) unterschieden.



(a)



(b)

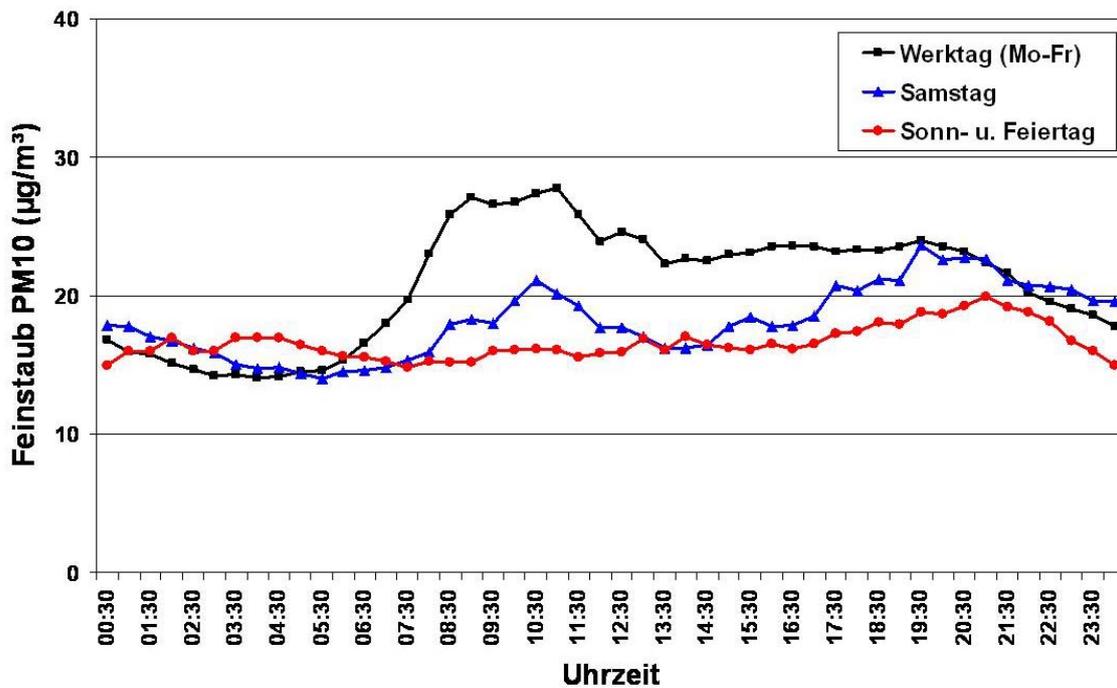


Abbildung 4.3: Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von Ozon (O₃, Abb. 4.3a) und der Feinstaubpartikelmasse (PM10 Abb. 4.3b) ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum



für das Jahr 2011. Es wird zwischen Werktagen (schwarz), Samstagen (blau) und Sonn- und Feiertagen (rot) unterschieden.

4.2.2.2 Wochenverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe

Neben den tageszeitlichen Schwankungen ist bei den Luftschadstoffkonzentrationen auch ein deutlicher Wochengang der Tagesmittelkonzentration zu erkennen (Abb. 4.4). Wie auch bei den Tagesgängen sind die Wochengänge überwiegend mit den wochenzeitlichen Unterschieden der menschlichen Aktivitäten zu erklären. Dies ist insbesondere bei den im hohen Maße von verkehrsbedingten Emissionen beeinflussten Luftschadstoffen NO (Abb. 4.4, blau) und NO₂ (Abb. 4.4, grün) zu beobachten. Aber auch die Feinstaubpartikelkonzentration (Abb. 4.4, lila) zeigt deutliche wochenzeitliche Variationen, wenngleich diese nicht so stark ausgeprägt sind wie bei den Stickoxiden. Die Wochengänge dieser Luftschadstoffe sind gekennzeichnet durch hohe Tagesmittelkonzentrationen an den Werktagen Montag bis Donnerstag, verringerte Tagesmittelkonzentrationen an Freitagen und im Vergleich zu den anderen Wochentagen niedrigen Tagesmittelkonzentrationen an Samstagen und Sonntagen. Dieses Verhalten ist direkt mit dem Verkehrsaufkommen an den jeweiligen Tagen verbunden. Da das Verkehrsaufkommen im Allgemeinen an Werktagen aufgrund des Berufs- und Lieferverkehrs höher ist, werden hier mehr Luftschadstoffe emittiert. Dies resultiert in höheren Luftschadstoffkonzentrationen an Werktagen im Vergleich zu Wochenendtagen. Die höchsten Unterschiede zwischen den Werktag- und

Wochenendkonzentrationen treten dabei bei NO auf, mit einer ca. 52 % geringeren Tagesmittelkonzentration am Sonntag im Vergleich zur maximalen Tagesmittelkonzentration am Donnerstag. Die NO₂-Konzentration ist an Sonntagen im Tagesmittel um ca. 25 % geringer als an Dienstagen wo die höchsten Tagesmittelkonzentrationen zu beobachten sind. Die Feinstaubkonzentration PM₁₀ ist an Sonntagen im Mittel um 23 % geringer als an Dienstagen mit im Mittel den höchsten Konzentrationen. Ein umgekehrter Wochenverlauf ist bei der Ozonkonzentration zu beobachten (Abb. 4.4, orange). Hier sind die Konzentrationen im Mittel an Wochenendtagen höher als an Werktagen. An Sonntagen liegt die Ozonkonzentration im Mittel um 20 % höher als an Montagen, an denen im Mittel die geringsten Konzentrationen beobachtet werden. Da Ozon maßgeblich durch die Reaktion mit NO abgebaut wird, sind die Ozonkonzentrationen an Tagen mit hohen NO-Konzentrationen am geringsten, da hier der Ozonabbau am stärksten ist. Somit sind auch die Ozonkonzentrationen durch die verkehrsbedingten Emissionen, hier in Form von NO-Emissionen, beeinflusst. An Tagen mit hohem Verkehrsaufkommen und damit verbundenen hohen NO-Emissionen sind die Ozonkonzentrationen im Mittel geringer als an Tagen mit verringertem Verkehrsaufkommen.

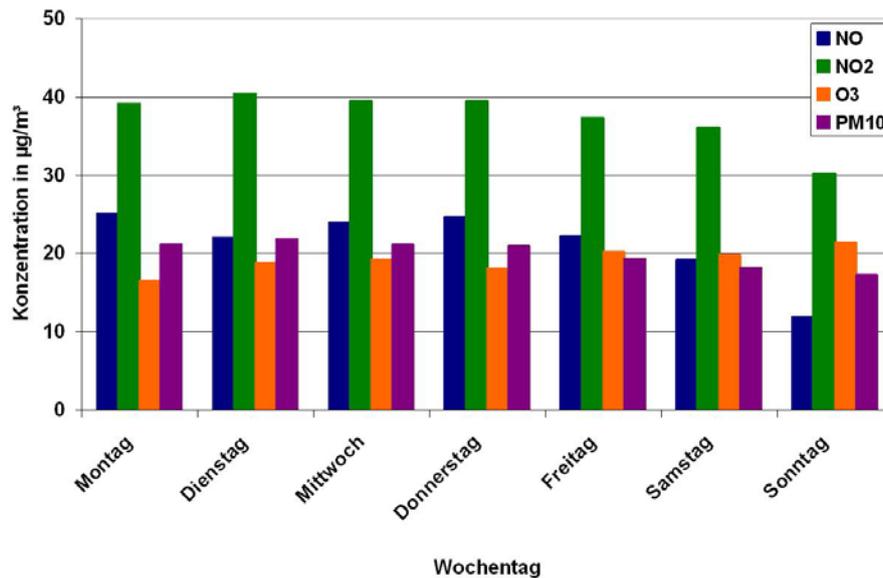


Abbildung 4.4: Wochenzeitliche Variationen der Tagesmittelkonzentrationen von Stickstoffmonoxid (NO, blau), Stickstoffdioxid (NO₂, grün), Ozon (O₃, orange) und Feinstaub (PM10 lila) ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum für das Jahr 2011.

4.2.2.3 Jahresverläufe ausgesuchter Luftschadstoffe

Die in den vorangegangenen Kapiteln gezeigten tages- und wochenzeitlichen Variationen der Luftschadstoffbelastung stehen im direkten Zusammenhang mit den zeitlichen Variationen der menschlichen Aktivitäten insbesondere des Mobilitätsverhaltens (Verkehrsverhalten). Bei den Konzentrationen von Luftschadstoffen sind neben den angeführten kurz- bis mittelzeitigen Variationen auch langzeitliche Variationen (Jahresgänge) zu beobachten. Die Jahresgänge der Luftschadstoffkonzentrationen werden zusätzlich zu den Variationen der menschlichen Aktivitäten durch jahreszeitliche Variationen der atmosphärischen Bedingungen bewirkt. In Abbildung 4.5 sind exemplarisch für das Jahr 2010 die Jahresgänge für die NO-, NO₂-, O₃- und die Feinstaubkonzentration PM10 auf Basis der jeweiligen Monatsmittelkonzentrationen, ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum, dargestellt.

Bei den Luftschadstoffen NO und NO₂ können in den Sommermonaten vergleichsweise niedrige Konzentrationen beobachtet werden. Die PM10-Konzen-

tration zeigt im Jahresverlauf deutlich geringere Variationen als die Stickoxidkonzentrationen mit geringfügig niedrigeren Werten in den Sommermonaten im Vergleich zum Rest des Jahres mit Ausnahme der Monate Mai und November 2011. Die Jahresverläufe der angeführten Luftschadstoffe stehen im Zusammenhang mit der im Allgemeinen besseren Durchmischung der Atmosphäre in den Sommermonaten. Aufgrund der im Vergleich zu den Wintermonaten stärkeren Sonneneinstrahlung im Sommer sind turbulente Strömungen im Sommer stärker ausgeprägt. Dies führt zu einer höheren bodennahen atmosphärischen Grenzschicht im Sommer. Die Luftschadstoffe werden durch die höhere Turbulenz in der atmosphärischen Grenzschicht besser durchmischt und verteilen sich über eine vertikal mächtigere Luftschicht. Dies resultiert in einer stärkeren Verdünnung der Luftschadstoffe in den Sommermonaten. Des Weiteren können die in den Sommermonaten im Vergleich zu den Wintermonaten verstärkt auftretenden Niederschläge (vgl. Kap. 3.2) ein wenn auch geringfügig stärkeres Auswaschen von Luftschadstoffen



bewirken. Des Weiteren sind die anthropogenen Emissionen in den Sommermonaten zumindest teilweise geringer aufgrund des ferienbedingt niedrigeren Verkehrsaufkommens und der niedrigeren Emissionen aus Feuerungsanlagen zur Gebäudebeheizung. Die NO-Konzentrationen werden zusätzlich durch die komplexe Ozonchemie beeinflusst, die in den Sommermonaten ihr Maximum hat. Da die Ozonbildung maßgeblich von der Sonneneinstrahlung abhängig ist, wird in den Sommermonaten mehr Ozon produziert als in den Wintermonaten. Das zur Verfügung stehende Ozon wird durch die Abbaureaktion mit NO in NO₂ umgewandelt. Durch das vermehrt verfügbare Ozon in den Sommermonaten wird infolge der Abbaureaktion die NO-Konzentration zusätzlich verringert aber auch vermehrt NO₂ gebildet. Aufgrund des infolge der Ozonchemie gebildeten NO₂ sind die Jahreszeitlichen Schwankungen der NO₂-Konzentration im Gegensatz zu den anderen betrachteten Luftschadstoffkonzentrationen relativ gering. Im Gegensatz zu den Sommermonaten treten in den Wintermonaten verstärkt austauscharme Wetterlagen auf. Dies resultiert in höheren Konzentrationen von NO, NO₂ und Feinstaubpartikeln in den Wintermonaten. Diese Erhöhung der Konzentrationen wird zu-

sätzlich durch gesteigerte anthropogene Emissionen durch den Betrieb von Feuerungsanlagen für Heizungen verstärkt. Die höchsten NO-Konzentrationen in Stuttgart waren im Jahr 2010 in den Monaten Januar und Dezember, die höchsten NO₂-Konzentrationen in den Monaten Dezember und Februar und die höchsten Feinstaubkonzentrationen PM10 in den Monaten Januar bis April zu beobachten. Die mittlere NO-Monatskonzentration war im Jahr 2010 im Dezember um 90 % höher als im Minimum im Juli, die mittlere NO₂-Monatskonzentration war im Dezember um 45 % höher als im Minimum im August und das Monatsmittel der Feinstaubkonzentration im Januar um 52 % höher als im August.

Einen den genannten Luftschadstoffkonzentrationen entgegengesetzten Jahresverlauf zeigt die Ozonkonzentration. Aufgrund der strahlungsbedingt erhöhten Ozonproduktion in den Sommermonaten ist die Ozonkonzentration in den Sommermonaten maximal und in den Wintermonaten minimal. Die höchsten Ozonkonzentrationen in Stuttgart waren im Jahr 2010 im Juli und die niedrigsten Ozonkonzentrationen im Januar zu beobachten. Dabei lagen die Ozonkonzentrationen im Juli um 73 % höher als im Januar.

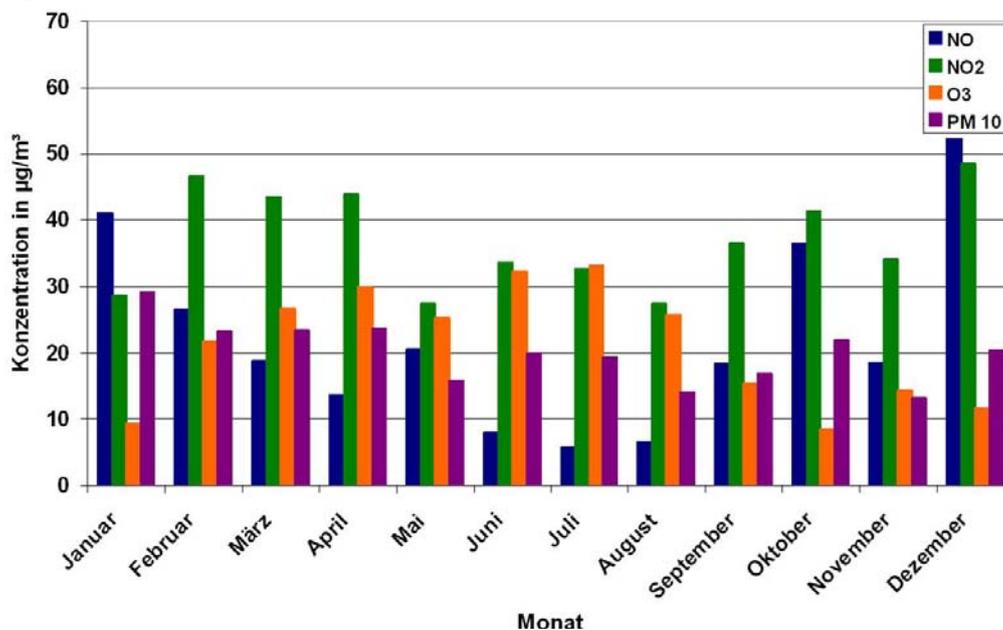


Abb. 4.5: Jahreskonzentrationsverlauf exemplarisch für das Jahr 2011 von NO (blau), NO₂ (grün), Ozon (orange) sowie von PM10 (lila) ermittelt an der Messstation S-Schwabenzentrum.



4.2.2.4 Langjährige Entwicklung ausgewählter Luftschadstoffe

Um die Entwicklung der Luftqualität im Laufe der vergangenen Jahre aufzuzeigen, werden nachfolgend die Jahresmittelkonzentrationen von NO_2 (Abb. 4.6 und 4.7), und der Feinstaubkonzentration PM_{10} (Abb. 4.9) für die Jahre 2004 bis 2011 an ausgewählten Messstationen dargestellt. Zusätzlich werden die Anzahl der Überschreitungsstunden des nach der 39. BImSchV geltenden Kurzzeitgrenzwertes für NO_2 (Abb. 4.8) und die Anzahl der Überschreitungstage des nach der 39. BImSchV geltenden Kurzzeitgrenzwertes für die Feinstaubkonzentration PM_{10} (Abb. 4.10) für die Jahre 2004 bis 2011 gezeigt. Eine eindeutige Aussage über Trends in Hinblick auf eine Verbesserung der Belastungssituation in den Konzentrationsverläufen kann derzeit allerdings nicht gegeben werden, da die Zeiträume der zur Verfügung stehenden Messungen zu gering sind, um die witterungsbedingten natürlichen Schwankungen in den Konzentrationsverläufen als Ursache für eine Verbesserung der Belastungssituation auszuschließen.

NO_2

Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen die NO_2 -Jahresmittelkonzentrationen ab dem Jahr 1995 an den Messstationen S-Schwabenzentrum, S-Bad Cannstatt und S-Mitte-Straße (Abb. 4.6) sowie ab dem Jahr 2004 für die Spotmessstationen S-Am Neckartor, S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße und S-Hohenheimer Straße (Abb. 4.7). Die NO_2 -Jahresmittelkonzentrationen variieren teilweise sehr stark von Jahr zu Jahr. Ein eindeutiger Trend über die Jahre kann den NO_2 -Konzentrationsverläufen derzeit nicht entnommen werden. Die Variationen in den Konzentrationsverläufen sind zu großen Teilen auf die Variationen der meteorologischen Bedingungen im betrachteten Zeitraum zurückzuführen. An den verkehrsnah gelegenen Messstationen S-Mitte Straße, S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße sowie S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße konnten in

dem betrachteten Zeitraum der derzeit gültige Grenzwert für den NO_2 -Jahresmittelwert nach der 39. BImSchV und auch der Zielwert der Stadt Stuttgart in keinem Jahr eingehalten werden. Der Grenz- und Zielwert wurde vielmehr an allen verkehrsnahen Stationen drastisch überschritten. Zwar konnte an den Messstationen S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße in den Jahren 2010 und 2011 ein leichter Rückgang der NO_2 -Jahresmittelkonzentration beobachtet werden. Es bleibt aber abzuwarten, ob dieser Trend bestätigt werden kann und auf ergriffene Maßnahmen zur Luftreinhaltung zurückgeht oder ob dieses Verhalten den natürlichen Schwankungen der Konzentrationsverläufe geschuldet ist. An den verkehrsfernen städtischen Hintergrundmessstationen konnte seit dem Jahr 2007 an der Messstation S-Schwabenzentrum und seit dem Jahr 2000 an der Messstation S-Bad Cannstatt der derzeit gültige Grenzwert für die NO_2 -Jahresmittelkonzentration eingehalten werden. Der Zielwert der Stadt Stuttgart konnte an diesen Messstationen über den gezeigten Zeitraum nicht eingehalten werden. An den Messstationen S-Am Neckartor sowie S-Hohenheimer Straße wurde neben dem gültigen Grenzwert für die NO_2 -Jahresmittelkonzentration auch der Grenzwert für die NO_2 -Stundenmittelkonzentration über den gesamten betrachteten Zeitraum drastisch öfter überschritten als die gesetzlich erlaubten 18 Stunden (Abb. 4.8). Wenngleich hier seit dem Jahr 2009 eine deutliche Verringerung der Überschreitungsstunden zu beobachten ist. Insbesondere ist der starke Rückgang der Überschreitungsstunden an der Messstation S-Am Neckartor im Jahr 2010 im Vergleich zu den Vorjahren auffällig. Dieser Rückgang lässt sich, auf eine deutliche Reduzierung der verkehrsbedingten Emissionen durch die Einführung und Überwachung des Tempolimits (Tempo 50) in Nähe des Neckartores zurückführen.

Feinstaubkonzentration PM10

Ähnlich den NO_2 -Konzentrationsverläufen können bei den Feinstaubpartikeln Schwankungen beobachtet werden, die überwiegend auf die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen zurückgeführt werden können (Abb. 4.9). Im Jahr 2011 wurde erstmalig in Stuttgart der geltende Grenzwert für die PM_{10} -Jahresmittelkonzentration eingehalten. Ob dies auf eine nachhaltige Verbesserung der Belastungssituation schließen lässt, ist offen. Während beispielsweise an der Station S-Am Neckartor die PM_{10} -Jahresmittelkonzentration in den Jahren 2010 und 2011 sank, stieg diese in den Jahren 2010 und 2011 an der Messstation S-Mitte Straße. Zudem konnte an allen stark verkehrsbeeinflussten Stationen in den Jahren 2010 und 2011 der Zielwert der Stadt Stuttgart für die PM_{10} -Jahresmittelkonzentration nicht eingehalten werden, obwohl dies zumindest teilweise

in den Jahren zuvor der Fall war. Weiterhin ist zu beobachten, dass seit dem Jahr 2007 die PM_{10} -Jahresbelastung im städtischen Hintergrund (Messstationen: S-Schwabenzentrum und S-Bad Cannstatt) auf gleich bleibendem Niveau lag.

Auch bei der Anzahl der Tage mit Überschreitungen des PM_{10} -Kurzzeitgrenzwertes (Abb. 4.10) ergibt sich ein nicht eindeutiges Bild einer nachhaltigen Verbesserung. Während an der Messstation S-Am Neckartor die Anzahl der Überschreitungstage seit dem Jahr 2005 kontinuierlich stark gesunken ist, zeigt sich insbesondere an den Messstationen S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße sowie S-Mitte Straße seit dem Jahr 2008 eine deutliche Zunahme der Anzahl der Überschreitungstage. Die Anzahl der Überschreitungstage an den Messstationen im städtischen Hintergrund (S-Schwabenzentrum und S-Bad Cannstatt) lag seit dem Jahr 2007 auf gleich bleibend geringem Niveau.

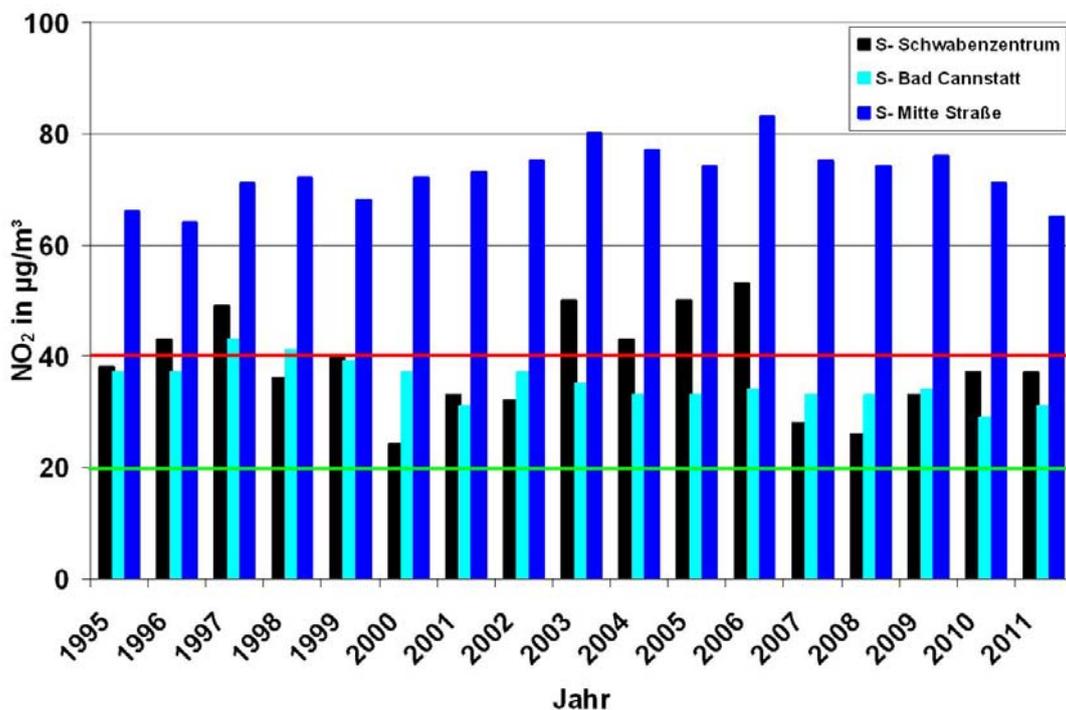


Abbildung 4.6: NO_2 -Jahresmittelkonzentration für die Jahre 1995 bis 2011 ermittelt an den städtischen Dauermessstationen S-Schwabenzentrum (schwarz) und S-Bad Cannstatt (hellblau) sowie an der Messstationen S-Mitte Straße (blau). Zusätzlich ist der derzeit geltende Grenzwert für die NO_2 -Jahresmittelkonzentration nach der 39. BImSchV (rote Linie) und der seit dem Jahr 2010 geltende Zielwert der Stadt Stuttgart (grüne Linie) dargestellt.

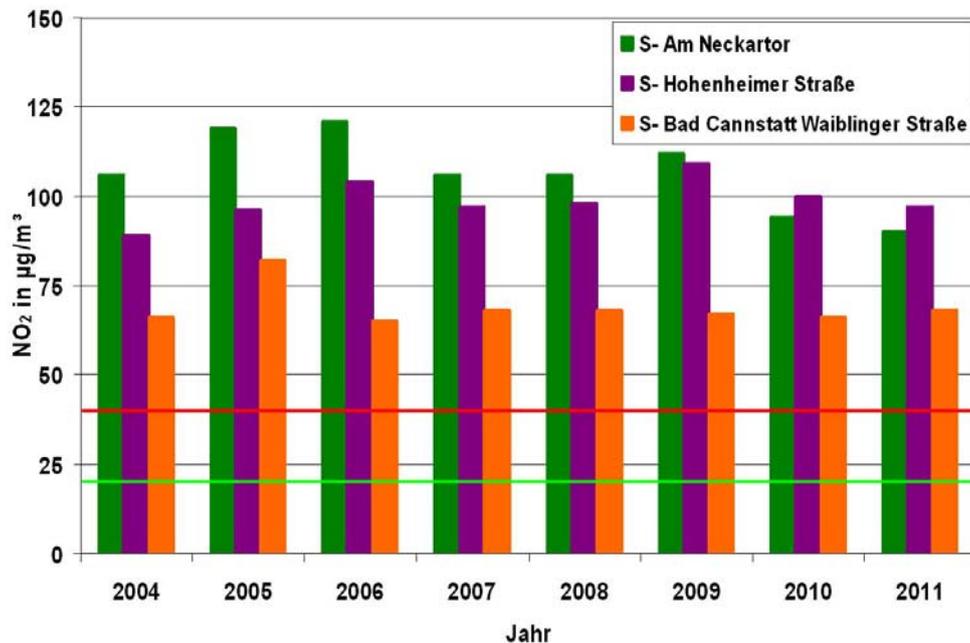


Abbildung 4.7 NO₂-Jahresmittelkonzentration für die Jahre 2004 bis 2011 ermittelt an den stark verkehrsbeeinflussten Spotmessstationen S-Am Neckartor (grün), S-Hohenheimer Straße (lila) und S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße (orange). Zusätzlich ist der derzeit geltende Grenzwert für die NO₂-Jahresmittelkonzentration nach der 39. BImSchV (rote Linie) und der seit dem Jahr 2010 geltende Zielwert der Stadt Stuttgart (grüne Linie) dargestellt.

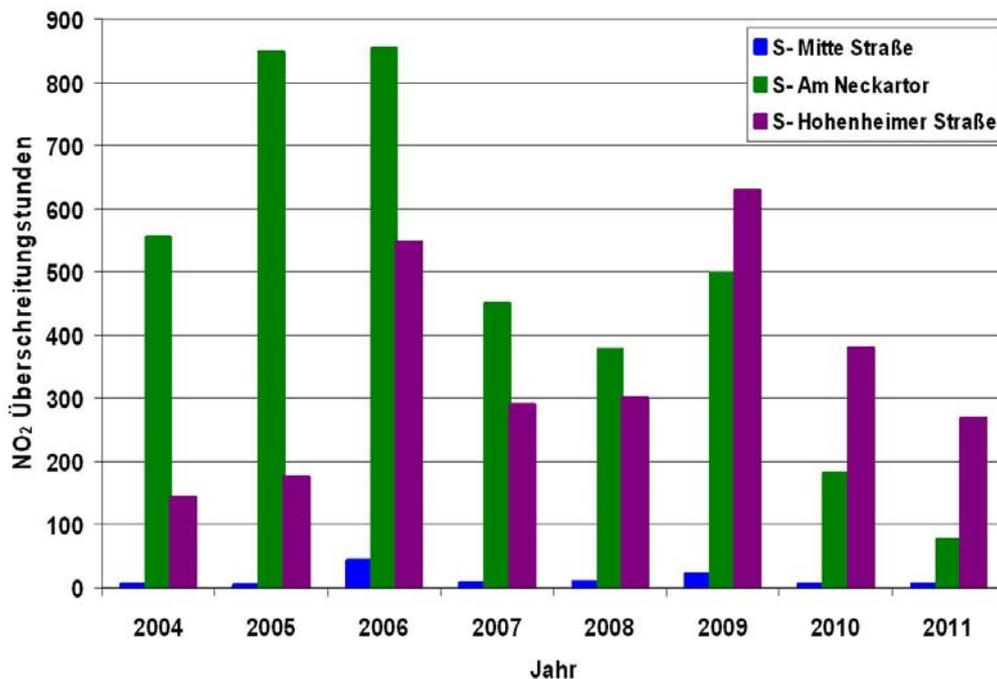


Abbildung 4.8: Anzahl der Überschreitungsstunden des geltenden Grenzwertes für die NO₂-Stundenmittelkonzentration für die Jahre 2004 bis 2011 ermittelt an den verkehrsbeeinflussten Messstationen S-Mitte Straße (blau), S-Am Neckartor (grün) und S-Hohenheimer Straße (lila). Die nach der 39. BImSchV vorgeschriebene maximal zulässige Anzahl an Überschreitungsstunden beträgt 18 pro Kalenderjahr und die nach der Stuttgarter Zielvereinbarung 10 pro Kalenderjahr.

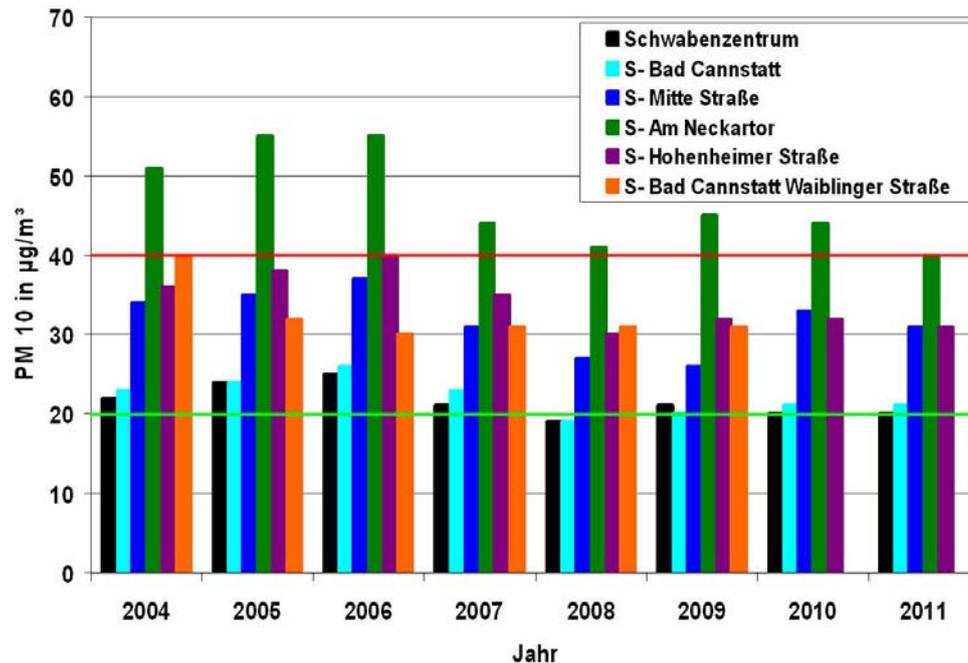


Abbildung 4.9: PM₁₀-Jahresmittelkonzentration für die Jahre 2004 bis 2011 ermittelt an den im städtischen Hintergrund gelegenen Messstationen S-Schwabenzentrum (schwarz) und S-Bad Cannstatt (hellblau) sowie an den verkehrsbeeinflussten Messstationen S-Mitte Straße (blau), S-Am Neckartor (grün), S-Hohenheimer Straße (lila) und S-Bad Cannstatt Waiblinger Straße (orange). Zusätzlich ist der derzeit geltende Grenzwert für die PM₁₀-Jahresmittelkonzentration nach der 39. BImSchV (rote Linie) und der seit dem Jahr 2010 geltende Zielwert der Stadt Stuttgart (grüne Linie) dargestellt.

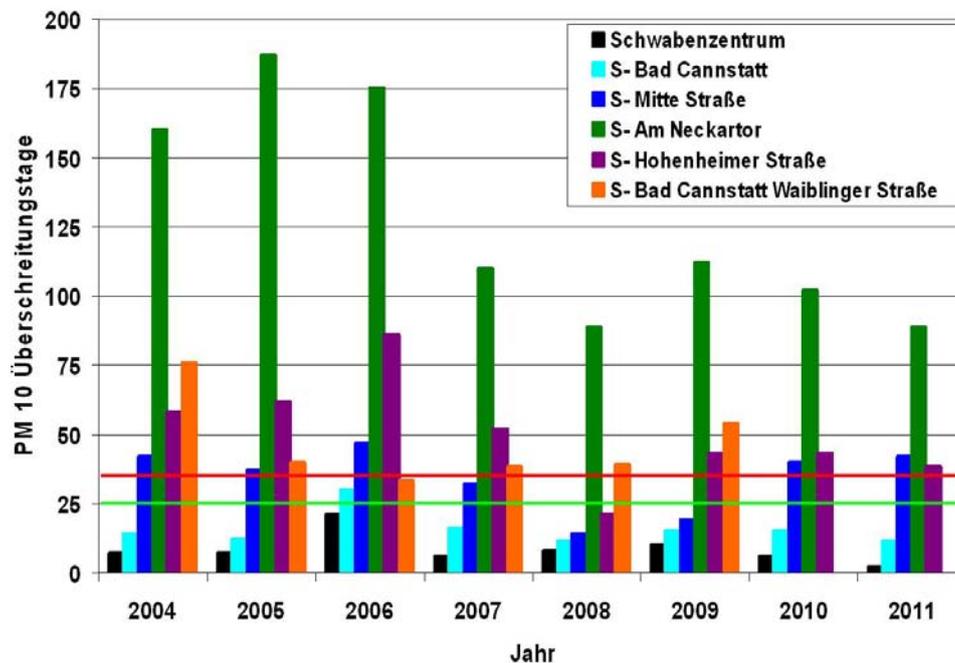


Abbildung 4.10: Anzahl der Überschreitungstage des geltenden Grenzwertes für die PM₁₀-Tagesmittelkonzentration für die Jahre 2004 bis 2011 ermittelt an den im städtischen Hintergrund gelegenen Messstationen S-Schwabenzentrum (schwarz) und S-Bad Cannstatt (hellblau) sowie den verkehrsbeeinflussten Messstationen S-Mitte Straße (dunkelblau), S-Am Neckartor (dunkelgrün) und S-Hohenheimer Straße (lila). Zusätzlich ist die maximal erlaubte Anzahl der Überschreitungstage nach der 39. BImSchV (rot gestrichelt) dargestellt.



4.2.3 Ursachenanalyse

Für die Jahre 2010 und 2011 steht derzeit keine detaillierte Analyse der Ursachen für die Luftschadstoffbelastung zur Verfügung. In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass für die Belastungssituation in Stuttgart die lokalen anthropogenen Emissionen maßgebend sind. Des Weiteren wurde die Bedeutung der verkehrsbedingten Emissionen für die NO_2 - und PM_{10} -Belastung herausgestellt. Die Analyse der langjährigen Konzentrationsentwicklung zeigt, dass seit dem Jahr 2007 bei der NO_2 - und PM_{10} -Jahresmittelkonzentration kein eindeutiger Trend zu erkennen ist und die Konzentrationsniveaus sich nur geringfügig ändern. Daher wird im Folgenden die für das Jahr 2008 von der LUBW erstellte Ursachenanalyse zur Klärung der Ursache der Belastungssituation in den Jahren 2010 und 2011 verwendet. Dies ist unter der Annahme, dass die relative Zusammensetzung der Emissionen sich seit 2008 nur geringfügig verändert hat, mit hinreichender Genauigkeit vertretbar.

Bei der Ursachenanalyse der LUBW im Jahr 2008 wurde der quantitative Einfluss relevanter Quellgruppen an den Immissionskonzentrationen der betrachteten Messpunkte dargestellt. Dabei wurde zwischen lokaler Belastung und Gesamthintergrund unterschieden, die jeweils weiter differenziert wurden. Unter der lokalen Belastung sind die Beiträge von direkt am Messpunkt oder in dessen unmittelbarer Umgebung befindlichen Verursachern zu verstehen. Das Gesamthintergrundniveau umfasst den großräumigen ländlich geprägten und den städtischen Hintergrund. Unter Berücksichtigung der o. g. Kriterien wurden für das Jahr 2008 von der LUBW bzgl. NO_2 die Messstationen S-Mitte-Straße, S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße und S-Bad Cannstatt-Waiblinger Straße betrachtet und bzgl. PM_{10} die Messstation S-Am Neckartor. An den genannten Messstationen wurden die in Abb. 4.11 und Abb. 4.12

dargestellten Verursacheranteile abgeschätzt.

Die Ursachenanalyse ergab an den betrachteten Messstationen Anteile des großräumigen Hintergrunds zwischen 8 % und 12 % der gemessenen NO_2 -Jahresmittelwerte und für den städtischen Hintergrund zwischen 28 % und 44 %. Die Beiträge der Verursacher direkt am Messpunkt oder in dessen unmittelbarer Umgebung lagen im Jahr 2008 zwischen 44 % und 64 %.

Für PM_{10} wurde an der Messstation S-Am Neckartor 29 % des gemessenen Jahresmittelwerts dem großräumigen Hintergrund zugeordnet und 20 % dem städtischen Hintergrund. Die lokale Belastung betrug im Jahr 2008 51 %.

Als Hauptverursacher der erhöhten Immissionskonzentrationen wurde an allen Messstationen der Straßenverkehr identifiziert. Hierbei werden 57 bis 76 % der jahresmittleren NO_2 -Konzentrationen (lokale NO_2 -Belastung und städtischer Hintergrund) dem Straßenverkehr zugeschrieben. An den Messstationen S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße wird die lokale NO_2 -Belastung überwiegend auf den Straßenverkehr zurückgeführt. Gemäß aktuellen Erhebungen stammen ca. zwei Drittel der gesamten straßenverkehrsbedingten Stickstoffoxidemissionen von leichten und schweren Nutzfahrzeugen (LUBW, 2009a). An der Messstation S-Am Neckartor werden 61 % der PM_{10} -Jahresbelastung durch Emissionsbeiträge des Straßenverkehrs begründet, insbesondere die lokale Belastung wird überwiegend durch den Straßenverkehr verursacht. Diese straßenverkehrsbedingten Feinstaubanteile setzen sich wiederum zu etwa zwei Dritteln aus Abrieb (Straße, Reifen, Bremsen) und Staubaufwirbelung, also nicht direkt emittierten Komponenten, zusammen. Rund die Hälfte der PM_{10} -Emissionen des Straßenverkehrs werden von Nutzfahrzeugen emittiert (LUBW, 2009a).

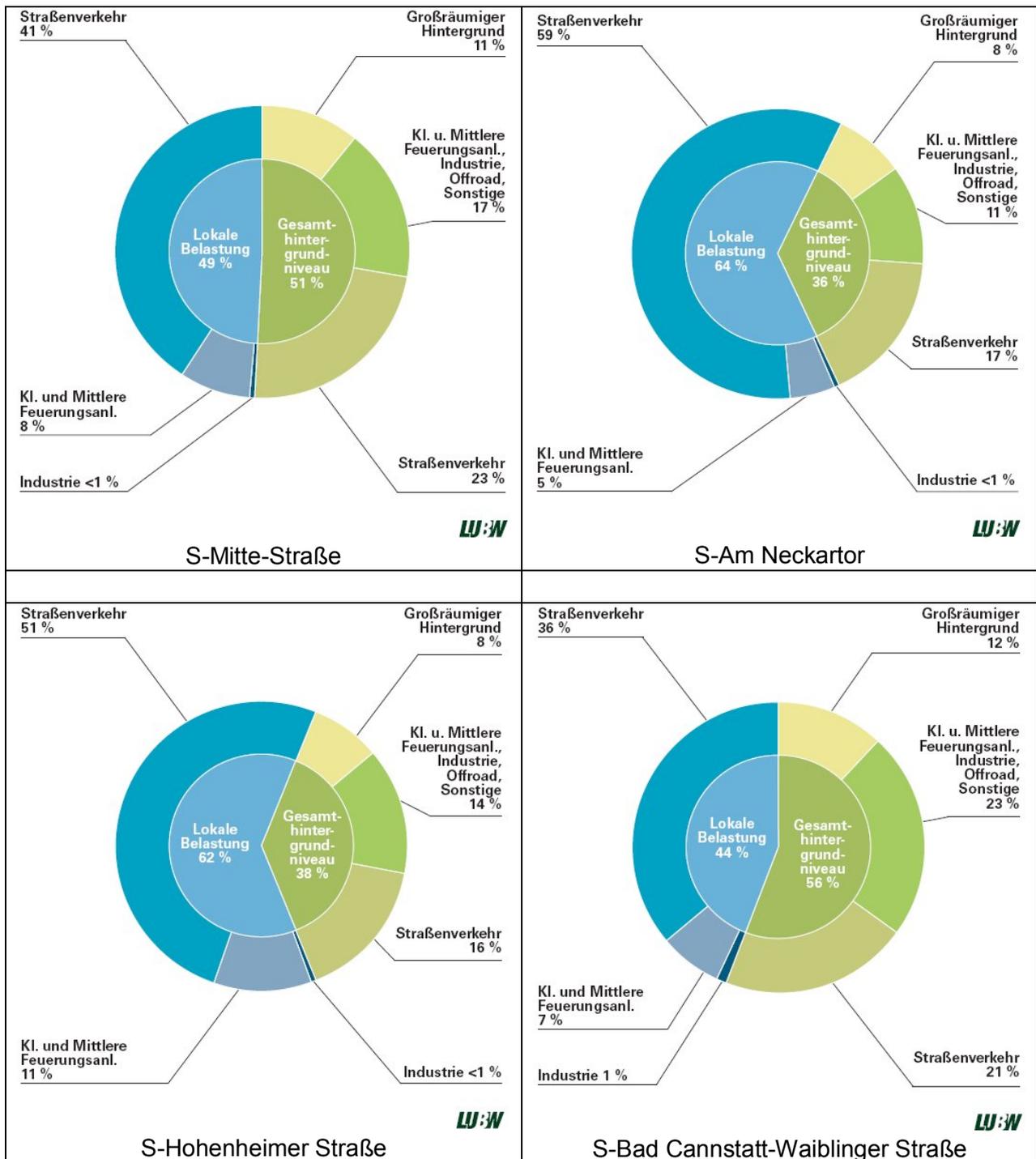


Abb. 4.11: Ursachenanalyse 2008 für NO₂ in Prozent an ausgewählten Messstationen (LUBW, 2009)

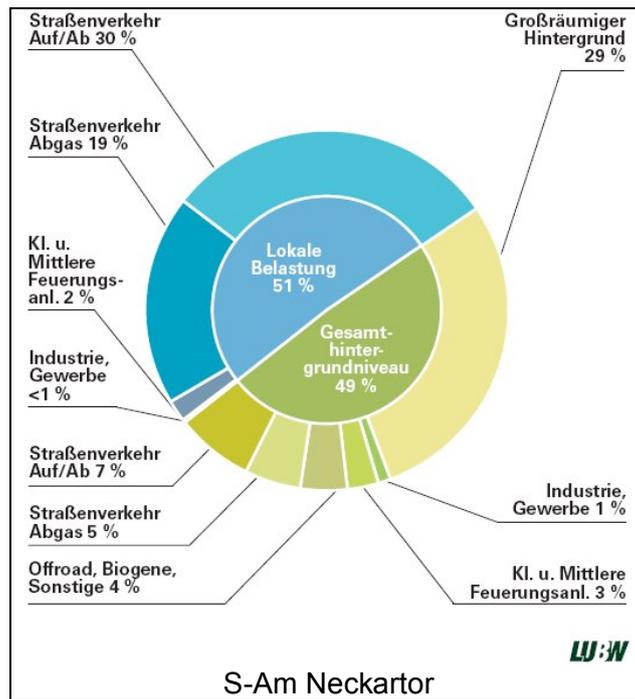


Abb. 4.12: Ursachenanalyse 2008 für PM10 in Prozent an der Messstation S-Am Neckartor (LUBW, 2009)



5 AUSBLICK

Die derzeitige und zukünftige Belastungssituation in Stuttgart muss differenziert nach den verschiedenen Luftschadstoffen betrachtet werden. Im Gegensatz zu der SO₂-, CO- und Benzolbelastung, die heute und aller Voraussicht nach auch zukünftig als niedrig eingeschätzt werden können, muss die derzeitige und zukünftige Belastungssituation im Hinblick auf die Stickoxidkonzentrationen (NO und NO₂) sowie die Feinstaubkonzentration als kritisch bewertet werden. Vor allem die stark verkehrsbeeinflussten Bereiche müssen im Bezug auf die Stickoxid- und Feinstaubkonzentration teilweise als hoch belastet bezeichnet werden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf das von Stickoxiden und Feinstaubpartikeln ausgehende gesundheitsgefährdende Potential als problematisch anzusehen.

In Stuttgart konnten die derzeit gültigen Grenzwerte für bestimmte Luftschadstoffe, formuliert in der 39. BImSchV, in den Jahren 2010 und 2011 nicht eingehalten werden. Auch für die kommenden Jahre ist die Einhaltung insbesondere der Grenzwerte für die NO₂-Belastung nicht absehbar. Die von der Stadt Stuttgart beschlossenen Zielwerte für Luftschadstoffe wurden ebenfalls teils deutlich überschritten. Insbesondere die Einhaltung der gesetzlichen Kurzzeitgrenzwerte für Feinstaubpartikel PM₁₀ und NO₂ ist straßenah kurz bis mittelfristig mit den bisher umgesetzten Maßnahmen des in seiner Fortschreibung im Februar 2010 in Kraft getretenen Luftreinhalte-/Aktionsplans nicht erreichbar. Bei den geltenden Langzeitgrenzwerten konnte im Jahr 2011 der Grenzwert für die PM₁₀-Jahresmittelkonzentration erstmalig eingehalten werden. Wie stark dies auf die eingeleiteten Maßnahmen zur Luftreinhaltung oder auf die witterungsbedingte Variabilität der Feinstaubkonzentration zurückzuführen ist, kann derzeit nicht zweifelsfrei geklärt werden und bleibt abzuwarten. Der Grenzwert für die NO₂-Jahresmittelkonzentration wurde 2010 und 2011 an den verkehrsnah gelegenen Messstationen deutlich überschritten. Die

NO₂-Jahresmittelgrenzwertüberschreitungen um teilweise den Faktor 2,5 lassen darauf schließen, dass zur Einhaltung des Grenzwertes noch große Anstrengungen unternommen werden müssen.

Eine Besonderheit zeigt die Entwicklung der Ozonkonzentration. Hier konnte europaweit Anfang der 2000er Jahre ein Rückgang beobachtet werden, welcher sich in den letzten Jahren umkehrt. Die derzeitige europaweite Zunahme der Ozonkonzentrationen wird in Zusammenhang mit der Reduzierung der NO-Konzentrationen gebracht. Da vor allem in den Sommermonaten weniger NO zur Verfügung steht wird weniger Ozon abgebaut, was letztendlich in höheren Ozonkonzentrationen in den Sommermonaten vor allem in städtischen Randlagen resultiert. Ob hier zukünftig verstärkte Probleme mit der Einhaltung der Ozongrenzwerte auftreten, bleibt abzuwarten.

In den kommenden Jahren muss damit gerechnet werden, dass bzgl. der NO₂- und Feinstaubpartikelbelastung auch weiterhin den geltenden gesetzlichen Bestimmungen nicht vollends nachgekommen werden kann. Um der Gesetzgebung zur Luftreinhaltung und deren Zielen zukünftig nachzukommen, müssen die Anstrengungen zur Luftreinhaltung in Stuttgart unvermindert fortgesetzt und intensiviert werden. Die Analyse der zeitlichen Variationen der Luftschadstoffkonzentrationen (Tages- und Wochengänge) insbesondere der Stickoxid- und Feinstaubpartikelkonzentrationen sowie die von der LUBW erstellte Ursachenanalyse zeigen deutlich, dass die problematische Belastungssituation im engen Zusammenhang mit der verkehrlichen Situation in Stuttgart steht. Eine nachhaltige Verbesserung der Luftqualität im gesamten Stadtgebiet kann daher nur über eine deutliche Reduzierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen realisiert werden. Die derzeit umgesetzten Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie beispielsweise das LKW-Durchfahrtsverbot oder die stufenweise Einführung der Stuttgarter



Umweltzone mit der Verschärfung im Januar 2012 müssen als wichtiger Schritt in Richtung einer Verbesserung gesehen werden, sind aber nicht ausreichend, der derzeitigen Gesetzgebung zur Luftreinhaltung nachzukommen. Tempolimits haben sich auf Basis eines Gutachtens (Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesens und Büro Dr. Ing. Lohmeier, Karlsruhe) nicht generell als geeignete Maßnahme zur Reduzierung der Luftbelastung erwiesen. Daher müssen weitere Maßnahmen und Strategien zur Reduzierung verkehrsbedingter Emissionen erarbeitet werden. Beispiele für weitere Maßnahmen wie die Förderung alternativer schadstoffarmer Antriebstechniken, eine Verlagerung des Verkehrs auf den ÖPNV sowie ein verbessertes Parkraummanagement zur Reduzierung des Parksuchverkehrs und eine Erhöhung der Parkgebühren sollten ergriffen oder diskutiert werden. Auch die Einführung einer Citymaut kann, wie am Beispiel der Citymaut in der Stadt London gezeigt, zu

einer Reduktion des Verkehrs und somit zu einer Verbesserung der innerstädtischen Luftqualität führen.

Für die Luftreinhalteplanung ist das Regierungspräsidium Stuttgart zuständig. Die Stadt wird wie in der Vergangenheit die Bemühungen zur Luftreinhaltung unterstützen und ihren Teil zu einer weiteren Verbesserung der Luftqualität beitragen.

Als bedeutendes Mittel bei der Berücksichtigung der Luftreinhaltung und bei der Beurteilung der Luftqualität im Abwägungsprozess bei Stadt- und Bauleitplanungen sowie bei städtischen Verwaltungsentscheidungen haben sich die Stuttgarter Luftqualitätszielwerte erwiesen. Die Zielwerte 2010 müssen daher unter Beibehaltung der im Gemeinderatsbeschluss GRDRs 1421/2003 beschlossenen Zielwerte und erweitert um die Feinstaubmassenkonzentration PM_{2,5} fortgeschrieben werden.



6 WEITERFÜHRENDE LINKS

Aktuelle Information zum Luftreinhalteplan Stuttgart

http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?luft_luftreinhalteplan_stuttgart

Berechnung eines Schadstoffkonzentrationsfeldes für die Innenstadt

http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?luft_onlineschadstoffe_einleitung

Berechnung des aktuellen Windfeldes für Stuttgart

http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_windfeld

Internetauftritt der LUBW

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16131/>

Internetauftritt des UBA

<http://www.umweltbundesamt.de/>

Online Vorhersagen der Luftschadstoffbelastung

<http://www.obsairve.eu/index.php?lang=en>



7 LITERATURVERZEICHNIS

Bäumer, D. und B. Vogel (2007). An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany.

Geophysical Research Letters, 34, L03819, doi:10.1029/2006GL028559.

Dockery, D.W.; Pope, C.A., III (1996). Epidemiology of Acute Health Effects: Summary of Time-Series Studies. In Particles in Our Air. Concentration and Health Effects; Wilson, R., Spengler, J., Eds.; Harvard University. Cambridge, MA; pp 123-148.

Donaldson K, Li XY, MacNee W. (1998). Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury. J Aerosol Sci., Vol 29; pp 553–560.

Kampa M. and E. Castanas (2008). Human health effects of air pollution. Environmental Pollution, Vol. 151 (2); pp 362-367.

Lippmann M, Ito K, Nadas A, Burnett RT (2000). Association of particulate matter components with daily mortality and morbidity in urban populations. Res. Rep. Health Eff. Inst., Vol 2000; pp 5–72.

Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Lunts A, (2002). Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. J. Toxicol Environ Health, Vol 65; pp1531–1543.

Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA, Vol 287; pp 1132–1141.

Wichmann H-E, Spix C, Tuch T, Wolke G, Peters A, Heinrich J, (2000). Daily Mortality and Fine and Ultrafine Particles in Erfurt, Germany. Part I: Role of Particle Number and Particle Mass. Res Rep Health Eff Inst, Vol 98; pp 5–86.

39. BImSchV. (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV). Deutscher Bundestag, Drs 17/1900 vom 02.06.2010.



EG-Richtlinie 96/62/EG (1996): Richtlinie des Rates der Europäischen Union vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 27.11.1996, Nr. L 296/55.

EG-Richtlinie 99/30/EG (1999): Richtlinie des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 29.06.1996, Nr. L 163/41.

EG-Richtlinie 2000/69/EG (2000): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 13.12.2000, Nr. L 313/12 ff.

EG-Richtlinie 2001/81/EG (2001): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 27.11.2001, Nr. L 309/22.

EG-Richtlinie 2002/3/EG (2002): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 09.03.2002, Nr. L 67/14.

EG-Richtlinie 2004/107/EG (2005): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.12.2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 26.01.2005, Nr. L23/3.

EG-Richtlinie 2008/50/EG (2008): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.
Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.06.2008, Nr. L152/1. Die Richtlinie und weitere Informationen sind auf den Internetseiten der Europäischen Union (<http://eur-lex.europa.eu>) oder des Bundesumweltministeriums (www.bmu.de/luftreinhaltung) zu finden.

Europäische Kommission (2009): Entscheidung der Kommission vom 26.11.2009 über die von Deutschland eingereichten Mitteilungen einer Ausnahme von der Verpflichtung zur Anwendung der PM10-Grenzwerte in den Gebieten DEZJXX0007A, DEZJXX0006A, DEZCXX0007A, DEZCXX00070A.



LUBW (1982-2010): Jahresdaten der Messstationen, LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und deren Vorgängerorganisationen.

LUBW (2007): Feinstaub PM10 2006, Entwicklung an den Spotmessstellen, 61-15/2007.
Hrsg.: LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Mai 2007. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

LUBW (2009): Luftreinhalte- / Aktionspläne für Baden-Württemberg, Grundlagenband 2008, 73-01/2009. Hrsg.: LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, August 2009. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

LUBW (2009a): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2006, 73-01/2008.
Hrsg.: LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Juli 2009. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

LUBW (2009-2010): Jahresdaten 2008, Jahresdaten 2009 (soweit vorhanden, Stand 14.06.2010), Monatwerte 2008 S-Zuffenhausen und Spotmessungen 2008 und 2009. Hrsg.: LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Landeshauptstadt Stuttgart (2003): Zielwerte Luft Landeshauptstadt Stuttgart für die Jahre 2005 und 2010, Anlage 4 zur GRDRs 1421/2003.

Landeshauptstadt Stuttgart (2010–2011): Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie. Messdaten der stadteigenen Luftmessstation im Schwabenzentrum 2008 und 2009, www.stadtklima-stuttgart.de