



DIE LUFTQUALITÄT IN STUTTGART 2015 BIS 2021

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ



1 Zusammenfassung.....	5
2 Einleitung.....	7
2.1 Wichtige Luftschadstoffe und ihre Auswirkungen	7
2.2 Quellen der Luftbelastung in der Stadt Stuttgart.....	8
2.3 Maßnahmen zur Minderung der Luftbelastung.....	9
3 Witterungsverlauf	12
3.1 Temperatur.....	15
3.2 Niederschlag.....	24
3.3 Sonnenstrahlung	29
3.4 Windverhältnisse.....	35
3.5 Einfluss der Witterung auf die Luftschadstoffbelastungen	41
4 Lufthygienische Situation	43
4.1 Messstationen	43
4.2 Beurteilungswerte	46
4.3 Lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Stuttgart in den Jahren 2015 bis 2021	48
4.3.1 NO ₂ Belastung.....	48
4.3.2 PM ₁₀ Belastung.....	51
4.3.3 PM _{2,5} Belastung	53
4.3.4 SO ₂ Belastung	53
4.3.5 Benzol	53
4.3.6 CO-Belastung.....	53
4.4 Zeitliche Variationen ausgewählter Luftschadstoffe.....	56
4.4.1 Saisonale Variationen	56
4.4.3 Wochengänge.....	65
5 Feinstaubalarm.....	67
5.1 Feinstaubalarmzeiträume	67
6 Ausblick.....	69
7 WEITERFÜHRENDE LINKS	70
8 LITERATURVERZEICHNIS	71



1 Zusammenfassung

Die Luftqualität in Stuttgart hat sich während der letzten Jahre verbessert. In den Jahren 2015-2021 wurden im Stadtgebiet von Stuttgart die Grenzwerte für Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Benzol deutlich unterschritten.

Hinsichtlich Stickstoffdioxid (NO₂) ist ein Rückgang der Konzentrationen besonderes an den verkehrsnahen Stationen zu erkennen. Zwischen 2019 und 2020 verringerte sich die NO₂-Jahresmittelbelastung an den verkehrsnahen Stationen um 10 -16 µg/m³ (23 - 32%). Der einzuhaltende EU-Jahresgrenzwert für NO₂ von 40 µg/m³ wurde im Jahr 2020 zum ersten Mal an allen verkehrsnahen Stationen eingehalten und nur noch an den temporären Sondermessstellen Pragstraße und Talstraße überschritten. Auch im Jahr 2021 war in Stuttgart ein weiterer Rückgang der NO₂-Belastung zu beobachten, wenngleich dieser Rückgang weniger stark war wie in den Jahren zuvor (6 % bis 9 % zu 2020). Der EU-Jahresgrenzwert für NO₂ wurde an allen Messstationen sowie an den temporären Sondermessstellen eingehalten.

Die Anzahl der NO₂-Überschreitungshäufigkeit hat sich ebenfalls in den letzten Jahren verringert. In den Jahren 2020 und 2021 wurden an den Messstationen der NO₂-Kurzzeitgrenzwert von 200 µg/m³ ebenfalls eingehalten.

Die Feinstaub (PM₁₀)-Belastung zeigt im betrachteten Zeitraum an allen Messstationen in Stuttgart einen Rückgang der Jahresmittelkonzentrationen und der Anzahl der Überschreitungstage. Der für den Feinstaub (PM₁₀) gültige EU-Langzeitgrenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde im betrachteten Zeitraum an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten. Der seit 2010 gültige Feinstaub (PM_{2,5}) EU-Langzeitgrenzwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel wurde an allen Messstationen in Stuttgart, die PM_{2,5} erfassen, ebenfalls eingehalten.

In dem Zeitraum von 2015 bis 2020 ist ein allgemein leicht ansteigender Trend in den jährlichen Ozonkonzentrationen zu beobachten. Die Ozonkonzentrationen (50 µg/m³) sind im Jahr 2020 15% höher als im Jahr 2015 (42 µg/m³). Diese Zunahme kann teilweise auf die Reduzierung der NO-Konzentrationen in der Stadt zurückgeführt werden. In den Jahren 2018-2021 sind Überschreitungen des EU-Grenzwertes (25 zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr) aufgetreten. Im Jahr 2021 (26 Überschreitungen) wurden deutlich weniger Überschreitungstage als im Vorjahr (38 Überschreitungen) registriert. Die Anzahl der Tage mit Überschreitungen hängt stark von den meteorologischen Bedingungen während der Sommermonate ab. Im Jahr 2020 traten verstärkte heiße Sommerwetterbedingungen auf die im Vergleich zum Jahr 2021 die Ozonbildung stark begünstigten.

Die Witterungsbedingungen in den Jahren 2015 bis 2021 waren geprägt von milden Temperaturen, geringen Niederschlagsmengen und einer erhöhten Sonneneinstrahlung. Zwischen den Jahren 2015 bis 2021 wurden an der Messstation der Universität Hohenheim vier der bisher fünf wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen beobachtet. Das bisher wärmste Jahr, das Jahr 2018, war an der Messstation in Hohenheim mit einer Jahresmitteltemperatur von 11,5 °C um 2,2 K wärmer als das langjährige Temperaturmittel des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 in Hohenheim. Der gesamte Zeitraum 2015 bis 2021 war in Hohenheim im Mittel mit ca. 2 K deutlicher wärmer als der klimatologische Referenzzeitraum.

Insgesamt wurde zwischen 2015 und 2021 in Hohenheim nur 87 % der Niederschlagssumme des lokalen langjährigen Mittelwertes der klimatologischen Referenzperiode gemessen. In Hohenheim war das

Jahr 2015 mit nur 68 % der Niederschlagsmenge des Referenzzeitraums das trockenste Jahr. Die Sonnenscheindauer lag in den Jahren 2015 bis 2021 in Hohenheim um 28 % höher als die mittlere Sonnenscheindauer im klimatologischen Referenzzeitraum. Das sonnigste Jahr in Hohenheim war das Jahr 2020 mit 35 % mehr Sonnenscheinstunden gegenüber dem klimatologischen Referenzwert. Informationen zu den Themen Luftqualität und Klima können im Internet unter <http://www.stadtklima-stuttgart.de> abgerufen werden. Aktuelle Messdaten sind sowohl unter <http://www.stadtklima-stuttgart.de> als auch <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de> verfügbar. Weiterführende Links und Literaturhinweise sind in den Kapiteln 7 und 8 aufgelistet.

2 Einleitung

In vorliegender Luftbilanz werden die Ergebnisse zu Luftschadstoffmessungen aus dem LUBW-Messnetz und stadteigenen Messstationen für die Jahre 2015 bis 2021 ausgewertet. Zusätzlich wird der Witterungsverlauf anhand der meteorologischen Messungen der Universität Hohenheim auf dem Universitätsgelände in S-Hohenheim, des Deutschen Wetterdienstes am Schnarrenberg und des Amts für Umweltschutz am Schwabenzentrum dargestellt.

2.1 Wichtige Luftschadstoffe und ihre Auswirkungen

Luftschadstoffe haben schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen und verursachen Umweltprobleme wie globale Erwärmung, saurer Regen, Eutrophierung und hohe Ozonbelastungen.

Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist die Luftverschmutzung nach dem Tabakrauchen die zweithäufigste Todesursache durch nichtübertragbare Krankheiten [1]. Die wichtigsten Luftschadstoffe im Hinblick auf die Risiken für die menschliche Gesundheit sind:

- Feinstaub ($PM_{2,5}$ und PM_{10})
- Stickstoffdioxid (NO_2)
- Ozon

Nach Schätzungen der Europäischen Umweltagentur (EUA) gab es im Jahr 2018, 417000 vorzeitige Todesfälle durch Feinstaubverschmutzung ($PM_{2,5}$). Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) waren im Jahr 2018 für ca. 55000 bzw. 20600 vorzeitige Todesfälle in der EU verantwortlich [2].

PM_{10} und $PM_{2,5}$

Feinstaub (PM) umfasst eine komplexe Mischung aus extrem kleinen Feststoffpartikeln und Flüssigkeitströpfchen, die in der Luft schweben. Die Feinstaubbelastung besteht aus einer Vielzahl von Komponenten, darunter Nitrate, Sulfate, organische Chemikalien, Metalle, Boden- oder Staubpartikel und Pollen.

Feinstaub wird nach seiner Größe oft in zwei Hauptgruppen eingeteilt:

- Die Grobfraction enthält die größeren Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 bis 10 μm (PM_{10}).
- Die Feinfraction enthält die kleineren mit einer Größe bis 2,5 μm ($PM_{2,5}$). Die Partikel der Feinfraction, die kleiner als 0,1 μm sind, werden als ultrafeine Partikel bezeichnet.

Wissenschaftliche Erkenntnisse zu Feinstaub in der Luft und seinen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zeigen deutliche gesundheitliche Risiken insbesondere für Menschen, die hohen Expositionen ausgesetzt sind (z.B. die städtische Bevölkerung in stark belasteten Bereichen).

Zahlreiche Studien zeigen gesundheitliche Risiken bei einer Exposition von kurzfristig stark erhöhten Luftschadstoffbelastungen als auch bei erhöhten Langzeitbelastungen. Das Spektrum der gesundheitlichen Auswirkungen ist breit, besonders hervorzuheben sind Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislauf-Systems.

NO₂

Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffmonoxid (NO) werden zusammen als Stickoxide (NO_x) bezeichnet. Aus lufthygienischer Sicht sind in erster Linie die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) von Bedeutung. Stickoxide entstehen bei der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe. Sie werden hauptsächlich als NO emittiert; in der Atmosphäre wird NO relativ schnell in NO₂ umgewandelt. Die Oxidation von Stickstoffmonoxid durch atmosphärische Oxidationsmittel wie Ozon erfolgt sehr schnell und auch bei geringen Konzentrationen in der Atmosphäre. Stickoxide tragen auch zur Entstehung von saurem Regen bei und sind mitverantwortlich für die Überdüngung der Ökosysteme. NO_x spielt auch eine zentrale Rolle bei der Bildung von bodennahem Ozon (O₃).

Ozon

Ozon (O₃) ist ein sogenannter Sekundärluftschadstoff, d. h. Ozon wird nicht, wie andere Luftschadstoffe, direkt emittiert, sondern wird in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen unter Einwirkung der Sonneneinstrahlung erzeugt (photochemische Reaktion). Zu den Vorläufersubstanzen gehören NO_x und leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC), z. B. Lösungsmittel. Da die Abgase des Kfz-Verkehrs sowohl NO_x als auch leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe enthalten, haben diese in Stuttgart einen großen Einfluss auf die Ozonbildung. Ozon kann die Atemwege und Augen reizen, insbesondere wenn es an sonnigen und heißen Tagen zu erhöhten Ozonwerten kommen kann.

2.2 Quellen der Luftbelastung in der Stadt Stuttgart

Die Luftverschmutzung in Stuttgart setzt sich zusammen aus lokalen Emissionen und der Hintergrundbelastung. Die wichtigsten Quellen der Luftbelastung in der Stadt Stuttgart sind entsprechend dem Emissionskataster Baden-Württemberg (2018) [3] biogene Systeme, Industrie und Gewerbe, kleine und mittlere Feuerungsanlagen, sonstige technische Einrichtungen und v.a. der Verkehr. Der Verkehr zählt zu den Hauptquellen von Luftschadstoffen in der Stadt Stuttgart.

Ursachenanalyse an der Messstelle Am Neckartor

Eine detaillierte Analyse der Messstelle Stuttgart Am Neckartor zeigt, dass 24 % der Feinstaubbelastung aus dem städtischen Hintergrund stammt. Während lediglich 8 % der NO₂-Belastung auf den städtischen Hintergrund zurückgeführt werden können. Die folgende Abbildung 2.1 zeigt die Ursachenanalyse der LUBW für PM₁₀ (Bezugsjahr 2016) und NO₂ (Bezugsjahr 2018).

Der Straßenverkehr ist die Hauptquelle für beide Luftschadstoffe. Bei der PM₁₀-Belastung verkehrsnaher Standorte beträgt der Anteil des Straßenverkehrs 65% (9% direkt Abgasemissionen und 56% Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb) an der gesamten PM₁₀-Belastung. Die Emissionen aus kleinen und mittleren Feuerungsanlagen tragen 7% zur PM₁₀-Belastung bei. Die Industrie verursacht weniger als 2% der Belastung und 3% der Feinstaubbelastung stammen aus Offroad-Verkehr, biogenen Systemen und sonstigen technischen Einrichtungen [4]. Bei der NO₂-Belastung an verkehrsnahen Standorten in Stuttgart tragen die Emissionen des Straßenverkehrs zu ca. 75% zur NO₂-Gesamtbelastung bei. Der Anteil der Quellengruppe kleine und mittlere beträgt 11 %. Die Quellengruppen Industrie, Off-

road-Verkehr und sonstige technische Einrichtungen, verursachen insgesamt 6% der NO₂-Belastung [5].

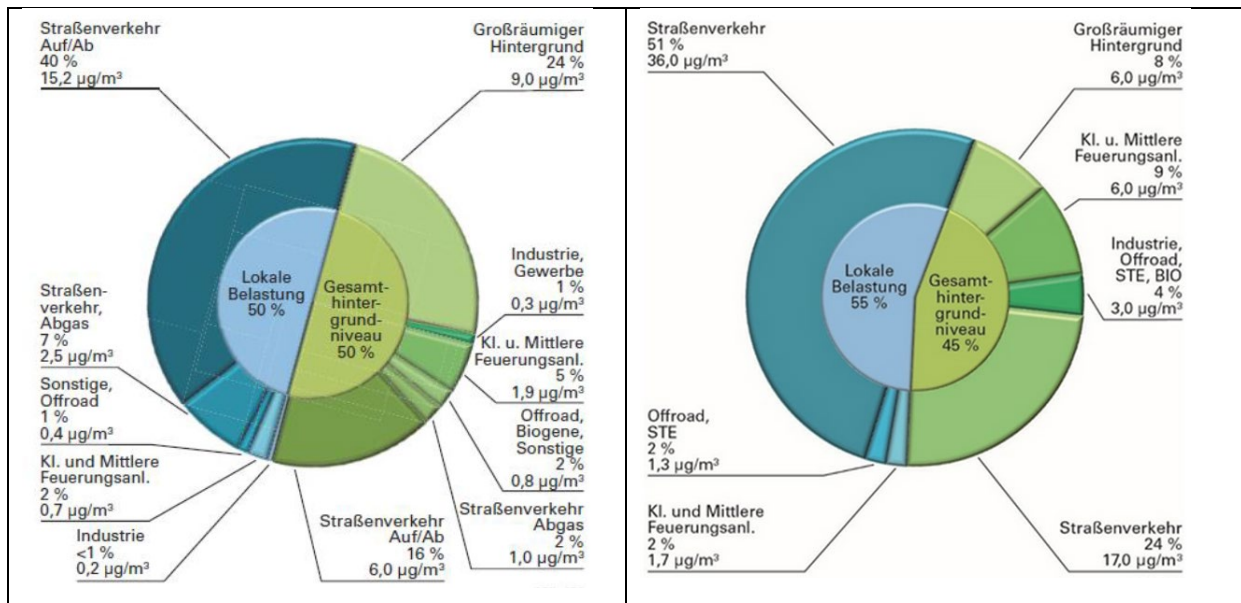


Abbildung 2.1: Ursachenanalyse von PM₁₀ (links) und NO₂ (rechts) für die Spotmessstelle Am Neckartor (Quelle: Abbildungen LUBW)

2.3 Maßnahmen zur Minderung der Luftbelastung

In der Landeshauptstadt Stuttgart wurden in den letzten Jahren zahlreiche Maßnahmen umgesetzt, um die Schadstoffsituation der Stuttgarter Luft zu verbessern.

Der erste Luftreinhalteplan für das Stadtgebiet wurde im Jahr 2005 erstellt. Ziel war, die PM₁₀- und NO₂-Konzentrationen in besonders hoch belasteten Bereichen zu reduzieren. Der Luftreinhalteplan enthält mehr als 30 Maßnahmen u. a. Lkw-Durchfahrtsverbot, Fahrverbote für verschiedenen Abgasstufen, Geschwindigkeitsbeschränkungen. Diese Maßnahmen reichten jedoch nicht aus, um die Immissionsgrenzwerte für PM₁₀ und NO₂ einzuhalten. Daher wurde der Luftreinhalteplan in den Jahren 2010 bis 2014 fortgeschrieben. Mit der 1. und 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans wurden zusätzliche Maßnahmen zur Minderung der PM₁₀- und NO₂-Belastung eingeführt.

Die umgesetzten Maßnahmen zeigten Wirkung und die Luftschadstoffbelastungen in Stuttgart sind erkennbar zurückgegangen. Der PM₁₀-Tagesgrenzwert von 50 µg/m³ wurde an der Station Am Neckartor seit 2018 und an den anderen Stationen bereits seit 2012 eingehalten.

Der NO₂-Grenzwert wurde in Stuttgart jedoch weiterhin überschritten. Der zunächst vorrangig auf die Reduzierung der Feinstaubbelastung zielende Luftreinhalteplan wurde deshalb erneut fortgeschrieben und um weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Stickoxidbelastung ergänzt. Die 3. und 4. Fortschreibungen des Luftreinhalteplans enthalten Maßnahmen wie z. B. ein Verkehrsverbot für Dieselfahrzeuge unterhalb der Abgasnorm Euro 5/V, der Aufbau von Filtersäulen Am Neckartor, den Feinstaubalarm, die Straßennassreinigung, Sonderstreifen für den Busverkehr, Einzelstreckenverkehrsverbote für Die-

sel-Pkw < Euro 6, Geschwindigkeitsbeschränkung auf 40 km/h. Im Jahr 2020 wurde die 5. Fortschreibung und bisher letzte Fortschreibung veröffentlicht. Im Jahr 2020 wurde die 5. Fortschreibung und bisher letzte Fortschreibung veröffentlicht. Die letzte Fortschreibung enthält als Maßnahme ein Verkehrsverbot für Kraftfahrzeuge mit Dieselmotor unterhalb der Euronorm 6/VI in der kleinen Umweltzone Stuttgart.

In Abbildungen 2.2 und 2.3 sind die wichtigsten Maßnahmen, die im Luftreinhalteplan erhalten sind, dargestellt.

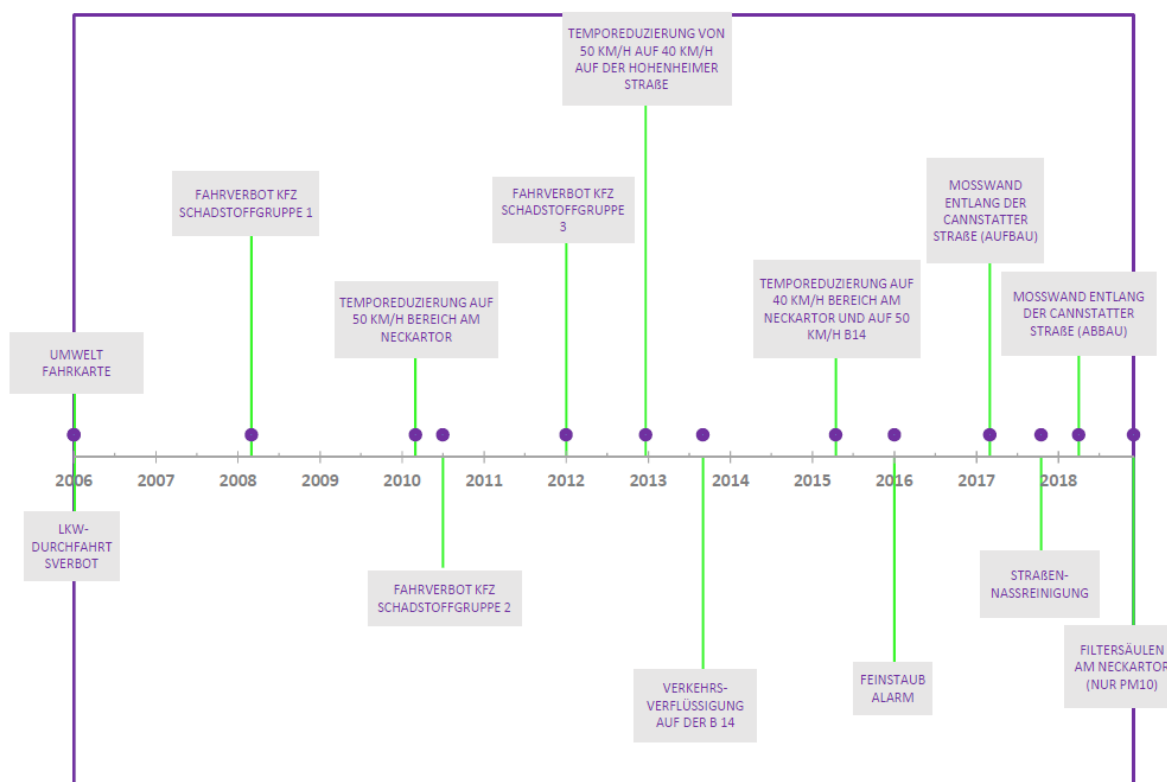


Abbildung 2.2: Überblick der wichtigsten Maßnahmen der 1. und 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans

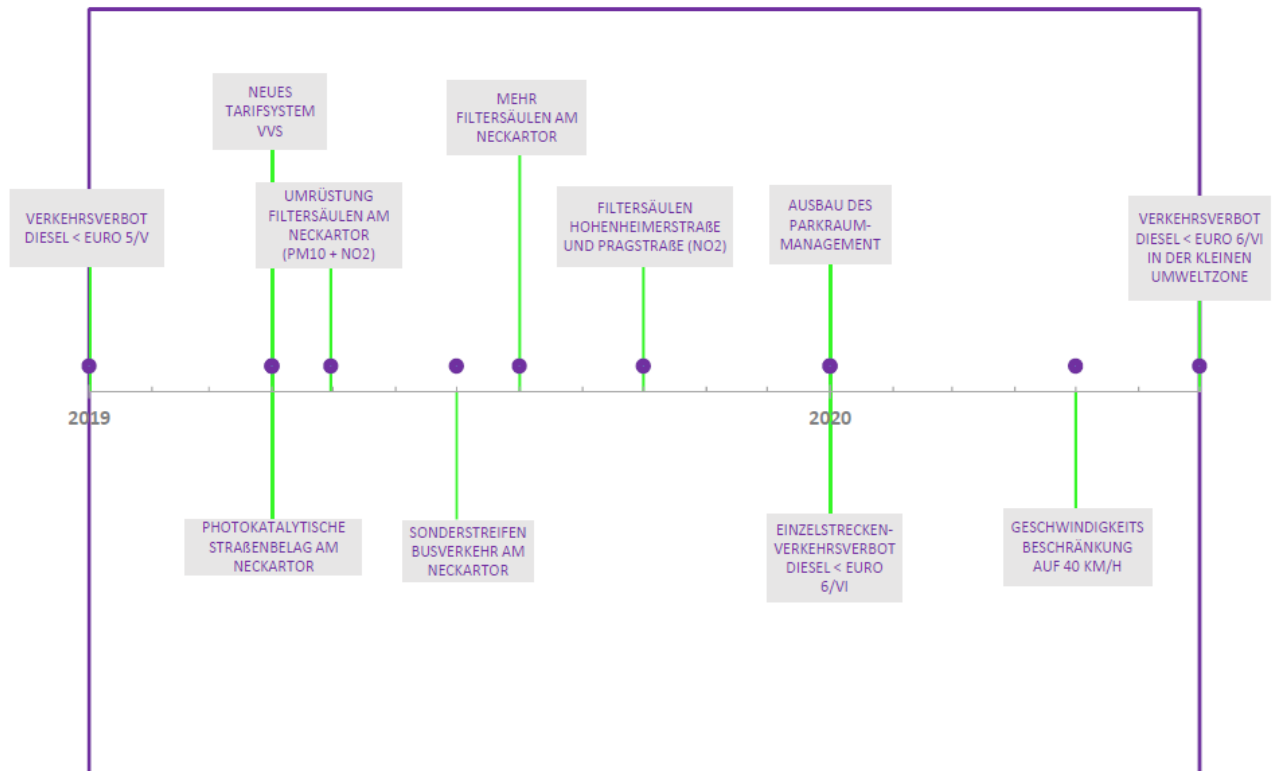


Abbildung 2.3: Überblick der wichtigsten Maßnahmen der 3., 4. und 5. Fortschreibung des Luftreinhalteplans

3 Witterungsverlauf

Die meteorologischen Umgebungsbedingungen beeinflussen die atmosphärischen Schadstoffkonzentrationen maßgeblich. Belastungssituationen mit hohen Luftschadstoffkonzentrationen treten vermehrt während speziellen Witterungsbedingungen, den sogenannten Inversionswetterlagen oder austauscharmen Wetterlagen, in den Wintermonaten auf. Der Witterungsverlauf hat neben seiner bioklimatischen Bedeutung somit auch eine große Bedeutung für die Belastungssituation. Insbesondere der Transport von Luftschadstoffen sowie der Austausch zwischen belasteten und unbelasteten Luftmassen werden durch die meteorologischen Bedingungen bestimmt. Hierfür sind vor allem die Windsituation und die atmosphärische Stabilität für einen An- oder Abtransport von Luftschadstoffen oder die lokale Ansammlung oder Verdünnung von Luftschadstoffen entscheidend.

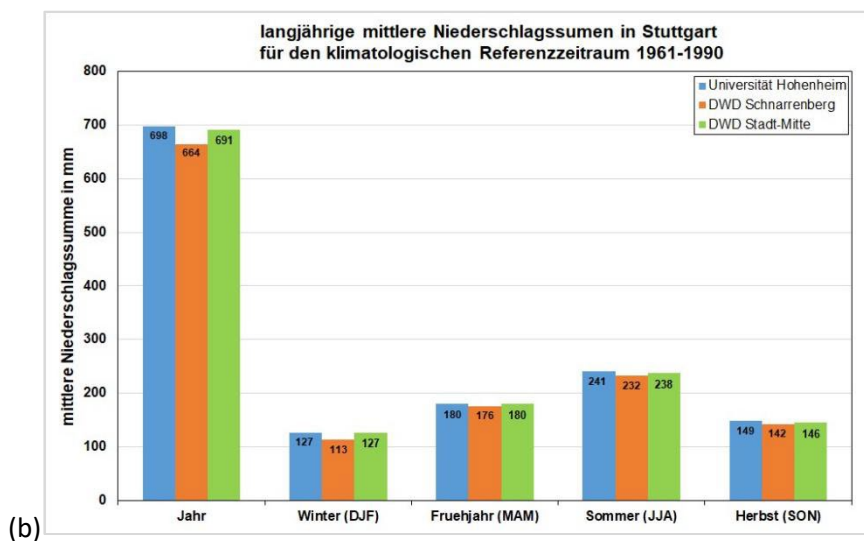
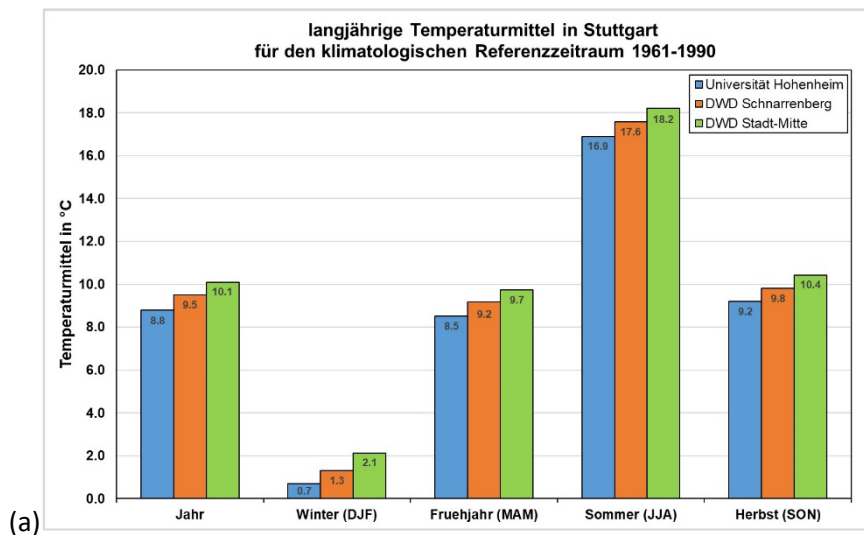
Weiter können durch Niederschlagsereignisse Luftschadstoffe aus der Atmosphäre ausgewaschen werden. Auch die Sonnenstrahlung beeinflusst die Belastungssituation durch ihr Einwirken auf bestimmte effektive photokatalytische chemische Reaktionen, wie beispielsweise die Ozonbildung. So sind oftmals in den Sommermonaten besonders an warmen strahlungsreichen Tagen hohe Ozonbelastungen zu beobachten.

Im Folgenden wird der Witterungsverlauf in Stuttgart für die Jahre 2015 und 2021 anhand der meteorologischen Messungen der Universität Hohenheim auf dem Universitätsgelände in S-Hohenheim, des Deutschen Wetterdienstes am Schnarrenberg und des Amts für Umweltschutz am Schwabenzentrum dargestellt. Die in der Auswertung verwendeten Daten wurden vom meteorologischen Institut der Universität Hohenheim, dem Deutschen Wetterdienst und dem Amt für Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

Zur klimatischen Einordnung werden die meteorologischen Größen Temperatur, Niederschlagsmenge und die Sonnenstrahlung für die Jahre 2015 bis 2021 mit den lokalen langjährigen Mitteln für den Zeitraum 1961 bis 1990 verglichen. Um die unterschiedlichen topographischen Lagen sowie städtebaulichen Umgebungsbedingungen der einzelnen Messstationen zu berücksichtigen, wurden die langjährigen Mittel der Universität Hohenheim und des Deutschen Wetterdienstes für die Stationen Schnarrenberg und Stadtmitte verwendet. Für eine standardisierte Beurteilung klimatischer Veränderungen wird vom Deutschen Wetterdienst (DWD) der Zeitraum 1961 bis 1990 als Vergleichszeitraum empfohlen. Die lokalen langjährigen Mittel für die Stadtgebiete S-Hohenheim, S-Stadtmitte und den Schnarrenberg sind in Abbildung 3.1 dargestellt und in Tabelle 1 aufgelistet. In Tabelle 2 sind die mittleren Anzahlen von Sommertagen, heißen Tagen, Frost- und Eistagen für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 dargestellt.

Während in den langjährigen Mitteln der Niederschlagsmenge und der Sonnenscheindauer nur geringe Unterschiede im Stadtgebiet von Stuttgart bestehen, variieren die langjährigen Mittel der Lufttemperatur im Stadtgebiet von Stuttgart vergleichsweise stark. Ursache der Temperaturunterschiede sind die vergleichsweise große topographische Gliederung des Stadtgebietes und lokale Unterschiede in den städtischen Strukturen. So nimmt die Temperatur in der Atmosphäre im Allgemeinen mit der Höhe ab. Höhenlagen sind dadurch oft kühler als Tallagen. Zusätzlich werden die Lufttemperaturen durch Wechselwirkungen der Atmosphäre mit den städtischen Oberflächen beeinflusst (städtischer Wärmeineffekt). Dichtbebaute Stadtgebiete mit hohem Versiegelungsgrad weisen höhere Lufttemperaturen auf als locker bebaute Stadtgebiete mit höherem Frei- und Grünflächenanteil. Aufgrund der

Temperaturunterschiede im Stadtgebiet werden auch größere Unterschiede bei den Sommertagen und den Frosttagen beobachtet.



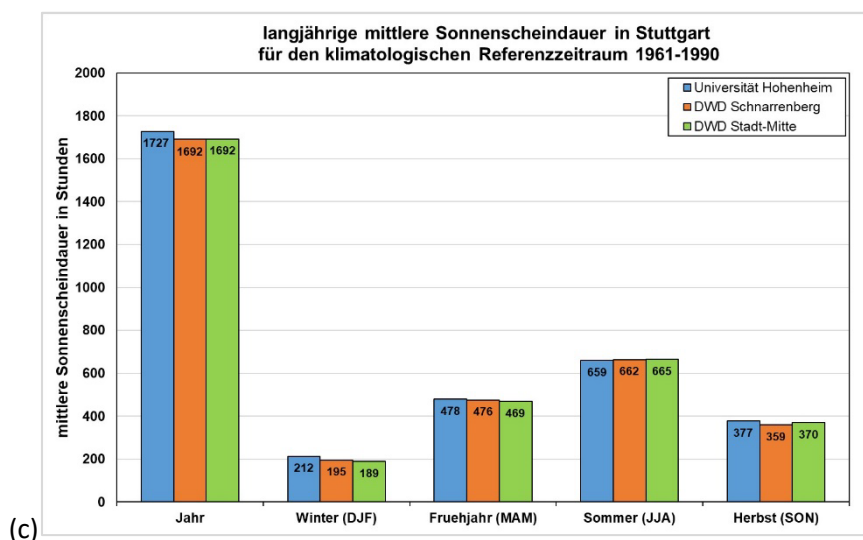


Abbildung 3.1 langjährige Mittel (1961-1990) der Lufttemperatur in 2 m Höhe (a), der Niederschlagsmenge (b) und der Sonnenscheindauer (c) für verschiedene Stadtgebiete von Stuttgart (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst).

Tabelle 1: Langjährige Mittel der Lufttemperatur in °C, der Niederschlagsmenge in mm und der Sonnenscheindauer in h für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 für verschiedene Stadtgebiete von Stuttgart (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie – Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst)

Temperatur langjährige Mittel 1961-1990			
	Universität Hohenheim	DWD Schnarrenberg	DWD Stadt-Mitte
Jahr	8.8	9.5	10.1
Winter (DJF)	0.7	1.3	2.1
Frühjahr (MAM)	8.5	9.2	9.7
Sommer (JJA)	16.9	17.6	18.2
Herbst (SON)	9.2	9.8	10.4

Niederschlagsmenge langjährige Mittel 1961-1990			
	Universität Hohenheim	DWD Schnarrenberg	DWD Stadt-Mitte
Jahr	698	664	691
Winter (DJF)	127	113	127
Frühjahr (MAM)	180	176	180
Sommer (JJA)	241	232	238
Herbst (SON)	149	142	146

Sonnenscheindauer langjährige Mittel 1961-1990			
	Universität Hohenheim	DWD Schnarrenberg	DWD Stadt-Mitte
Jahr	1727	1692	1692
Winter (DJF)	212	195	189
Frühjahr (MAM)	478	476	469
Sommer (JJA)	659	662	665



Herbst (SON)	377	359	370
---------------------	-----	-----	-----

Tabelle 2: Langjährige Mittel der Sommertage, heißen Tage, Frost- und Eistage für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 für verschiedene Stadtgebiete (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst)

DWD Schnarrenberg 1961-1990	Sommertage	heiße Tage	Frosttage	Eistage
Jahr	35	5	76	19
Winter (DJF)	0	0	52	17
Frühjahr (MAM)	3	0.1	13	1
Sommer (JJA)	28	5	0	0
Herbst (SON)	4	0.1	11	1

Uni Hohenheim 1961-1990	Sommertage	heiße Tage	Frosttage	Eistage
Jahr	31	4	87	22
Winter (DJF)	0	0	58	19
Frühjahr (MAM)	2	0.1	15	1
Sommer (JJA)	25	4	0	0
Herbst (SON)	4	0.2	14	2

3.1 Temperatur

In den Jahren 2015 bis 2021 waren die Jahresmitteltemperaturen an den betrachteten Messstationen Universität Hohenheim (Hoh), Schnarrenberg (DWD) und Schwabenzentrum (AfU) höher als die Temperatur des lokalen langjährigen Mittels für den Zeitraum 1961 bis 1990. In Stuttgart wurden im Betrachtungszeitraum eine Häufung besonders warmer Jahre (bezogen auf den Jahresmittelwert) beobachtet. Von den 5 wärmsten bisher in Hohenheim beobachteten Jahresmitteltemperaturen (Start der Wetteraufzeichnung Ende des 19. Jahrhunderts) lagen 4 im betrachteten Zeitraum. Auch bei der nach Jahreszeiten differenzierten Betrachtung der Lufttemperaturen ist festzustellen, dass bis auf das Frühjahr 2021 alle anderen Winter, Frühjahre, Sommer und Herbst in den Jahren 2015 bis 2021 über den jeweiligen saisonalen Mittelwerten des Referenzzeitraums 1961-1990 liegen.

Die mittleren Temperaturen für die einzelnen Jahre und Jahreszeiten des betrachteten Zeitraums sowie die langjährigen Mittelwerte des Referenzzeitraums sind für die ausgewerteten Messstationen in Tabelle 1 aufgelistet.

In Abbildung 3.2 sind die Lufttemperaturen an den Messstationen in Hohenheim, auf dem Schnarrenberg und beim Schwabenzentrum in der Stadtmitte sowie die Abweichungen der Jahresmitteltemperatur zum lokalen langjährigen Mittel der klimatologischen Referenzperiode 1961 -1990 dargestellt. Insgesamt war der Zeitraum 2015 bis 2021 um 1.9 K bis 2.4 K wärmer als im langjährigen Mittel der klimatologischen Referenzperiode (Hohenheim 2,0 K wärmer, Schnarrenberg 1,9 K wärmer, Schwabenzentrum 2,4 K wärmer). Im betrachteten Zeitraum war das Jahr 2018 mit Jahresmitteltemperaturen von 11,5 °C (Hoh), 12,2 °C (DWD) und 13,3 °C (AfU) das wärmste Jahr. Die Abweichung der Jahresmitteltemperatur 2018 zum langjährigen Mittel lag zwischen 2,7 K (Hoh und DWD) und 3,2 K (AfU). Damit war das Jahr 2018 im Jahresmittel an der Messstation der Universität Hohenheim das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Das Jahr 2020 war das bisher zweitwärmste Jahr, das Jahr

2015 das bisher viertwärmste und das Jahr 2019 das 5-wärmste Jahr in Hohenheim seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (drittwärmstes Jahr 2014). Das Jahr 2021 war das kühlsste Jahr im betrachteten Zeitraum mit Jahresmitteltemperaturen von immer noch 0,9 K (DWD) bis 1,6 K (AfU) über dem jeweiligen langjährigen Temperaturmittel (Jahresmittel Hoh 9,9 °C, DWD 10,4 °C, AfU 11,7 °C). An der Messstation in Hohenheim lag im Jahr 2021 die Jahresmitteltemperatur erstmals seit dem Jahr 2013 wieder unter 10°C.

Bei den Abweichungen zu den langjährigen Mitteln bestehen nicht nur unter den Jahren große Unterschiede, sondern auch zwischen den einzelnen Jahreszeiten. Dabei sind die saisonalen Temperaturabweichungen (Abb. 3.3 und 3.4) in den Winter- und Sommermonaten tendenziell höher als in den Frühjahr- und Herbstmonaten.

Entsprechend der saisonalen Betrachtung war der Winter 2015/2016 (jeweils von Dezember bis Februar) im Mittel der wärmste im betrachteten Zeitraum (Wintermitteltemperatur 4,6 °C Hoh bis 6,3 °C AfU). Damit war dieser Winter um bis zu 4,2 °C wärmer als im lokalen langjährigen Mittel. Nur geringfügig kühler war der Winter 2019/2020. Zusammen mit dem Winter 2006/2007 gehören beide Winter zu den mildesten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Hohenheim. Der Winter 2016/2017 war der kälteste Winter im betrachteten Zeitraum mit Mitteltemperaturen von 1,2 °C (Hoh), 1,6 °C (DWD) und 2,9 °C (AfU). Damit war dieser Winter zwischen 0,3 K und 0,8 K wärmer als im lokalen langjährigen Mittel.

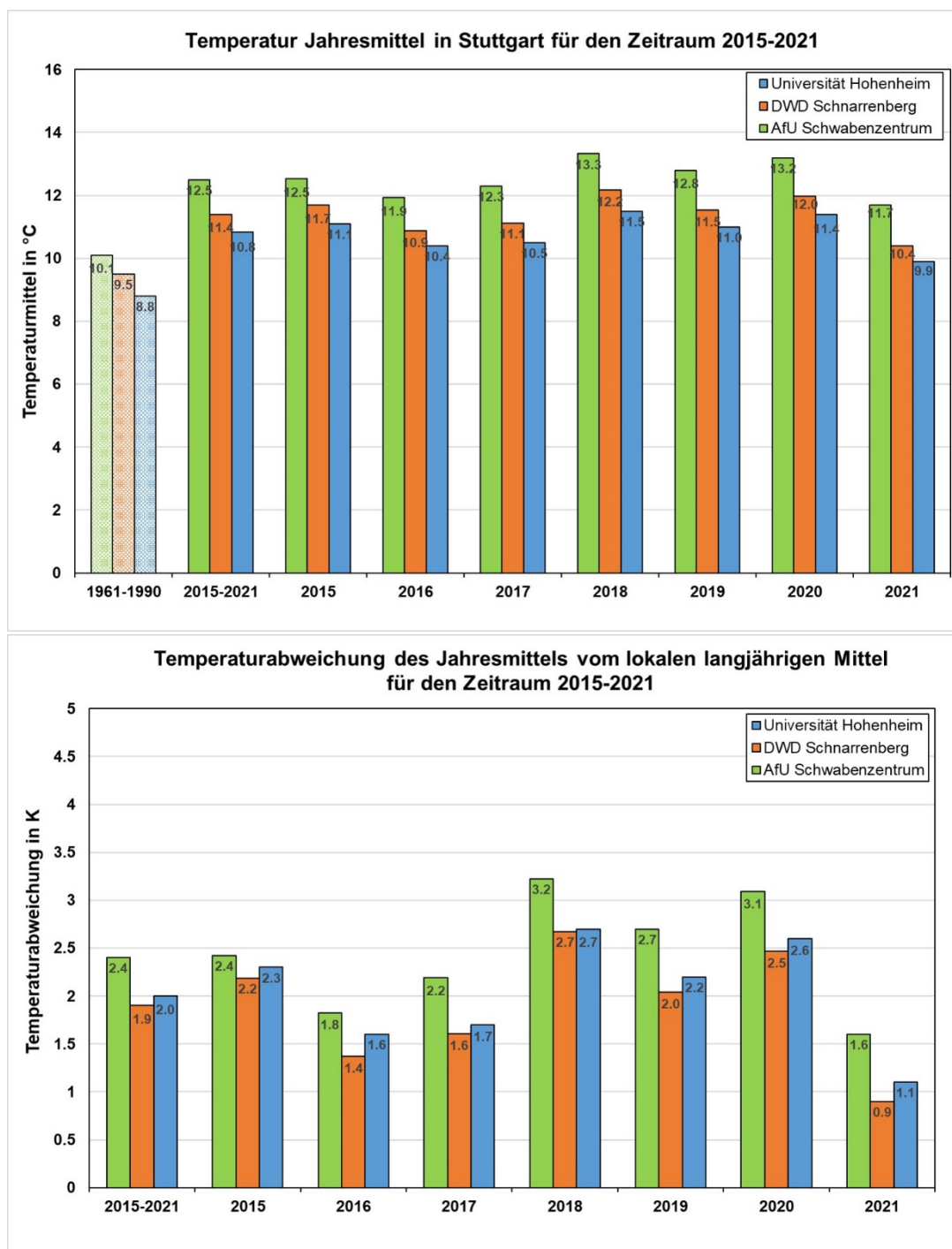


Abbildung 3.2 Jahresmittelwerte (oben) der Temperatur an den Messstationen Universität Hohenheim, Schnarrenberg (DWD) und Schwabenzentrum (Amt für Umweltschutz) für die Jahre 2015 bis 2021.

Abweichung der Jahresmitteltemperatur (unten) vom lokalen langjährigen Mittel (1961-1990) für die Jahre 2015 bis 2021.

An der Messstation Universität Hohenheim wurde die Abweichung zum langjährigen Mittel der Messstation Universität Hohenheim gebildet. An der Messstation Schnarrenberg (DWD) wurde die Abweichung zum langjährigen Mittel der Messstation Schnarrenberg gebildet. An der Messstation Schnarrenberg wurde die Abweichung zum vom DWD angegebenen langjährigen Mittel Stuttgart Stadtmitte gebildet (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

Das Frühjahr (Monate März bis Mai) 2018 war mit Mitteltemperaturen von 11,6 °C (Hoh), 12,1 °C (DWD) und 13,3 °C (AfU) das Wärmste in den Jahren 2015 bis 2020. Die Abweichung zum lokalen langjährigen Mittel erreichte bis zu 3,6 K. Das kälteste Frühjahr im betrachteten Zeitraum wurde im Jahr 2021 mit Frühjahrmitteltemperaturen von 8,1 °C (Hoh), 8,6 °C (DWD), und 9,9 °C (AfU) beobachtet. Damit war das Frühjahr 2021 an den Messstationen in Hohenheim und beim DWD auf dem Schnarrenberg um 0,4 K (Hoh) bzw. 0,6 K (DWD) kälter und an der Messstation im Schwabenzentrum (AfU) um 0,2 K wärmer als die jeweiligen lokalen langjährigen Mittel.

Der Sommer (Monate Juni bis August) 2018 war der wärmste im betrachteten Zeitraum. Die Sommermitteltemperaturen erreichten Werte von 20,5 °C an der Messstation Universität Hohenheim, 21,1 °C an der Messstation auf dem Schnarrenberg beim DWD und 22,2 °C am Schwabenzentrum (AfU). Damit war der Sommer 2018 um 3,5 K bis 4,0 K wärmer als ein Sommer im lokalen langjährigen Mittel. Der kühlsste Sommer der Jahre 2015 bis 2021 war der Sommer 2021 mit Sommermitteltemperaturen von 18,6 °C (Hoh), 19,0 °C (DWD) und 20,2 °C (AfU). Damit war der Sommer 2021 um 1,4 K bis 2,0 K wärmer als ein Sommer im langjährigen Mittel.

Die Herbstmonate (Monate September bis November) waren in 2018 im Mittel am wärmsten im betrachteten Zeitraum mit Herbstmitteltemperaturen von 11,3 °C (Hoh), 11,9 °C (DWD) und 13,0 °C (AfU). Der Herbst 2018 war somit um 2,1 K bis 2,6 K wärmer als ein Herbst im langjährigen Mittel. Der Herbst 2021 war in den Jahren 2015 bis 2021 der kühlsste mit Herbstmitteltemperaturen von 9,9 °C (Hoh), 10,4 °C (DWD) und 11,7 °C (AfU). Die Herbstmitteltemperatur 2021 war damit um 0,6 K bis 1,3 K wärmer als das Herbstmittel der klimatologischen Referenzperiode.

Durch die vergleichsweisen milden Temperaturen in den Jahren 2015 bis 2021 mit teilweise hohen saisonalen Abweichungen zum Referenzzeitraum 1961-1990 sind auch die Anzahl von Sommertagen (Tagen mit einem Temperaturmaximum über 25 °C), heißen Tagen (Tagen mit einem Temperaturmaximum über 30 °C), Frosttagen (Tagen mit einem Temperaturminimum unter 0 °C) und Eistagen (Tagen mit einem Temperaturmaximum unter 0 °C) verändert gegenüber dem Referenzzeitraum. In den Abbildungen 3.5 (a-c) sind die Jahresanzahlen der Sommertage, heißen Tage, Frosttage und Eistage für die Messstationen Universität Hohenheim, DWD Schnarrenberg und Amt für Umweltschutz Schwabenzentrum dargestellt.

Im betrachteten Zeitraum wurde die höchste Anzahl an Sommertagen im Jahr 2018 beobachtet. Mit 84 Sommertagen in S-Hohenheim, 95 Tagen am Schnarrenberg und 114 Tagen an der Messstation Schwabenzentrum lag die Jahresanzahl an Sommertagen in 2018 außergewöhnlich hoch. Somit war an den Messstationen in Hohenheim und auf dem Schnarrenberg fast jeder vierte Tag des Jahres 2018 ein Sommertag mit einer Tagesmaximumtemperatur über 25 °C. An der Messstation im Schwabenzentrum war fast jeder dritte Tag des Jahres 2018 ein Sommertag. An den Messstationen in Hohenheim und auf dem Schnarrenberg wurden in 2018 2,7-mal so viele Sommertage gezählt wie im langjährigen Mittel des klimatologischen Referenzzeitraums. Die niedrigste Anzahl an Sommertagen wurde im Jahr 2021 registriert. In 2021 wurden in Hohenheim 44 Sommertage (1,3-mal so viele Sommertage wie im

langjährigen Mittel), auf dem Schnarrenberg 47 Sommertage (1,3-mal so viele Sommertage wie im langjährigen Mittel) und am Schwabenzentrum 67 Sommertage beobachtet.

Die meisten heißen Tage mit einem Tagesmaximum über 30°C wurden in Hohenheim im Jahr 2015 mit 25 Tagen beobachtet. Das entspricht dem 6-fachen des langjährigen Mittels. An den Messstationen Schnarrenberg und Schwabenzentrum wurden mit 29 (DWD, 6-fache des langjährigen Mittels) und 41 (AfU) die meisten heißen Tage im Jahr 2018 registriert. Die niedrigste Jahresanzahl an heißen Tagen wurde im betrachteten Zeitraum an allen ausgewerteten Messstationen im Jahr 2021 beobachtet (3 Hoh, 4 DWD, 13 AfU). In 2021 wurden somit etwas weniger heiße Tage beobachtet als im langjährigen Mittel.

Die längste Hitzeperiode, dargestellt in Abbildung 3.6 (Anzahl von aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmaximumtemperatur über 30°C), wurde in Stuttgart im Zeitraum 2015 bis 2020 im Jahr 2018 beobachtet, wo in der Stadtmitte beim Schwabenzentrum und auf dem Schnarrenberg beim DWD an 9 aufeinanderfolgenden Tagen eine Tagesmaximaltemperatur von über 30°C gemessen wurde.

Die höchste Jahresanzahl an Frosttagen mit einem Tagesmaximum unter 0°C wurde in Hohenheim und auf dem Schnarrenberg im Jahr 2017 beobachtet (74 Hoh und 60 DWD). Am Schwabenzentrum wurde mit 36 Tagen in 2018 die höchste Jahresanzahl an Frosttagen im Untersuchungszeitraum registriert. Die wenigsten Frosttage wurden in Hohenheim im Jahr 2016 (47 Tage, 55% des langjährigen Mittels im Referenzzeitraum) und auf dem Schnarrenberg (47 Tage, 60% des langjährigen Mittels im Referenzzeitraum) sowie am Schwabenzentrum (22 Tage) in 2020 beobachtet.

Im Zeitraum 2015 bis 2021 wurde in Stuttgart die längste frostfreie Periode, dargestellt in Abbildung 3.7 (aufeinanderfolgende Tage mit einer Tagesminimumtemperatur größer 0 °C), an den Messstationen in Hohenheim und beim DWD auf dem Schnarrenberg im Jahr 2018 beobachtet (Hohenheim 237 frostfreie Tage, Schnarrenberg 236 frostfreie Tage). In der Stadtmitte am Schwabenzentrum wurde die längste frostfreie Periode im Jahr 2019 mit 281 frostfreien Tagen beobachtet. Die kürzeste frostfreie Periode in Stuttgart wurde an der Messstation in Hohenheim im Jahr 2016 mit 189 frostfreien Tagen und an den Messstationen beim DWD auf dem Schnarrenberg und in der Stadtmitte beim Schwabenzentrum im Jahr 2017 mit 203 Tagen bzw. 208 Tagen registriert.

Die höchste Jahresanzahl an Eistagen mit einem Tagesminimum unter 0°C wurde an allen ausgewerteten Messstation im Jahr 2017 erreicht (13 Eistage Hoh, 15 Eistage DWD und 9 Eistage AfU). Die niedrigste Anzahl an Eistagen mit einer Tagesmaximumtemperatur unter 0 °C wurde in Stuttgart im Jahr 2020 beobachtet. An den Messstationen der Universität Hohenheim und dem Amt für Umweltschutz am Schwabenzentrum wurde im gesamten Jahr 2020 kein Eistag erfasst. Beim Deutschen Wetterdienst auf dem Schnarrenberg wurde in 2020 lediglich 1 Eistag registriert.

Die längste Dauerfrostperiode in Stuttgart (Abbildung 3.6, aufeinanderfolgende Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur unter 0 °C) wurde an den Messstationen beim DWD auf dem Schnarrenberg und der AfU Messstation in der Stadtmitte beim Schwabenzentrum im Jahr 2018 mit 4 Eistagen in Folge bzw. 6 Eistagen beobachtet. In den Jahren 2015, 2019 und 2020 wurden in Stuttgart in der Stadtmitte keine Dauerfrostperioden registriert (teilweise nur einzelne Eistage). Beim DWD auf dem Schnarrenberg wurden im Jahr 2020 keine Dauerfrostperioden beobachtet (nur einzelne Eistage).

Tabelle 2: Temperaturmittelwerte für die Messstationen DWD Schnarrenberg, Uni Hohenheim und AfU Schwabenzentrum und Abweichung vom lokalen langjährigen Mittelwert des Referenzzeitraums 1961-1990 (Daten: Deutscher Wetterdienst, Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim, Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart)

	DWD Schnarrenberg		Universität Hohenheim		AfU Schwabenzentrum	
	T-Mittel in °C	Abw. in K DWD Schnarrenberg	T-Mittel in °C	Abw in K Uni. Hohenheim	T-Mittel in °C	Abw. in K DWD Stadtmitte
Jahr 2015	11.7	2.2	11.1	2.3	12.5	2.4
Jahr 2016	10.9	1.4	10.4	1.6	11.9	1.8
Jahr 2017	11.1	1.6	10.5	1.7	12.3	2.2
Jahr 2018	12.2	2.7	11.5	2.7	13.3	3.2
Jahr 2019	11.5	2.0	11.0	2.2	12.8	2.7
Jahr 2020	12.0	2.5	11.4	2.6	13.2	3.1
Jahr 2021	10.4	0.9	9.9	1.1	11.7	1.6
2015-2021	11.4	1.9	10.8	2.0	12.5	2.4
Winter 2014/2015	2.9	1.6	2.2	1.5	3.9	1.8
Frühjahr 2015	10.8	1.6	10.3	1.8	11.8	2.7
Sommer 2015	21.0	3.4	20.4	3.5	21.7	3.5
Herbst 2015	10.8	1.0	10.4	1.2	11.8	1.4
Winter 2015/2016	5.2	3.9	4.6	3.9	6.3	4.2
Frühjahr 2016	9.6	0.4	9.1	0.6	10.6	0.9
Sommer 2016	19.4	1.8	19	2.1	20.5	2.3
Herbst 2016	10.9	1.1	10.5	1.3	12	1.6
Winter 2016/2017	1.6	0.3	1.2	0.5	2.9	0.8
Frühjahr 2017	11.3	2.1	10.6	2.1	12.4	2.7
Sommer 2017	20.3	2.7	19.8	2.9	21.5	3.3
Herbst 2017	10.6	0.8	10	0.8	11.7	1.3
Winter 2017/2018	2.9	1.6	2.2	1.5	4.2	2.1
Frühjahr 2018	12.1	2.9	11.6	3.1	13.3	3.6
Sommer 2018	21.1	3.5	20.5	3.6	22.2	4
Herbst 2018	11.9	2.1	11.3	2.1	13	2.6
Winter 2018/2019	3.7	2.4	3.2	2.5	4.9	2.8
Frühjahr 2019	10.4	1.2	9.8	1.3	11.5	1.8
Sommer 2019	20.7	3.1	20.2	3.3	21.9	3.7
Herbst 2019	11.4	1.6	10.8	1.6	12.7	2.3
Winter 2019/2020	5.0	3.7	4.5	3.8	6.3	4.2
Frühjahr 2020	11.3	2.1	10.9	2.4	12.4	2.7
Sommer 2020	20.0	2.4	19.3	2.4	21.1	2.9
Herbst 2020	11.6	1.8	11.1	1.9	12.9	2.5
Winter 2020/2021	3.4	2.1	3.0	2.3	4.9	2.9
Frühjahr 2021	8.6	-0.6	8.1	-0.4	9.9	0.2
Sommer 2021	19.0	1.4	18.6	1.7	20.2	2.0
Herbst 2021	10.4	0.6	9.9	0.7	11.7	1.3

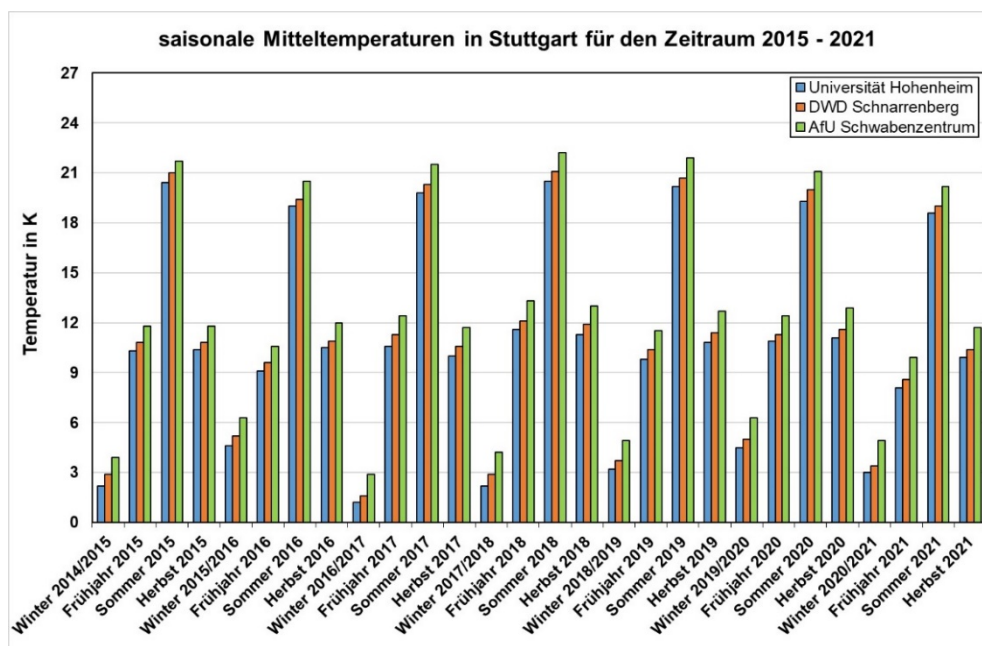


Abbildung 3.3 Saisonale Mitteltemperatur an den Messstationen Universität Hohenheim, Schnarrenberg (DWD) und Schwabenzentrum (Amt für Umweltschutz) für die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

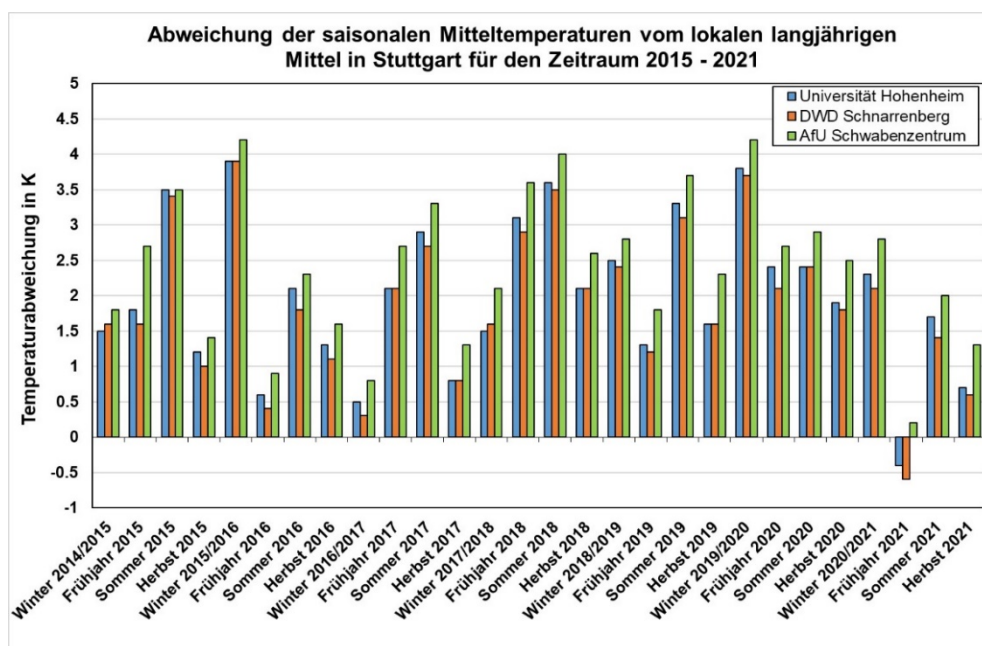


Abbildung 3.4 Abweichung der saisonalen Mitteltemperaturen vom lokalen langjährigen Mittel 1961-1990 für die Jahre (Jahreszeiten) 2015 bis 2021. Für die Messstation in Hohenheim wurde die Abweichung zum langjährigen Mittel der Messstation Universität Hohenheim für die Messstation Schnarrenberg die Abweichung zum langjährigen Mittel der Messstation Schnarrenberg und für die Messstation Schwabenzentrum die Abweichung zum vom DWD angegebenen langjährigen Mittel Stuttgart Stadtmitte berechnet (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

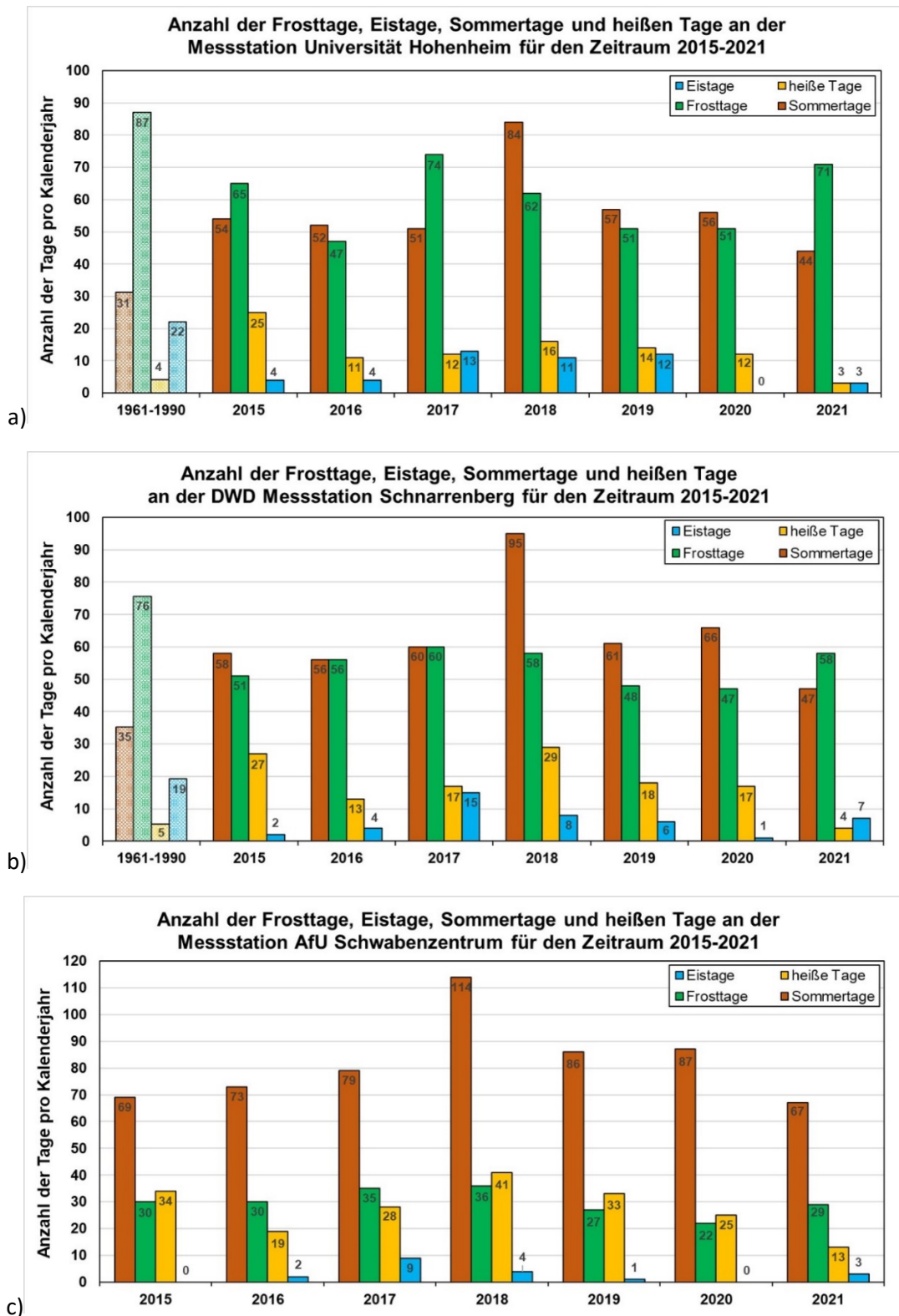


Abbildung 3.5 Jahresanzahl der Sommertage, heißen Tage, Frosttage und Eistage beobachtet an den Messstationen Universität Hohenheim (a), DWD Schnarrenberg (b) und AfU Schwabenzentrum (c) im Zeitraum 2015 bis 2021 und im langjährigen Mittel 1961-1990 (außer Schwabenzentrum) Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst und Amt für Umweltschutz Stuttgart).

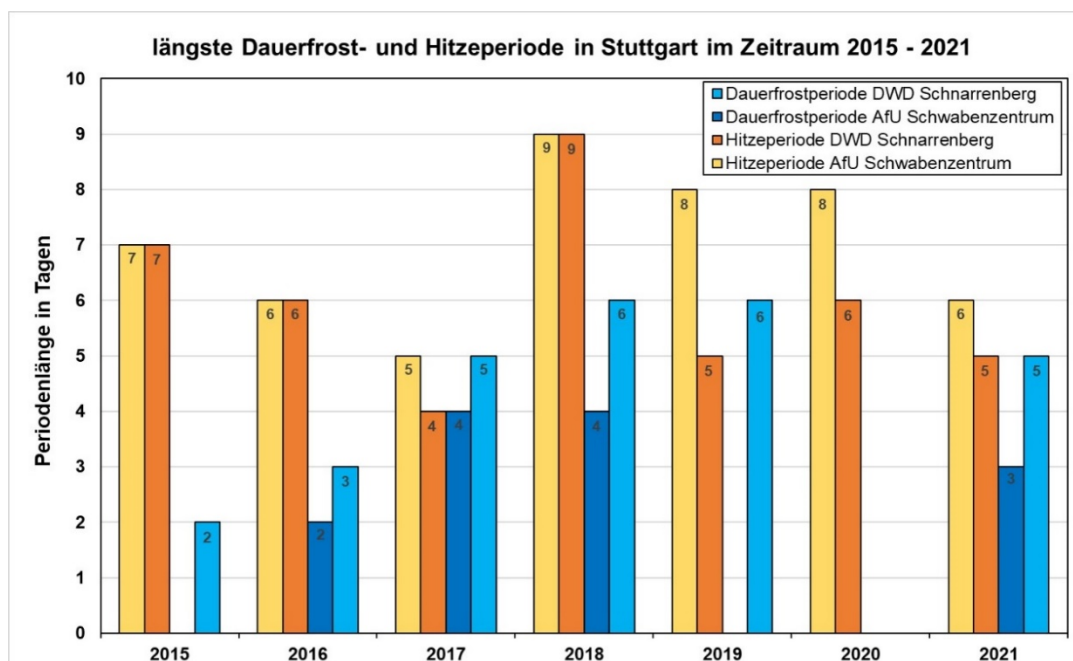


Abbildung 3.6 Längste Dauerfrost- und Hitzeperioden (Anzahl der Tage) an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum Stadtmitte für die Jahre 2015 bis 2021. Eine Dauerfrostperiode ist hier eine Periode in der die Lufttemperatur immer unter 0°C lag (Minimum Periodenlänge 2 Tage). Eine Hitzeperiode ist eine Periode mit Tagen an denen das Tagestemperaturmaximum 30 °C überstieg (Minimum Periodenlänge 2 Tage (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abt. Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

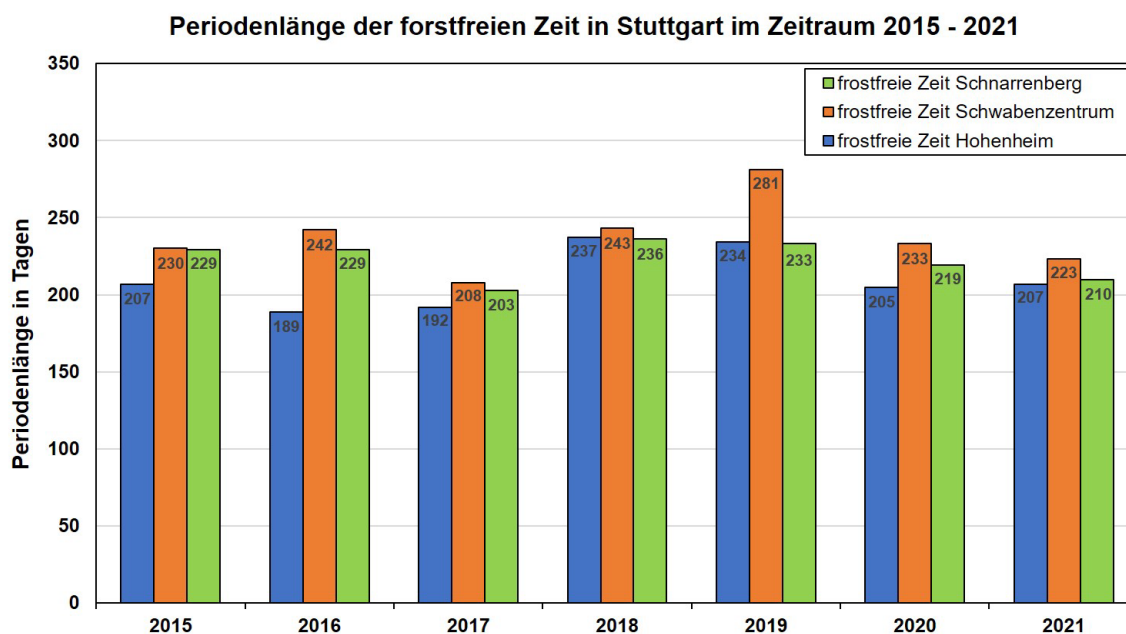


Abbildung 3.7 Dauer der forstfreien Zeit (Anzahl der Tage) für die Jahre 2015 bis 2021 an den Messstationen Universität Hohenheim, DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum Stadtmitte. (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie Universität Hohenheim, Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

3.2 Niederschlag

Für die Auswertungen der Niederschlagssummen werden die Messdaten der Stationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg verwendet. Für die vom Amt für Umweltschutz betriebene Messstation am Schwabenzentrum liegen nicht für den gesamten Zeitraum 2015-2021 Messdaten vor, so dass hier auf eine Auswertung verzichtet wird.

In Abbildung 3.8 sind die Jahresniederschlagssummen und in Abbildung 3.9 die Abweichungen der Jahresniederschlagssummen vom langjährigen Mittel des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 für die Jahre 2015 bis 2021 dargestellt. In Tabelle 3 sind die Jahresniederschlagssummen und die saisonalen Niederschlagssummen in mm und in Prozent vom langjährigen Mittelwert der klimatologischen Referenzperiode aufgelistet.

Insgesamt war der betrachtete Zeitraum 2015-2021 in Stuttgart zu trocken. An der von der Universität Hohenheim betriebenen Messstation in S-Hohenheim wurde zwischen 2015 und 2021 etwa 87 % der Niederschlagssumme entsprechend dem lokalen langjährigen Mittelwert 1961-1990 dieser Station gemessen. Die registrierte Niederschlagssumme 2015 bis 2021 an der Messstation des DWDs auf dem Schnarrenberg erreichte knapp 90 % des lokalen Wertes der klimatologischen Referenzperiode.

Die Jahresniederschlagssummen, die saisonalen Niederschlagssummen sowie deren Abweichungen zur lokalen langjährigen mittleren Niederschlagssumme der klimatologischen Referenzperiode variieren lokal und zeitlich sehr stark. In Stuttgart werden im Sommer die höchsten Niederschlagssummen beobachtet. In den Wintermonaten sind die Niederschlagssummen in Stuttgart am geringsten. Im Winter wird in Stuttgart im Mittel in etwa die Hälfte der Niederschlagssumme der Sommermonate gemessen.

Im betrachteten Zeitraum waren die Jahre 2015 und 2020 an beiden betrachteten Messstationen die trockensten. An der Messstation der Universität Hohenheim wurden Jahresniederschlagssummen in 2015 von 474 mm und in 2020 von 526 mm gemessen. Das entspricht nur 68 % (Jahr 2015) und 75 % (Jahr 2020) der Niederschlagssumme des lokalen langjährigen Mittels der klimatologischen Referenzperiode. An der Messstation des DWDs auf dem Schnarrenberg wurden Jahresniederschlagssummen in 2015 und in 2020 von nur 498 mm gemessen, was 75 % der lokalen mittleren Jahresniederschlagssumme der klimatologischen Referenzperiode entspricht. Das feuchteste Jahr im betrachteten Zeitraum war an der Messstation der Universität Hohenheim das Jahr 2017 mit einer Jahresniederschlagssumme von 718 mm (mit 103 % leicht über dem lokalen Mittel der klimatologischen Referenzperiode). An der Messstation des DWDs auf dem Schnarrenberg war das Jahr 2016 mit einer Jahresniederschlagssumme von 692 mm (104 % der lokalen mittleren Jahresniederschlagssumme des klimatologischen Referenzzeitraums) das feuchteste. Die Anzahl der jährlichen Niederschlagstage (Abbildung 3.10) variiert im Zeitraum 2015 und 2021 an der DWD Messstation auf dem Schnarrenberg zwischen 132 (2015) und 171 (2017). Die längsten Trockenperioden im Zeitraum 2015 bis 2021 wurden in den Jahren 2020 mit 29 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag und in 2017 mit 22 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag beobachtet.

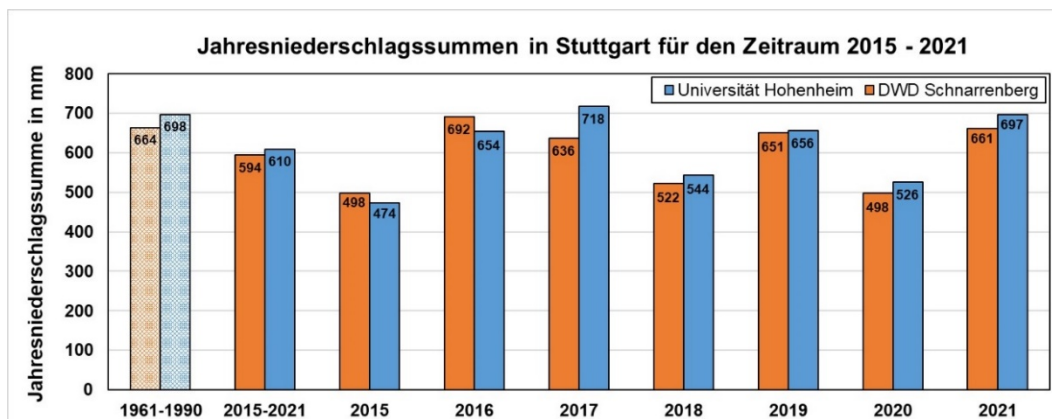


Abbildung 3.8 Jahresniederschlagssummen und mittlere Niederschlagssummen für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

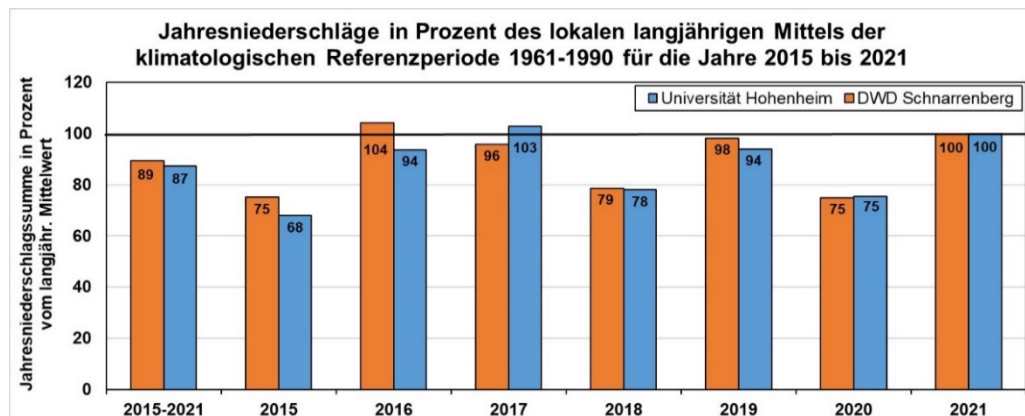


Abbildung 3.9 Abweichung der Jahresniederschlagssummen vom langjährigen Mittel des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

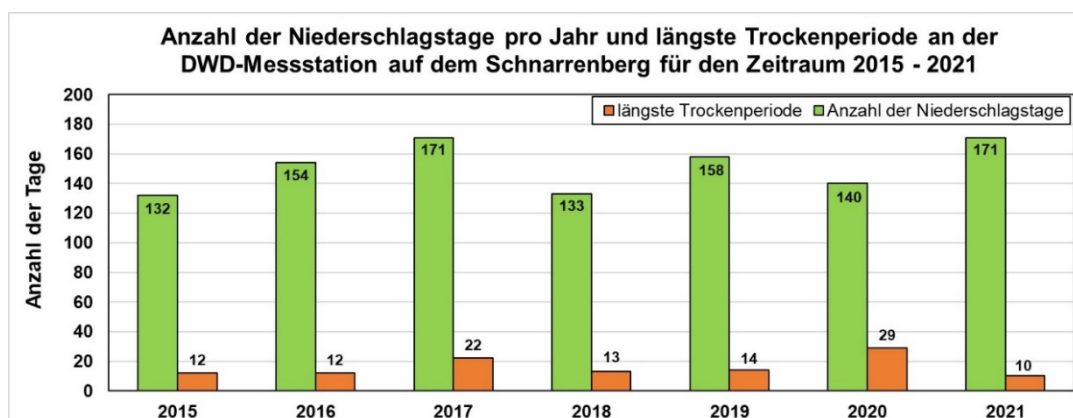


Abbildung 3.10 Jahresanzahl der Niederschlagstage und längste Trockenperiode (Anzahl von zusammenhängenden Tagen ohne Niederschlag) für den Zeitraum 2015 bis 2021 an der Messstation des DWDs auf dem Schnarrenberg (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).

Saisonal betrachtet (Abbildungen 3.11 und 3.12) waren in Stuttgart die Winter im Zeitraum 2015-2021 tendenziell feuchter als ein durchschnittlicher Winter im klimatologischen Referenzzeitraum. Ausnahme ist der Winter 2016/2017, der in Stuttgart deutlich zu trocken war. In Hohenheim wurde im Winter 2016/2017 eine Niederschlagssumme von sehr geringen 47 mm gemessen, was nur 37 % der Winterniederschlagssumme im langjährigen Mittel der klimatologischen Referenzperiode entspricht. Der DWD hat am Schnarrenberg im Winter 2016/2017 eine Niederschlagssumme von 42 mm registriert. Dies entspricht nur 37 % der mittleren Niederschlagssumme des klimatologischen Referenzzeitraums. Die feuchtesten Winter in Stuttgart zwischen 2015 und 2021 waren an der Messstation in Hohenheim der Winter 2019/2020 mit einer Niederschlagssumme von 150 mm (118 % der mittleren Winterniederschlagssumme der klimatologischen Referenzperiode) und an der Messstation des DWDs auf dem Schnarrenberg der Winter 2018/2019 mit einer Niederschlagssumme von 152 mm (135 % der mittleren Winterniederschlagssumme des klimatologischen Referenzzeitraums).

Die Frühjahre im betrachteten Zeitraum waren in Stuttgart mit Ausnahme des Frühjahrs 2019 alle zu trocken im Vergleich zu einem durchschnittlichen Frühjahr im klimatologischen Referenzzeitraum. Besonders trocken war in Stuttgart das Frühjahr 2018. An der Messstation in Hohenheim wurden im Frühjahr 2019 eine Niederschlagssumme von geringen 96 mm gemessen. Dies entspricht nur 53 % der mittleren Frühjahrsniederschlagssumme des Referenzzeitraums. Mit einer Niederschlagssumme von nur 87 mm war das Frühjahr auch an der DWD Messstation auf dem Schnarrenberg deutlich zu trocken (50 % der mittleren Niederschlagssumme eines Frühjahres im klimatologischen Referenzzeitraum). Das feuchteste Frühjahr in Stuttgart zwischen 2015 und 2021 war das Frühjahr 2019. An der Messstation in Hohenheim wurde im Frühjahr 2019 eine Niederschlagssumme von 220 mm gemessen, 22 % über der lokalen mittleren Niederschlagssumme eines Frühjahres im klimatologischen Referenzzeitraum. Beim DWD auf dem Schnarrenberg wurde im Frühjahr 2019 eine Niederschlagssumme von 174 mm registriert, was in etwa der mittleren lokalen Niederschlagssumme eines Frühjahres auf dem Schnarrenberg im klimatologischen Referenzzeitraum entspricht (99 %).

Die Sommermonate in Stuttgart zwischen 2015 und 2021 waren außer die Sommer 2016, 2017 und 2021 trockener als ein durchschnittlicher Sommer im klimatologischen Referenzzeitraum. Der trockenste Sommer in Stuttgart war der Sommer 2015. An der Messstation in Hohenheim wurde im Sommer 2015 eine Niederschlagssumme von nur 125 mm gemessen. Auf dem Schnarrenberg an der DWD Messstation wurde im Sommer 2015 eine Niederschlagssumme von 149 mm registriert. Mit 52 % (Hohenheim) und 64 % (Schnarrenberg) der mittleren lokalen Niederschlagssumme eines Sommers im Referenzzeitraum war der Sommer 2015 deutlich zu trocken. Die feuchtesten Sommermonate wurden in Hohenheim und auf dem Schnarrenberg im Jahr 2021 registriert. Die Niederschlagsmenge im Sommer 2021 erreichte in Hohenheim 332 mm und auf dem Schnarrenberg 309 mm, was 137 % (Hoh) und 133 (DWD) der mittleren lokalen Niederschlagsmenge eines Sommers der klimatologischen Referenzperiode entspricht.

Bis auf den Herbst 2017 waren in Stuttgart alle Herbstzeiträume zwischen 2015 und 2020 trockener als ein durchschnittlicher Herbst im klimatologischen Referenzzeitraum. Der trockenste Herbst wurde in Stuttgart im Jahr 2018 beobachtet. An der Messstation in Hohenheim lag die Niederschlagssumme im Herbst 2018 mit 90 mm bei nur 60 % des Herbstsummenmittels im klimatologischen Referenzzeitraum. Auf dem Schnarrenberg wurde vom DWD für den Herbst 2018 eine Niederschlagssumme von geringen 71 mm gemessen, was nur 50 % der Niederschlagssumme eines durchschnittlichen Herbstes im klimatologischen Referenzzeitraum entspricht. Die höchsten Niederschlagssummen der Herbstsaisons wurden im Herbst 2017 mit 183 mm an der Messstation in Hohenheim und mit 188 mm an der

Messstation auf dem Schnarrenberg beobachtet. Der Herbst 2017 war damit in Hohenheim um 23 % niederschlagsreicher und auf dem Schnarrenberg um 33 % niederschlagsreicher als ein durchschnittlicher Herbst im lokalen langjährigen klimatologischen Mittel.

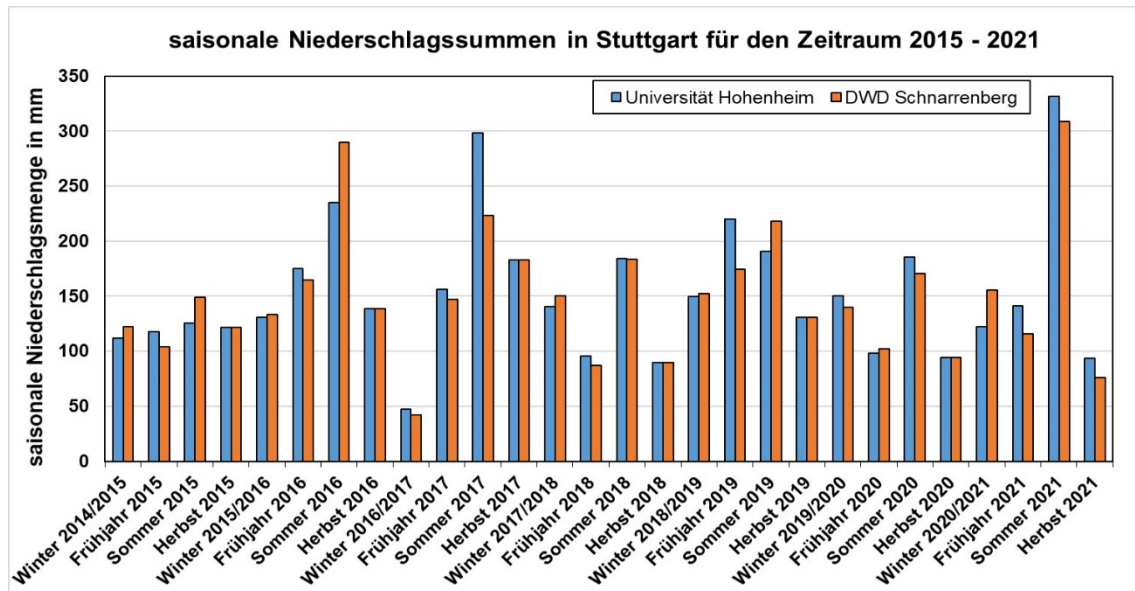


Abbildung 3.11 Saisonale Niederschlagsmengen an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

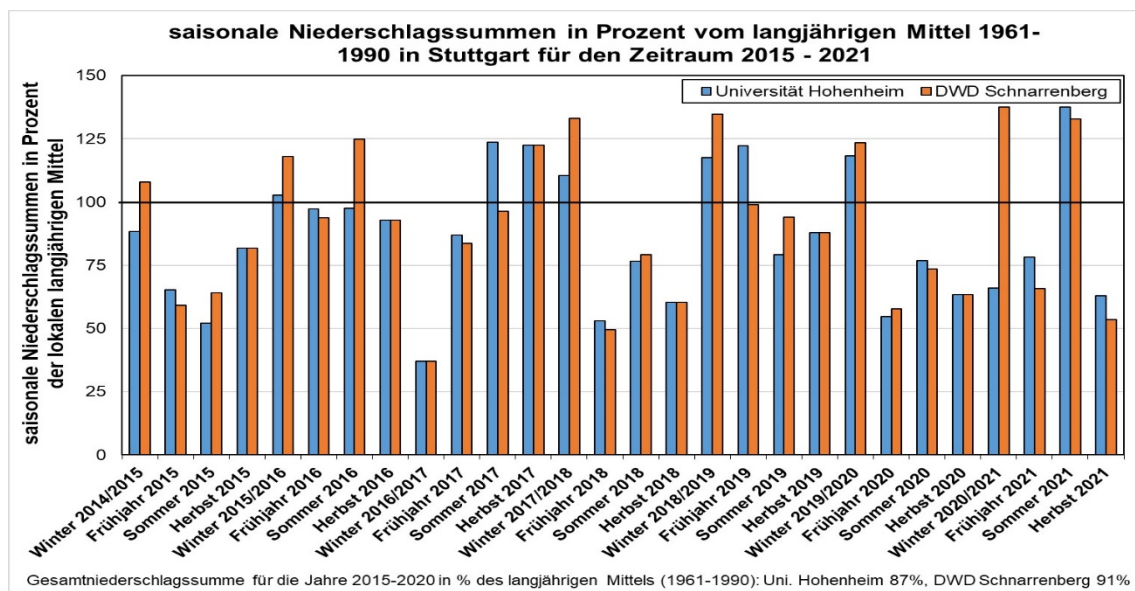


Abbildung 3.12 Abweichung der saisonalen Niederschlagsmengen an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg vom langjährigen saisonalen Mittelwert des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).



Tabelle 3: Niederschlagssummen für die Messstationen DWD Schnarrenberg und Uni Hohenheim sowie Abweichung vom lokalen langjährigen Mittelwert des Referenzzeitraums 1961-1990 (Daten: Deutscher Wetterdienst, Institut für Physik und Meteorologie der Uni Hohenheim)

	DWD Schnarrenberg		Universität Hohenheim	
	NS-Summe in mm	NS-Summe in Prozent des langjähr. Mittels DWD Schnarrenberg	NS-Summe in mm	NS-Summe in Prozent des langjähr. Mittels Uni. Hohenheim
Jahr 2015	498	75	474	68
Jahr 2016	692	104	654	94
Jahr 2017	636	96	718	103
Jahr 2018	522	79	544	78
Jahr 2019	651	98	656	94
Jahr 2020	498	75	526	75
Jahr 2021	661	100	697	100
2015-2021	594	90	610	87
Winter 2014/2015	138	93	138	93
Frühjahr 2015	42	37	47	37
Sommer 2015	147	84	156	87
Herbst 2015	223	96	298	124
Winter 2015/2016	183	123	183	123
Frühjahr 2016	150	133	140	110
Sommer 2016	87	50	96	53
Herbst 2016	183	79	184	76
Winter 2016/2017	90	60	90	60
Frühjahr 2017	152	135	149	118
Sommer 2017	174	99	220	122
Herbst 2017	218	94	191	79
Winter 2017/2018	131	88	131	88
Frühjahr 2018	140	123	150	118
Sommer 2018	102	58	98	55
Herbst 2018	170	73	185	77
Winter 2018/2019	94	63	94	63
Frühjahr 2019	122	108	112	88
Sommer 2019	104	59	117	65
Herbst 2019	149	64	125	52
Winter 2019/2020	122	82	122	82
Frühjahr 2020	133	118	131	103
Sommer 2020	165	94	175	97
Herbst 2020	290	125	235	98
Winter 2020/2021	156	138	122	97
Frühjahr 2021	116	67	178	78
Sommer 2021	308	133	332	137
Herbst 2021	76	54	94	63

3.3 Sonnenstrahlung

Für die Auswertungen der Sonnenstrahlung werden die Messdaten der Stationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg verwendet. Es werden Messdaten der Sonnenscheindauer und der Globalstrahlung betrachtet. An der vom Amt für Umweltschutz betriebenen Messstation am Schwabenzentrum werden keine Daten zur Sonnenscheindauer erhoben.

Die Globalstrahlung ist eine meteorologische Größe, mit der die Sonneneinstrahlung beschrieben werden kann. Sie gibt einen Wert für die am Boden von einer horizontalen Ebene empfangene Sonnenstrahlung und setzt sich aus der direkten Strahlung (der Schatten werfenden Strahlung) und der gestreuten Sonnenstrahlung (diffuse Himmelsstrahlung) zusammen. Die Globalstrahlung beeinflusst die Produktionsraten von photochemisch gebildeten Luftschadstoffen wie dem Ozon.

In den Abbildungen 3.13 und 3.14 sind die Jahressummen der Sonnenscheindauer in Jahresstunden und in Prozent vom lokalen langjährigen Mittelwert des klimatologischen Referenzzeitraums an den Messstationen Universität Hohenheim und DWD Schnarrenberg für die Jahre 2015 bis 2021 dargestellt. Im Mittel wurden an der Messstation in Hohenheim etwa 10 % mehr Sonnenscheinstunden registriert als auf dem Schnarrenberg beim DWD. Im Vergleich zum langjährigen Mittelwert der klimatologischen Referenzperiode war die Sonnenscheindauer im Zeitraum 2015 bis 2021 in Hohenheim um 27 % und beim DWD auf dem Schnarrenberg um 15 % erhöht. Dabei wurde in allen Jahren zwischen 2015 und 2021 eine höhere Sonnenscheindauer beobachtet als im langjährigen Mittel der klimatologischen Referenzperiode.

Das Jahr 2020 war in Hohenheim mit 2327 Sonnenscheinstunden und beim DWD auf dem Schnarrenberg mit 2177 Sonnenscheinstunden das sonnigste der Jahre 2015 bis 2021. Somit lag die Sonnenscheindauer im Jahr 2020 in Hohenheim um 35 % und beim DWD auf dem Schnarrenberg um 29 % über der mittleren Sonnenscheindauer der lokalen klimatologischen Referenzperiode. Die wenigsten Sonnenscheinstunden wurden im Jahr 2016 beobachtet (Uni Hohenheim 2034 Sonnenscheinstunden 18 % über dem lokalen langjährigen Mittelwert 1961-1990, DWD Schnarrenberg 1737 Sonnenscheinstunden 3 % über dem lokalen langjährigen Mittelwert 1961-1990).

Bedingt durch den Jahresgang des Sonnenstandes bestehen große saisonale Unterschiede in der Sonnenscheindauer. In den Wintermonaten werden deutlich weniger Sonnenscheinstunden registriert als in den Sommermonaten. Die in Hohenheim und beim DWD auf dem Schnarrenberg gemessenen, saisonalen Sonnenscheinstunden und deren Abweichungen zu den saisonalen, lokalen langjährigen Mittelwerten der klimatologischen Referenzperiode sind in den Abbildungen 3.15 und 3.16 gezeigt.

Der sonnigste Winter war in Stuttgart der Winter 2019/2020. In Hohenheim war im Winter 2019/2020 die Sonnenscheindauer mit 326 Stunden um 54 % höher als im lokalen langjährigen Wintermittel der klimatologischen Referenzperiode. Beim DWD auf dem Schnarrenberg wurden im Winter 2019/2020 mit 299 Sonnenscheinstunden eine um 53 % im Vergleich zum lokalen langjährigen Wintermittel erhöhte Sonnenscheindauer registriert. Die geringste Sonnenscheindauer wurde in Hohenheim im Winter 2017/2018 mit 190 Sonnenscheinstunden (89 % des lokalen langjährigen Wintermittels) und beim DWD auf dem Schnarrenberg im Winter 2014/2015 mit 171 Sonnenscheinstunden (88 % des lokalen langjährigen Wintermittels) beobachtet.

Das sonnigste Frühjahr war in Stuttgart das Frühjahr 2020. In Hohenheim wurde im Frühjahr 2020 mit 804 Sonnenscheinstunden ein neuer Rekordwert erreicht (68 % über dem lokalen langjährigen Frühjahrmittel). Beim DWD auf dem Schnarrenberg lag die Sonnenscheindauer im Frühjahr 2020 bei 771

Sonnenscheinstunden (62 % über dem lokalen langjährigen Frühjahrsmittel). Die geringste Sonnenscheindauer in Stuttgart wurde im Frühjahr 2016 mit 547 in Hohenheim (14 % über dem lokalen langjährigen Frühjahrsmittel) und mit 426 Sonnenscheinstunden beim DWD auf dem Schnarrenberg (10 % unter dem lokalen langjährigen Frühjahrsmittel) beobachtet.

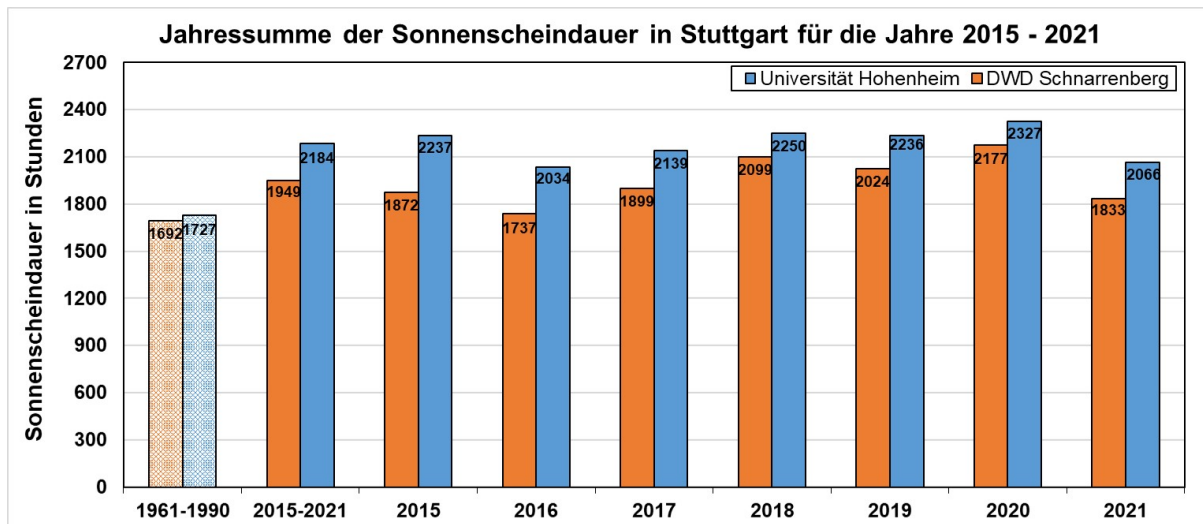


Abbildung 3.13 Jahressonnenscheinstunden und mittlere Jahressonnenscheinstunden für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

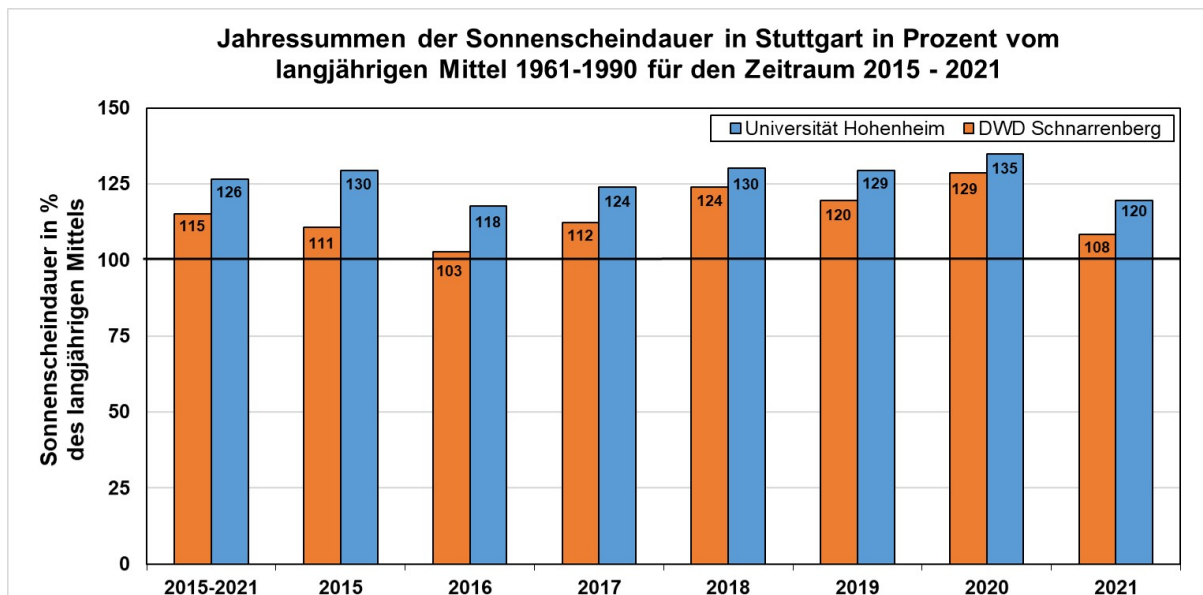


Abbildung 3.14 Jahressonnenscheinstunden in Prozent vom lokalen langjährigen Mittel des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

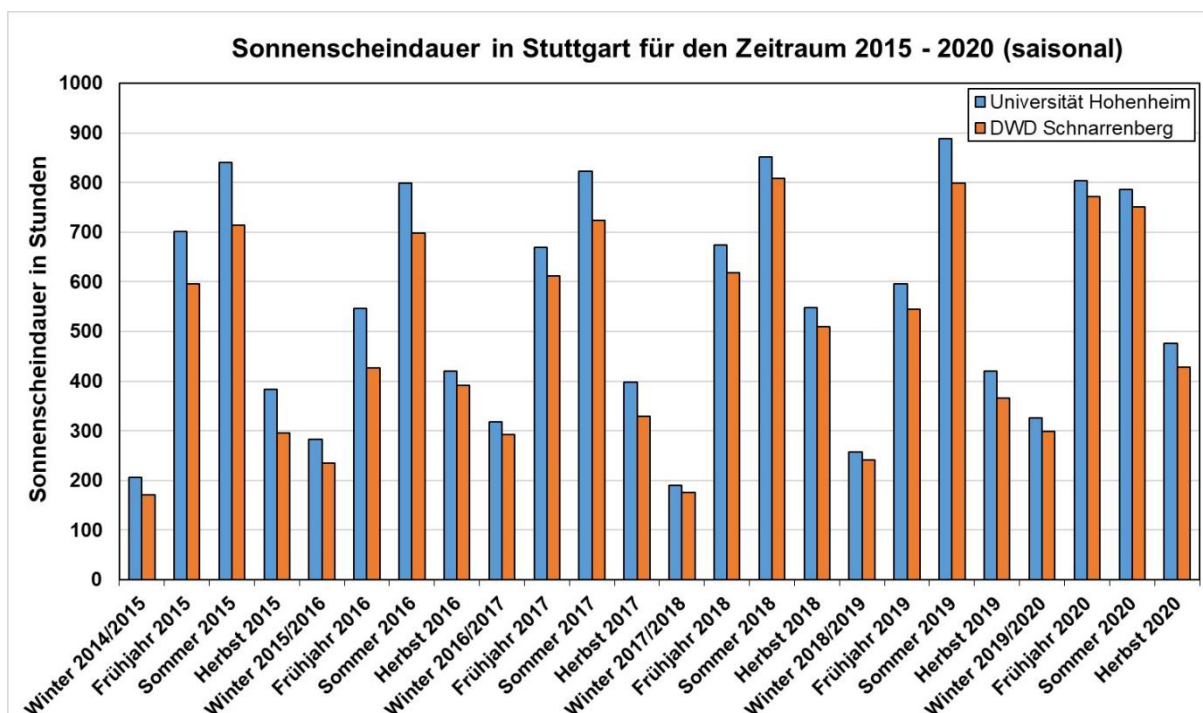


Abbildung 3.15 Saisonale Sonnenscheindauer an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

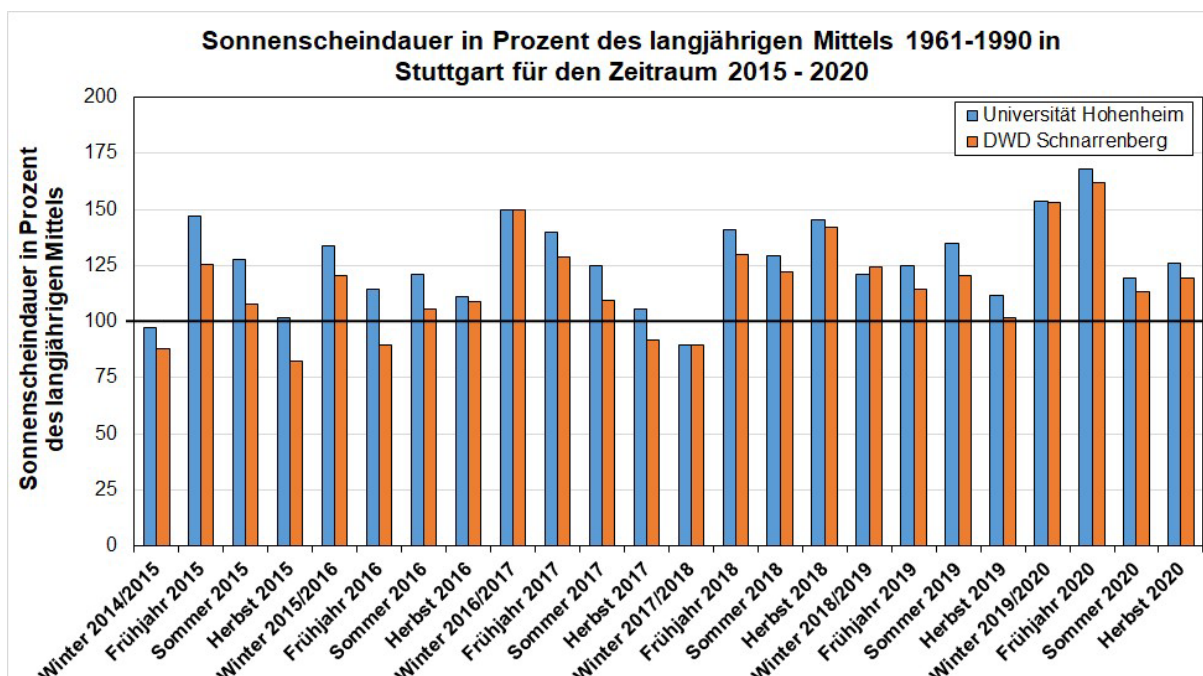


Abbildung 3.16 Saisonale Sonnenscheindauer in Prozent vom lokalen langjährigen, saisonalen Mittel des klimatologischen Referenzzeitraums 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst)

In Hohenheim war der Sommer 2019 mit 889 Sonnenscheinstunden der sonnigste Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Damit lag die Sonnenscheindauer um 35 % über dem langjährigen Sommermittel in Hohenheim. Beim DWD auf dem Schnarrenberg war der Sommer 2018 mit 809 Sonnenscheinstunden der sonnigste im betrachteten Zeitraum (22 % über dem langjährigen Sommermittel auf dem Schnarrenberg). Die geringste Anzahl an Sonnenscheinstunden wurde in Stuttgart im Sommer 2021 beobachtet. In Hohenheim wurden im Sommer 2021 712 Sonnenscheinstunden (8 % über dem langjährigen Sommermittel in Hohenheim) gemessen. Beim DWD auf dem Schnarrenberg wurden im Sommer 2021 642 Sonnenscheinstunden (3 % unter dem langjährigen Sommermittel auf dem Schnarrenberg) beobachtet.

Bei den Herbstsaisons war der Herbst 2018 der sonnigste in Stuttgart. In Hohenheim wurden im Herbst 2018 548 Sonnenscheinstunden registriert, was 45 % mehr Sonnenscheinstunden sind als im langjährigen Herbstmittel in Hohenheim in der klimatologischen Referenzperiode. Beim DWD auf dem Schnarrenberg war die Sonnenscheindauer im Herbst 2018 mit 509 Stunden um 42 % höher als im langjährigen Herbstmittel der klimatologischen Referenzperiode auf dem Schnarrenberg. Im Herbst 2015 wurden in Stuttgart die wenigsten Sonnenscheinstunden der Jahre 2015 bis 2021 beobachtet. Mit 384 Sonnenscheinstunden im Herbst 2015 in Hohenheim lag die Sonnenscheindauer 2 % über dem lokalen langjährigen Herbstmittel der klimatologischen Referenzperiode. Beim DWD auf dem Schnarrenberg wurden im Herbst 2015 nur 295 Sonnenscheinstunden gemessen, 18 % unter dem lokalen langjährigen Herbstmittel der klimatologischen Referenzperiode.

Der Vergleich der Jahresmittel der Globalstrahlung (Abbildung 3.17) zeigt, dass die Sonneneinstrahlung in Hohenheim im Mittel etwas höher ist als beim DWD auf dem Schnarrenberg. Die höchste Sonneneinstrahlung in Hohenheim und auf dem Schnarrenberg wurde im Jahr 2020 mit Jahresmittelwerten von 152 W/m^2 und 146 W/m^2 gemessen. Die niedrigste Sonneneinstrahlung wurde im Jahr 2016 registriert mit Jahresmittelwerten von 137 W/m^2 in Hohenheim und 129 W/m^2 auf dem Schnarrenberg. Entsprechend den Jahresgängen der Globalstrahlung auf Basis der Monatsmittel (Abbildungen 3.18 und 3.19) wird die höchste Sonneneinstrahlung in Stuttgart in den Monaten Mai bis August gemessen mit Maximalwerten im Juni und Juli mit Monatsmittelwerten bis zu 290 W/m^2 . Die geringste Sonneneinstrahlung wird in Stuttgart in den Monaten November bis Februar gemessen mit Minimalwerten im Januar und Dezember von teilweise unter 30 W/m^2 im Monatsmittel.

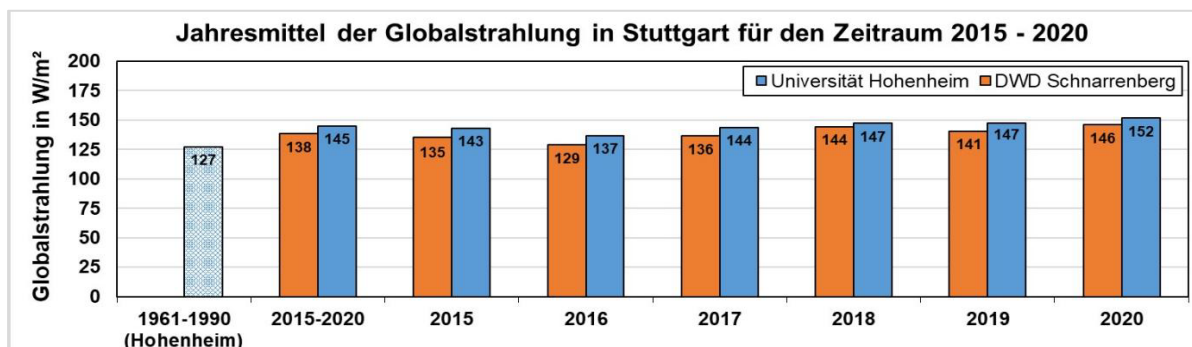


Abbildung 3.17 Jahresmittel der Globalstrahlung und mittlere Globalstrahlung für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 an den Messstationen Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst Schnarrenberg für die Jahre 2015 bis 2021 (langjähriges Mittel nur für Hohenheim, Daten: Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim und Deutscher Wetterdienst).

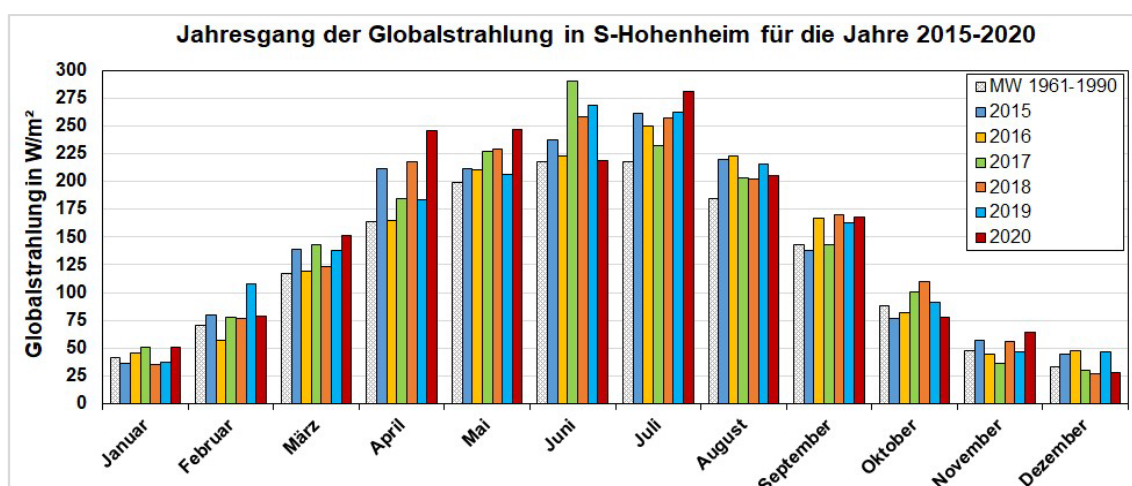


Abbildung 3.18 Monatsmittel der Globalstrahlung und mittlere Globalstrahlung für den klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990 an der Messstation Universität Hohenheim für die Jahre 2015 bis 2021 (Daten: Institut für Physik und Meteorologie der Uni. Hohenheim).

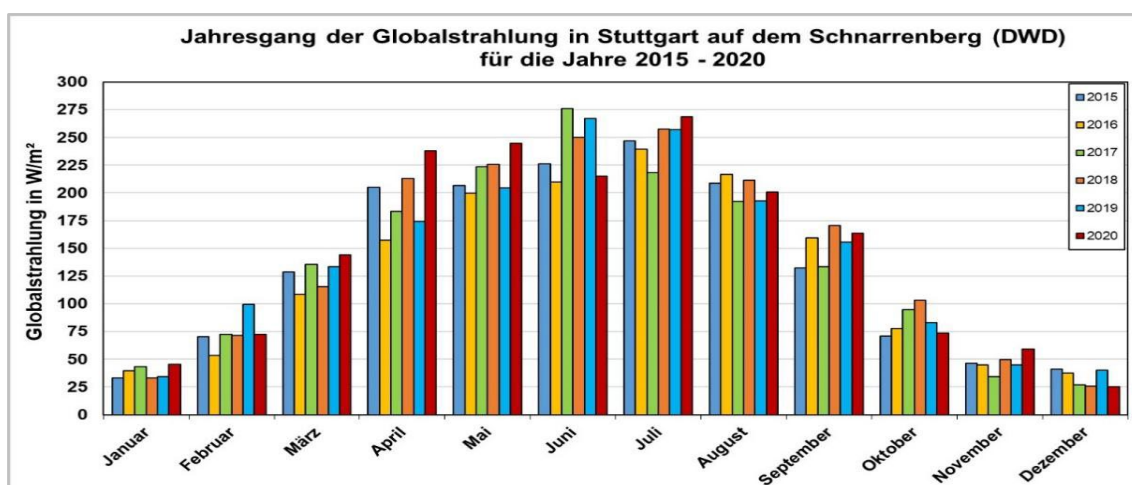


Abbildung 3.19 Monatsmittel der Globalstrahlung an der Messstation DWD Schnarrenberg für den Zeitraum 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).



Tabelle 4: Sonnenscheindauer gemessen an den Messstationen DWD Schnarrenberg und Uni Hohenheim sowie Abweichung vom lokalen langjährigen Mittelwert des Referenzzeitraums 1961-1990 (Daten: DWD, Institut für Physik und Meteorologie der Uni Hohenheim)

	DWD Schnarrenberg		Universität Hohenheim	
	Sonnenscheindauer in h	Sonnenscheindauer in Prozent des langj. Mittels DWD Schnarrenberg	Sonnenscheindauer in h	Sonnenscheindauer in Prozent des langj. Mittels Uni. Hohenheim
Jahr 2015	1872	110.6	2237	129.5
Jahr 2016	1737	102.7	2034	117.8
Jahr 2017	1899	112.2	2139	123.9
Jahr 2018	2099	124.1	2250	130.3
Jahr 2019	2024	119.6	2236	129.4
Jahr 2020	2177	128.7	2327	134.8
Jahr 2021	1833	108.3	2066	119.7
2015-2021	14126	115.2	15289	126.5
Winter 2014/2015	171	87.7	206	97.2
Frühjahr 2015	596	125.2	702	146.8
Sommer 2015	714	107.9	840	127.5
Herbst 2015	295	82.2	384	101.7
Winter 2015/2016	235	120.5	283	133.6
Frühjahr 2016	426	89.5	547	114.4
Sommer 2016	698	105.4	799	121.3
Herbst 2016	391	108.9	420	111.4
Winter 2016/2017	292	149.7	318	149.9
Frühjahr 2017	612	128.6	669	139.9
Sommer 2017	723	109.2	823	124.8
Herbst 2017	329	91.6	398	105.4
Winter 2017/2018	175	89.7	190	89.4
Frühjahr 2018	618	129.8	674	141.0
Sommer 2018	809	122.2	851	129.2
Herbst 2018	509	141.8	548	145.2
Winter 2018/2019	242	124.1	257	121.2
Frühjahr 2019	545	114.5	597	124.8
Sommer 2019	799	120.7	889	134.8
Herbst 2019	366	101.9	421	111.6
Winter 2019/2020	299	153.3	326	153.9
Frühjahr 2020	771	162.0	804	168.2
Sommer 2020	751	113.4	786	119.3
Herbst 2020	428	119.2	476	126.2
Winter 2020/2021	198	101.5	218	102.6
Frühjahr 2021	536	112.6	609	127.5
Sommer 2021	642	97.0	712	108.0
Herbst 2021	443	123.4	510	135.4

3.4 Windverhältnisse

Im Folgenden werden die Windverhältnisse an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 dargestellt. Winddaten der Messstation Universität Hohenheim stehen nicht zur Verfügung. Weiter kann kein Vergleich zu langjährigen Mittelwerten der klimatologischen Referenzperiode hergestellt werden, da auch für die klimatologische Referenzperiode keine Winddaten zur Verfügung stehen.

Die Region Stuttgart liegt in einer der windärmsten Gegenden Deutschlands. Infolge der im Allgemeinen sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten und dem häufigen Auftreten von Windstille sind lokale, topographisch induzierte Windsysteme von übergeordneter Bedeutung für die Windsituation in Stuttgart. Die bedeutendsten lokalen Windsysteme sind Berg- und Talwinde sowie Kaltluftströmungen. Neben den lokalen Windsystemen haben auch die städtischen Strukturen (z.B. infolge der Hinderniswirkung von Gebäuden) eine große Bedeutung für die lokalen Windverhältnisse in Stuttgart. Durch die niedrigen Windgeschwindigkeiten, die starke topographische Gliederung des Stadtgebietes und die großen lokalen Unterschiede in den städtischen Strukturen, kann für Stuttgart keine einheitliche Windrose mit einer einheitlichen Hauptwindrichtung angegeben werden. An vielen Orten im Stadtgebiet, vor allem in Hang- und Tallagen, bestehen zudem große Windrichtungsunterschiede zwischen Tag und Nacht.

In Abbildung 3.20 ist das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit für die Messstationen beim DWD auf dem Schnarrenberg und der AfU Messstation im Schwabenzentrum dargestellt. Bei den übers Jahr gemittelten Windgeschwindigkeiten der einzelnen Messstationen bestehen nur geringe zwischenjährige Unterschiede. Die Windgeschwindigkeit beim DWD auf dem Schnarrenberg schwankt im betrachteten Zeitraum zwischen 2,6 m/s (Jahr 2021) und 3,0 m/s (Jahre 2017 und 2019). Die mittlere Windgeschwindigkeit auf dem Schnarrenberg 2015 bis 2021 lag bei 2,9 m/s. In der Stadtmitte beim Schwabenzentrum lag die Windgeschwindigkeit in den Jahren 2015 bis 2021 zwischen sehr geringen 1,6 m/s (Jahr 2017) und 2,0 m/s (Jahre 2015 und 2020). Im Mittel der Jahre 2015 bis 2021 erreichte die Windgeschwindigkeit am Schwabenzentrum 1,9 m/s. Entsprechend der Beaufortskala wurde in allen Jahren an beiden Messstationen ein Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit im Bereich von BFT2 (leichte Brise) beobachtet. Die etwas höheren Windgeschwindigkeiten an der Messstation des DWDs sind der exponierten Lage der Messstation auf der Höhenkuppe des Schnarrenbergs geschuldet, während die Messstation am Schwabenzentrum in der Stadtmitte im Stuttgarter Talkessel gelegen ist, der im Allgemeinen nur schlecht durchlüftet ist.

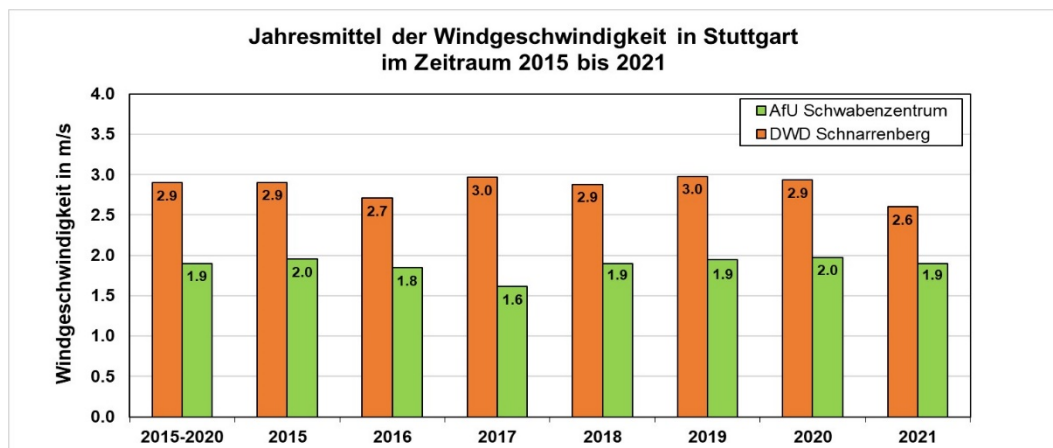


Abbildung 3.20 Jahresmittel der Windgeschwindigkeit an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

Die Häufigkeit verschiedener Windgeschwindigkeitsklassen (Häufigkeitsverteilung) an den Messstationen des DWDs auf dem Schnarrenberg und des AfUs am Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 ist in Abbildung 3.21 gezeigt. Die auf dem Schnarrenberg beobachteten Windgeschwindigkeiten lagen im betrachteten Zeitraum zu 68 % unter 3,3 m/s, d.h. zu 68 % erreichen die Windgeschwindigkeiten maximal BFT2. In 25 % der Messungen erreichten die Windgeschwindigkeiten auf dem Schnarrenberg noch BFT3 bis zu 5,4 m/s und zu knapp 7 % noch BFT5 bis 10,7 m/s. In der Stadtmitte am Schwabenzentrum wurden in den Jahren 2015 bis 2021 zu 90 % Windgeschwindigkeiten bis maximal BFT2 (max. 3.3 m/s) beobachtet. In 9 % der Messungen konnten noch Windgeschwindigkeiten bis BFT4 (max. 7,9 m/s) registriert werden.

Die höchste Windgeschwindigkeit der Jahre 2015 bis 2021 wurde beim DWD auf dem Schnarrenberg im Februar 2020 mit einer Spitzenboengeschwindigkeit von 30.2 m/s während eines Starkwindereignisses gemessen. Am Schwabenzentrum wurde im betrachteten Zeitraum die höchste Windgeschwindigkeit im März 2015 während eines Sturms mit 23,6 m/s (Spitzenboengeschwindigkeit) gemessen.

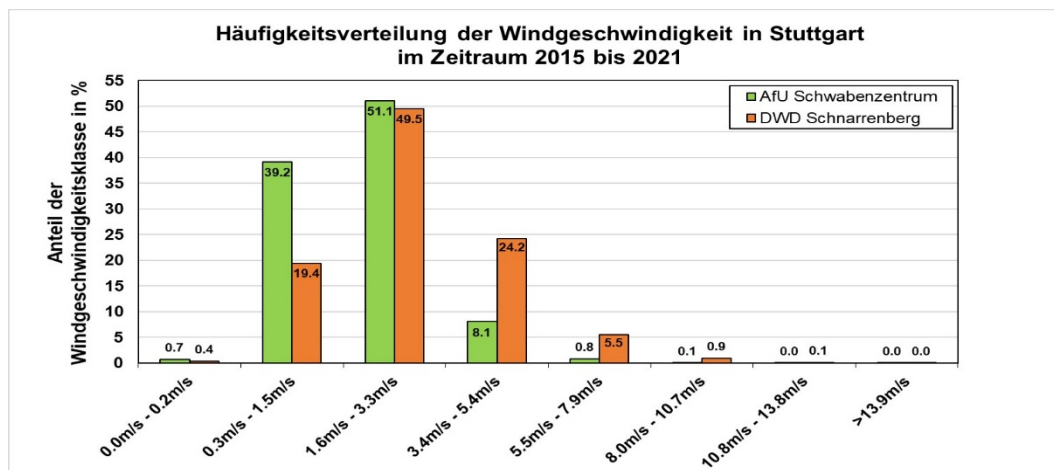


Abbildung 3.21 Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

Die meisten Starkwindereignisse in den Jahren 2015 bis 2021 (Abbildung 3.22), das sind hier Ereignisse mit einer Spitzenboengeschwindigkeit von mindestens BFT9 (20,8 m/s), wurden beim DWD auf dem Schnarrenberg im Jahr 2019 mit 7 Ereignissen beobachtet. In der Stadtmitte beim Schwabenzentrum wurden lediglich in den Jahren 2015 und 2020 jeweils 1 Starkwindereignis registriert. Die wenigsten Starkwindereignisse beim DWD auf dem Schnarrenberg traten in den Jahren 2015 und 2016 mit jeweils einem Ereignis pro Jahr auf.



Abbildung 3.22 Anzahl der jährlichen Starkwindereignisse an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart). Ein Starkwindereignis ist hier ein Ereignis mit einer Spitzenboengeschwindigkeit von mindestens BFT9.

Saisonal betrachtet (Abbildung 3.23) werden in Stuttgart die höchsten Windgeschwindigkeiten in den Wintermonaten und Frühjahrsmonaten beobachtet. Die niedrigsten Windgeschwindigkeiten werden in den Sommer und Herbstmonaten registriert. Insgesamt sind die saisonalen Variationen der gemittelten Windgeschwindigkeit in Stuttgart gering.

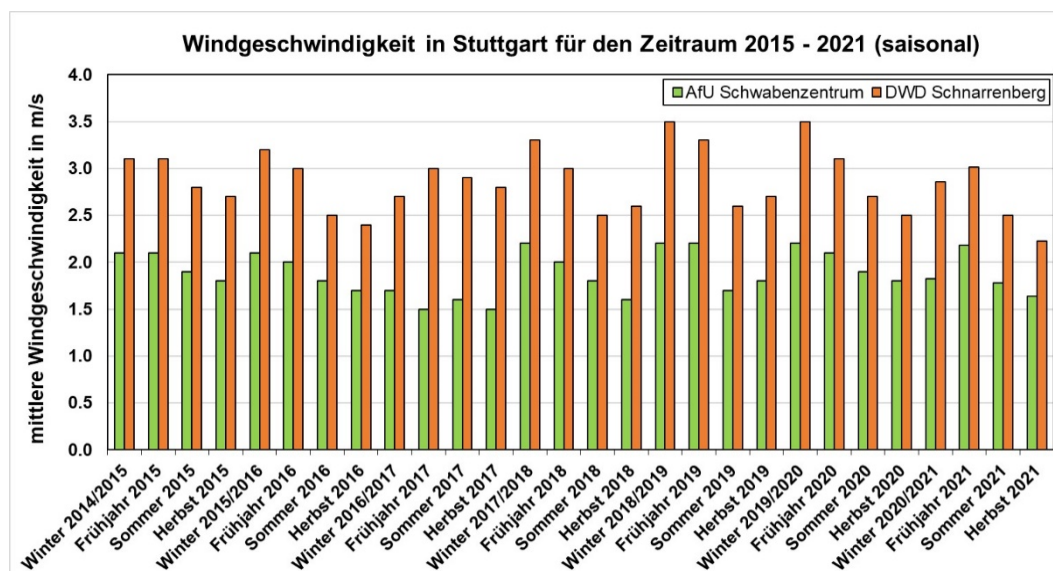


Abbildung 3.23 Saisonale Mittelwerte der Windgeschwindigkeit an den Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum für die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

Neben saisonalen Variationen werden bei der Windgeschwindigkeit auch tageszeitliche Unterschiede beobachtet. In Abbildung 3.24 ist der Tagesgang der Windgeschwindigkeiten beim DWD auf dem Schnarrenberg und am Schwabenzentrum (AfU) dargestellt. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden in Stuttgart im Mittel in den Nachmittagsstunden zwischen 13:00 Uhr UTC und 16:00 Uhr UTC beobachtet. In den Nacht- und Morgenstunden sind die Windgeschwindigkeiten im Mittel am niedrigsten. Beim DWD auf dem Schnarrenberg wird das Tagesminimum der Windgeschwindigkeit im Mittel zwischen 01:00 Uhr UTC und 03:00 Uhr UTC registriert. An der Messstation im Schwabenzentrum liegt das Tagesminimum der Windgeschwindigkeit im Mittel zwischen 06:00 und 08:00 morgens.

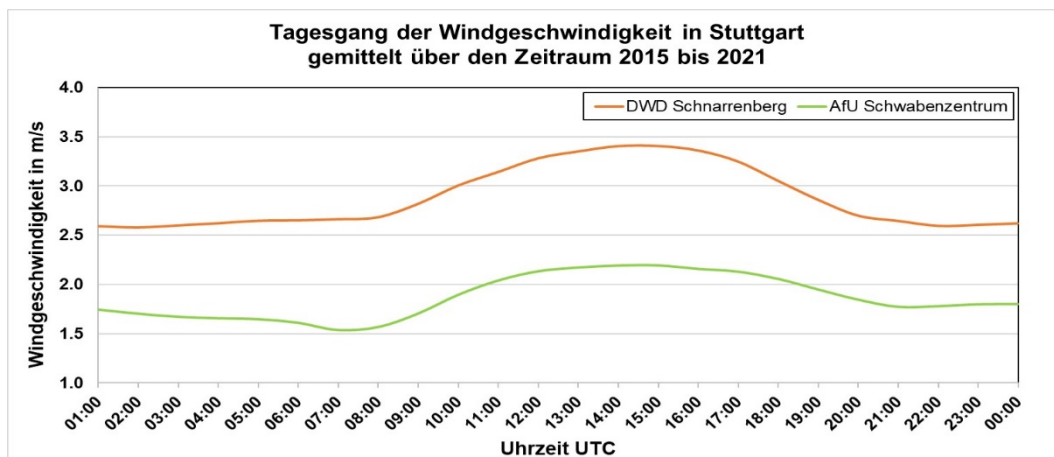


Abbildung 3.24 Tagesgang der Windgeschwindigkeit in Stuttgart gemittelt über die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

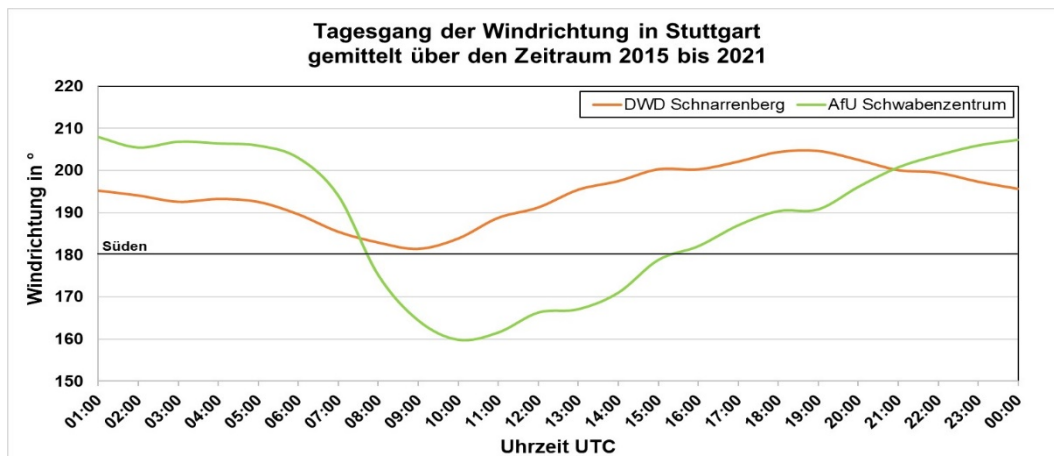


Abbildung 3.25 Tagesgang der Windrichtung in Stuttgart gemittelt über die Jahre 2015 bis 2021 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

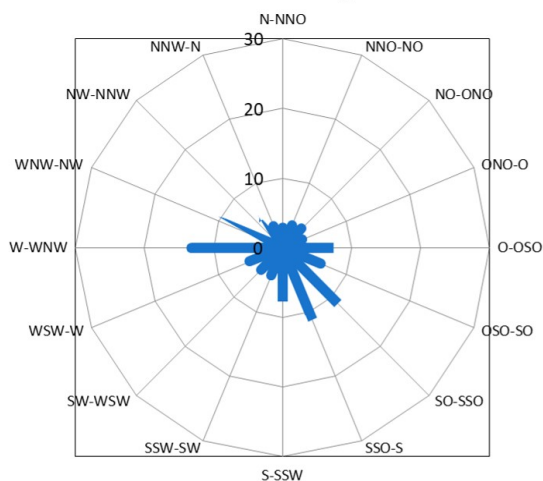
Bei der Windrichtung zeigen sich größere Unterschiede zwischen den betrachteten Messstationen. Diese sind den unterschiedlichen topographischen Lagen und unterschiedlichen städtischen Umgebungsbedingungen geschuldet. In Abbildung 3.26 sind die mittleren Windrosen für die Messstationen beim DWD auf dem Schnarrenberg und im Schwabenzentrum (AfU) gezeigt. In Abbildung 3.27 sind die prozentualen Anteile einzelner Windrichtungen an der Gesamtverteilung für verschiedene Saisons dargestellt.

Während am Schwabenzentrum in der Stadtmitte eine deutlich ausgeprägte Windrichtung beobachtet wird, werden beim DWD auf dem Schnarrenberg im Jahresmittel und in den saisonalen Mitteln zwei dominierende Windrichtungsbereiche beobachtet. Dies sind mit einem Anteil von ca. 33 % der Gesamtverteilung der Richtungsbereich Südost bis Süd und ebenfalls mit einem Anteil von ca. 33 % der Richtungsbereich West bis Nordwest. Am seltensten werden auf dem Schnarrenberg Windrichtungen aus dem Richtungsbereich Nord bis Nordost mit einem Anteil von 15 % der Gesamtverteilung beobachtet.

tet. An der Messstation im Schwabenzentrum werden am häufigsten Südwest- bis Westwinde mit einem Anteil von ca. 53 % beobachtet. Am seltensten mit einem Anteil von ca. 10 % werden Winde aus dem Richtungsbereich Ost bis Südost beobachtet. Diese mittleren Windrichtungsverhältnisse bestehen auch in der saisonalen Betrachtung mit leichten Variationen in den Anteilen.

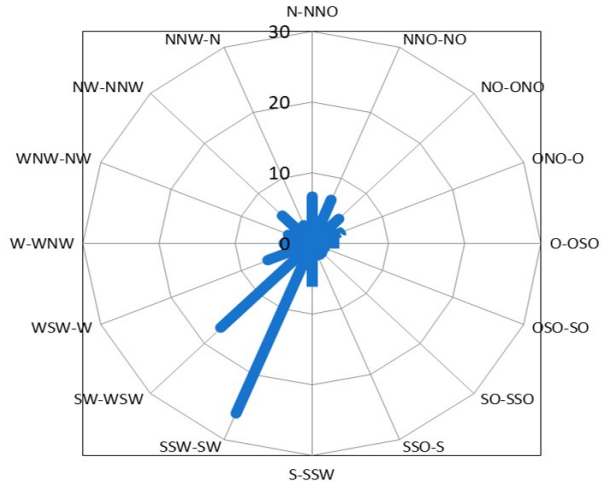
Der Tagesgang (Abbildung 3.25) der Windrichtung ist an beiden betrachteten Messstationen stärker ausgeprägt als der Tagesgang der Windrichtung. Beim DWD auf dem Schnarrenberg ist im mittleren Tagesgang eine Winddreherung zwischen den vorherrschenden Winden in den Morgenstunden (08:00 – 10:00, Südwind) und den Winden in den späten Nachmittag- bis frühen Abendstunden (17:00 bis 20:00), Südwestwind) von etwa 20 ° zu beobachten. Beim Schwabenzentrum ist die Winddreherung Tag-Nacht deutlicher ausgeprägt. Im Mittel wird am Schwabenzentrum über den Tagesverlauf eine Winddreherung von bis zu etwa 48 ° beobachtet. Während in den Morgenstunden zwischen 09:00 Uhr UTC und 11:00 Uhr UTC vorwiegend Südost- bis Südwinde registriert werden, liegt die mittlere Windrichtung in den Nachtstunden überwiegend im Bereich Süd bis Südwest.

**mittlere Windrose für die DWD Messstation
auf dem Schnarrenberg 2015 - 2021**



Daten: Deutscher Wetterdienst, Grafik: Amt für Umweltschutz, Stuttgart

**mittlere Windrose für die AfU Messstation
im Schwabenzentrum 2015 - 2021**



Daten und Grafik: Amt für Umweltschutz, Stuttgart

Abbildung 3.26 Mittlere Windrosen für die Messstationen DWD Schnarrenberg und AfU Schwabenzentrum gemittelt über den Zeitraum 2015 bis 2021 (Basis: 10-min Mittelwerte, Daten: Deutscher Wetterdienst und Abt. Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

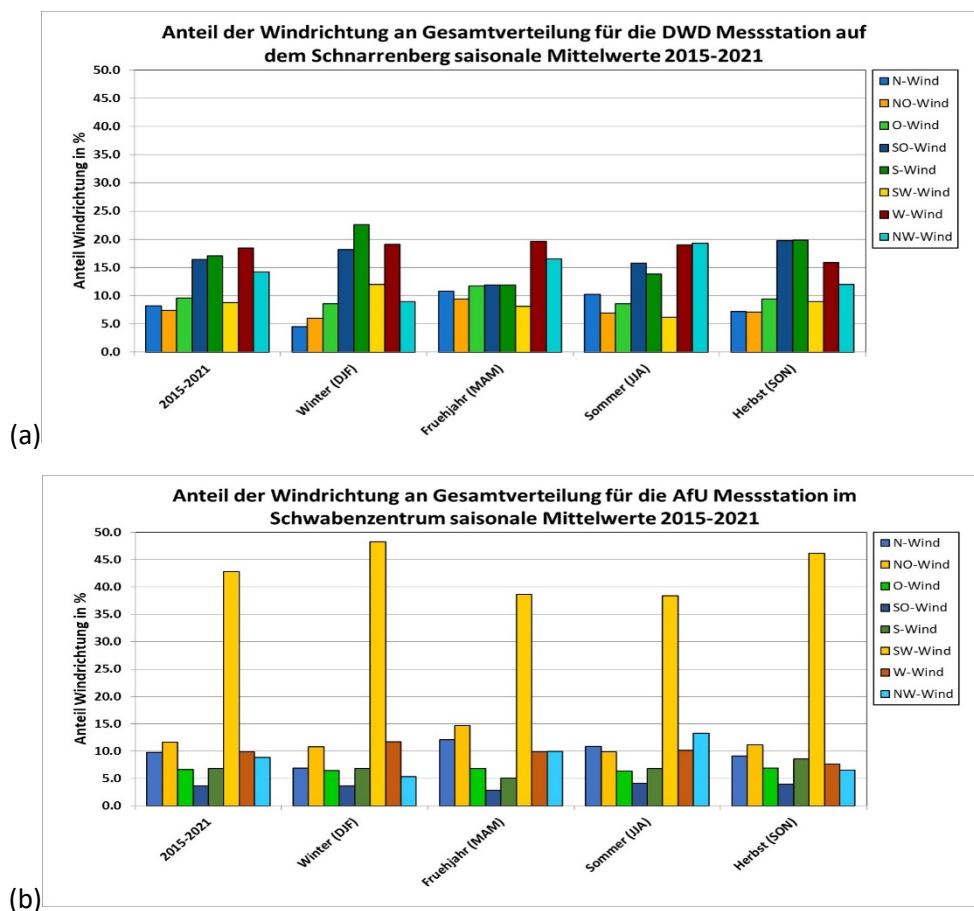


Abbildung 3.27 Prozentuale Anteile verschiedener Windrichtungen an der Gesamtverteilung für die Jahre 2015 bis 2021 an den Messstationen DWD Schnarrenberg (a) und AfU Schwabenzentrum (b) (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst und Abteilung Stadtklimatologie Amt für Umweltschutz Stuttgart).

3.5 Einfluss der Witterung auf die Luftschadstoffbelastungen

Die Witterungsbedingungen beeinflussen die Luftschadstoffbelastungen. Entscheidend für die Niveaus von atmosphärischen Luftschadstoffen sind der allgemeine meteorologische Zustand der Atmosphäre, die Ausbreitungs- und Austauschbedingungen sowie die Sonneneinstrahlung. Während eine stabile Atmosphäre mit geringem vertikalen und horizontalen Luftmassenaustausch die Ansammlung von Luftschadstoffen begünstigt, führen instabile Witterungsbedingungen im Allgemeinen zur Verdünnung von Luftschadstoffen durch turbulente und advektive (herangeführte) Einmischung vergleichsweise sauberer Luftmassen in belastete Luft. Dabei bewirken vergleichsweise hohe Windgeschwindigkeiten und starke Turbulenzen in der Regel eine Reduzierung von Luftschadstoffbelastungen. Durch Niederschlagsereignisse werden Luftschadstoffe aus der Atmosphäre ausgewaschen, von Oberflächen abgetragen und können so nicht wieder aufgewirbelt werden. Auch die Sonneneinstrahlung beeinflusst die in photochemischen Reaktionen gebildeten oder abgebauten Luftschadstoffe (z. B. die Ozonbildung unter Einfluss der Sonnenstrahlung).

Die im Vergleich zu den lokalen langjährigen Mitteln des klimatologischen Referenzzeitraums milden Temperaturen in den Jahren 2015 bis 2021 vor allem in den Winter-, Frühjahr- und Herbstmonaten

fürten zur Reduktion von Luftschadstoffemissionen aus Wärmeerzeugungsprozessen (insbesondere Hausbrandemissionen) und damit zu niedrigeren Luftschadstoffbelastungen in Heizmonaten, da der Wärmeenergiebedarf reduziert war. Außerdem führen hohe Temperaturen oft zu einer besseren Durchmischung der Atmosphäre und günstigen Austauschbedingungen durch vergleichsweise stärker ausgeprägte turbulente atmosphärische Strömungen.

Die Vergleichsweise geringen Niederschlagsmengen und die weniger oft auftretenden Niederschlagsereignisse führten in den Jahren 2015 bis 2021 dagegen tendenziell zu höheren Luftschadstoffbelastungen durch eine verringerte Auswaschung von Luftschadstoffen und dem Abwaschen von Luftschadstoffen von Oberflächen. Die teilweise sehr lang anhaltenden Trockenperioden führten gleichzeitig zur Austrocknung von Böden und Pflanzen und verstärkte die Aufwirbelung von Staubemissionen.

Die in den Jahren 2015 bis 2021 zum langjährigen Mittel erhöhte Sonneneinstrahlung begünstigte die Produktion von Luftschadstoffen durch atmosphärische photochemische Prozesse wie die Ozonbildung.

Die beobachteten geringen Windgeschwindigkeiten in Stuttgart führten zu einer Einschränkung der Austauschbedingungen und begünstigte dadurch die Ansammlung von Luftschadstoffen.

4 Lufthygienische Situation

4.1 Messstationen

Luftschadstoffkonzentrationen wurden im Stadtgebiet von Stuttgart an 8 Messstationen ermittelt (Abbildung 4.1). Die Messstationen, S-Arnulf-Klett-Platz, S-Bad Cannstatt, S-Am Neckartor und S-Hohenheimer Straße werden von der LUBW als Teil des landesweiten Luftmessnetzes betrieben. Zwei der LUBW Messstationen (S-Arnulf-Klett-Platz, S-Bad Cannstatt) sind als dauerhafte Messstationen eingerichtet. Die beiden weiteren Messstationen (S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße) werden seit dem Jahr 2004 Spotmessstationen im landesweiten Spotmessprogramm zum Vollzug der 39. BImSchV betrieben. Im Rahmen dieser zeitlich befristeten Messungen werden an diesen Bereichen mit besonders hohen Schadstoffkonzentrationen von NO_2 und Feinstaub der Fraktionen PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$ beprobt. Zusätzlich zu den von der LUBW betriebenen Messstationen wurden in der Hauptstätter Straße und im Stadtgarten zwei weitere Stationen eingerichtet mit dem Ziel, mehr Information über die Luftqualität in Stuttgart zu erhalten. Für die Jahre 2017 und 2018 wurde dort die NO_2 - und PM_{10} -Belastung mit kontinuierlichen Messungen erfasst.

Zwei Messstationen werden als stadteigene vom Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart betreut. Die stadteigenen Messstationen (S-Schwabenzentrum, S-Gaisburgstraße) sind nicht Teil des landesweiten Luftmessnetzes und dienen ausschließlich der Datenbeschaffung über die Grundbelastung im Talkessel und für Untersuchungen der im kommunalen Interesse stehenden Fragen zur Luftqualität.

Mit Ausnahme der Messstationen S-Bad Cannstatt und S-Stadtgarten sind die angeführten Messstationen verkehrsnah gelegen. Die Dauermessstation S-Arnulf-Klett-Platz und die Spotmesspunkte S-Am Neckartor, S-Hohenheimer Straße und S-Hauptstätter Straße geben die Luftschadstoffkonzentrationen an Hauptverkehrsstraßen wieder. Die Messstation S-Bad Cannstatt und S-Stadtgarten werden von der LUBW als Stationen im städtischen Hintergrund klassifiziert. Während an den LUBW Stationen die Luftschadstoffkonzentrationen in der Regel in ca. 2 m Höhe gemessen werden, ist die Probenahme den stadteigenen Messstationen auf dem Dach des Schwabenzentrums in ca. 23 m Höhe und auf dem Dach des Amts für Umweltschutz in ca. 21 m Höhe installiert. Die stadteigenen Messstationen können somit, aufgrund ihrer Entfernung zu den Emissionsquellen (hier hauptsächlich der Straßenverkehr), als städtischer verkehrsbeeinflusster Hintergrund klassifiziert werden. Die Messstation S-Bad Cannstatt ist in parkähnlichem Umfeld im Bereich der Einmündung der Seubertstraße in die vierspurig ausgebaute Gnesener Straße gelegen. Die Messstation S-Stadtgarten befindet sich im Stadtgarten in der Nähe der Universitätsbibliothek Stuttgart.

Die Messstation S-Arnulf-Klett-Platz vor dem Hindenburgbau zwischen der Lautenschlagerstraße und der Königstraße. Der Arnulf-Klett-Platz ist in jede Richtung 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-Hauptstätter Straße befindet sich an der vierspurig ausgebauten Hauptstätter Straße.

Zur Messung der Feinstaubkonzentrationen PM_{10} und $PM_{2,5}$ werden von der LUBW ein gravimetrisches und ein kontinuierliches Messverfahren eingesetzt. Mit dem gravimetrischen Verfahren werden Filter tageweise beprobt und anschließend im Labor ausgewogen. Das eingesetzte Messgerät verfügt über ein 14-faches Filterwechselsystem. Die Wägung erfolgt im 2-wöchigen Rhythmus. Die zeitliche Auflösung der Messungen beschränkt sich auf die Bestimmung von Tagesmittelwerten. An der Messstation S-Bad Cannstatt wird ein kontinuierliches Messverfahren zur Bestimmung der Feinstaubbelastung verwendet. Dieses Verfahren basiert auf der Vermessung des Streulichtimpulses, der von einem Partikel beim Durchgang durch einen Infrarot-Laser erzeugt wird. Vorteile dieses Messverfahrens sind die hohe zeitliche Auflösung von 1 Minute der Einzelmessungen und die Möglichkeit einer Echtzeitdarstellung der Messwerte.

An den stadteigenen Messstationen werden ein kontinuierliches gravimetrisches Messverfahren und ein kontinuierlich messendes Streulichtverfahren eingesetzt. Das eingesetzte gravimetrische Messverfahren erlaubt die gleichzeitige kontinuierliche Erfassung der PM_{10} - und der $PM_{2,5}$ -Konzentration in hoher zeitlicher Auflösung (10 Minuten) sowie die Echtzeitdarstellung der Messwerte. Für die Stickstoffdioxidkonzentration wird an allen 6 Stationen ein kontinuierliches Chemilumineszenz-Messverfahren eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird die bei der Reaktion von Stickstoffmonoxid mit Ozon emittierte charakteristische Strahlung erfasst, nachdem zuvor das Stickstoffdioxid durch einen Katalysator in Stickstoffmonoxid umgewandelt wurde. Das ermittelte Messsignal entspricht der Summe der Stickoxide. Die Stickstoffdioxidkonzentration wird dann durch die Subtraktion des gleichzeitig gemessenen Stickstoffmonoxidsignals ermittelt. Mit diesem Messverfahren können die Stickstoffmonoxid- und die Stickstoffdioxidkonzentrationen gleichzeitig in hoher zeitlicher Auflösung (bis zu 1-Minute) ermittelt und in Echtzeit dargestellt werden.



Abbildung 4.1: Messstationen im Stadtgebiet von Stuttgart. Dreieck grün: Dauermessstation (LUBW), Kreis rot: Spotmesspunkt (LUBW), Kreis lila: temporäre Messungen (LUBW) Kreis blau: Messstation Schwabenzentrum und Amt für Umweltschutz (Stadt Stuttgart)

4.2 Beurteilungswerte

Die durch die Europäische Union (EU) definierten Beurteilungswerte von Immissionen von Luftschadstoffen wurden in der 39. BImSchV in deutsches Recht überführt.

Die gegebenen Grenzwerte für verschiedene Luftschadstoffkonzentrationen sind rechtlich verbindliche Beurteilungswerte, die eingehalten werden müssen und 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. Auch wenn aufgrund fehlender flächendeckender Messungen die Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte im gesamten Stadtgebiet nicht möglich ist, müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung das Ziel einer Verbesserung der Belastungssituation im gesamten Stadtgebiet verfolgen und dürfen nicht auf einige wenige hochbelastete Stadtgebiete (in Umgebung von Messstationen) beschränkt bleiben.

Zusätzlich zu der auf europäischer Ebene entwickelten Basis zur Überwachung der Luftqualität hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Empfehlungen für maximal zulässige Luftschadstoffbelastungen auf Basis einer Auswertung weltweiter wissenschaftlicher Studien erarbeitet. Die WHO Empfehlungen für Luftschadstoffgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit sind oft deutlich niedriger als die Grenzwerte in aktuell gültiger Gesetzgebung innerhalb der EU. Die WHO prüft fortlaufend wissenschaftliche Studien und passt ihre Empfehlungen ständig an den aktuellen Stand der Wissenschaft an. Zuletzt hat die WHO ihre Leitlinien im Jahr 2021 angepasst. Die derzeit aktuellen Leitlinien der WHO wurden am 22. September 2021 veröffentlicht [6]. Tabelle 5 zeigt die neuen WHO-Leitlinien 2021 im Vergleich zu den EU-Grenzwerten. Zusätzlich zu den Leitlinien enthalten die globalen Luftqualitätsleitlinien der WHO Zwischenziele, die eine schrittweise Verschiebung von hohen zu niedrigeren Konzentrationen fördern sollen. Sollten diese Zwischenziele erreicht werden, ist mit einer deutlichen Reduzierung der Risiken für akute und chronische Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung zu rechnen. Das Erreichen der Richtwerte sollte das oberste Ziel sein [6].

Die EU-Kommission hat sich auch in dem siebten Umweltaktionsprogramm (Umweltaktionsprogramm 2014 bis 2020) verpflichtet die Luftqualität deutlich zu verbessern und sich stärker an die Leitwerte der WHO anzunähern. Der Kommissionsvorschlag für eine neue Europäische Luftreinhalterichtlinie ist für das 3. Quartal 2022 vorgesehen.

**Tabelle 5:** Die EU-Grenzwerte und die WHO Leitlinien

Schadstoff	EU-Grenzwerte	WHO Leitlinien 2021
PM _{2.5}	-	Tagesgrenzwert 15 µg/m ³ Überschreitung an max. 3-4 Tagen
	Jahresmittelwert 25 µg/m ³	Jahresmittelwert 5 µg/m ³
PM ₁₀	Tagesgrenzwert 50 µg/m ³ Überschreitung an max. 35 Tagen	Tagesgrenzwert 45 µg/m ³ Überschreitung an max. 3-4 Tagen
	Jahresmittelwert 40 µg/m ³	Jahresmittelwert 15 µg/m ³
SO ₂	1-Stunden-grenzwert 350 µg/m ³ Überschreitung an max. 24 Tagen	10-Minutengrenzwert 500 µg/m ³
	Tagesgrenzwert 125 µg/m ³ Überschreitung an max. 3 Tagen	Tagesgrenzwert 40 µg/m ³ Überschreitung an max. 3 Tagen
NO ₂	1-Stundengrenzwert 200 µg/m ³ Überschreitung an max. 18 Tagen	1-Stundengrenzwert 200 µg/m ³
		Tagesgrenzwert 25 µg/m ³ Überschreitung an max. 3-4 Tagen
	Jahresmittelwert 40 µg/m ³	Jahresmittelwert 10 µg/m ³
CO	-	Tagesgrenzwert 4 µg/m ³
	Max. 8-Stundengrenzwert 10 mg/m ³	Max. 8-Stundengrenzwert 10 mg/m ³ Überschreitung an max. 4 Tagen
	-	Max. 1-Stundengrenzwert 35 mg/m ³
	-	Max.15-Minutengrenzwert 100 mg/m ³
O ₃	-	Hochsaison 60 µg/m ³ *
	Max. 8-Stundengrenzwert 120 µg/m ³ Überschreitung an max. 25 Tagen über 3 Jahre gemittelt	Max. 8-Stundengrenzwert 100 µg/m ³

* Hochsaison: Durchschnitt der täglichen maximalen 8-Stundenmittelwert-O₃-Konzentration in den sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit der höchsten O₃-Konzentrationen im Sechsmonatsdurchschnitt

4.3 Lufthygienische Situation im Stadtgebiet von Stuttgart in den Jahren 2015 bis 2021

4.3.1 NO₂ Belastung

Die NO₂-Jahresmittelkonzentrationen sowie die Anzahl der Überschreitungstage von 2015 bis 2021 sind in Tabelle 6 dargestellt.

Seit dem Jahr 2015 ist einen Rückgang der NO₂-Jahresmittelwerte an allen Messstationen zu erkennen. Die niedrigsten Konzentrationen wurden an den Hintergrundstationen erfasst. Die Entwicklung der NO₂-Konzentration an der Hintergrundmessstation Bad Cannstatt zeigt einen geringeren Rückgang im Vergleich zu den verkehrsnahen Messstationen. Durch eine über die Jahre kontinuierliche Abnahme von 1 bis 3 µg/m³ fielen in den Jahren 2020 und 2021 die durchschnittlichen NO₂-Jahresmittelwerte auf die bisher gemessenen, niedrigsten Werte (23 bzw. 20 µg/m³). Die gemessenen Konzentrationen im S-Stadtgarten sowie an den stadteigenen Messstationen S-Schwabenzentrum und S-Amt für Umweltschutz zeigen ähnliche Werte wie die Hintergrundmessstation Bad Cannstatt. An den stadteigenen Messstationen S-Schwabenzentrum und S-Amt für Umweltschutz wurde im Jahr 2021 ein NO₂-Jahresmittelwert von 22 bzw. 18 µg/m³ ermittelt. Im Vergleich zu der Hintergrundstation Bad Cannstatt ist hier ein leichter Anstieg der Konzentrationen zu beobachten.

Die Spotmessstationen S-Am Neckartor und Hohenheimer Straße zeigen die höchsten Belastungen aller Messstationen in Stuttgart. Entsprechend den Berichten „Luftqualität in Baden-Württemberg“ der LUBW (2015 bis 2019) gehören beide Messstationen zu den am höchsten belasteten NO₂-Messstandorten in Baden-Württemberg [8, 9, 10, 11 und 12]. In den Jahren 2015 - 2018 variierten die gemessenen NO₂-Konzentrationen an den Spotmessstationen zwischen 65 und 87 µg/m³. Bis zum Jahr 2018 lag die NO₂-Belastung an beiden Stationen 40 % oberhalb des Grenzwerts. Im Jahr 2019 ist die NO₂-Belastung Am Neckartor und in der Hohenheimer Straße um 25 bzw. 23 % zurückgegangen. Der Rückgang ist auf verschiedene Maßnahmen zurückzuführen. Dazu zählt u. a. die Einführung des Dieselfahrverbots < Euro 5/V.

Die gemessenen Konzentrationen an den Messstationen Arnulf-Klatt-Platz und-Hauptstätter Straße zeigen ähnliche Werte. Zwischen 2015 und 2018 schwanken die Konzentrationen zwischen 46 und 62 µg/m³ und waren in Durchschnitt 30 % niedriger als die NO₂-Konzentrationen an der Messstelle Am Neckartor. Im Jahr 2019 hat sich die NO₂-Belastung weiter reduziert, jedoch nicht so stark wie an den Spotmessstationen (Am Neckartor und Hohenheimer Straße). Im Jahr 2020 verringerten sich die NO₂-Jahresmittelwerte an diesen Messstationen weiter um 10 - 16 µg/m³ (23-32 %).

Die NO₂-Belastung hat sich auch im Jahr 2021 weiter reduziert, jedoch nicht so stark wie in den Jahren zuvor. Im Vergleich zum Vorjahr (2020) war die NO₂-Belastung im Jahr 2021 bis 9 % an den verkehrsnahen Stationen und zwischen 6 bis 8 % an den Spotmessstationen sowie 13 % an der Hintergrundstation Bad Cannstatt reduziert.

Der einzuhaltende EU-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde an allen Stationen zum ersten Mal im Jahr 2020 eingehalten. Gründe sind die im Kapitel 2.3 genannten Maßnahmen. Einen wichtigen Beitrag leistete insbesondere die Reduzierung des Verkehrsaufkommens während die Eindämmung der Covid-19 Pandemie. Entsprechend Verkehrsdaten der LUBW reduzierte sich der Verkehr an der Messstation Am Neckartor zeitweise um ca. 20 %.

Neben einem Rückgang der Jahresmittelbelastung ist auch ein Rückgang der kurzzeitigen Spitzenbelastungen im betrachteten Zeitraum zu beobachten. Der Stundenmittelgrenzwert von 200 µg/m³, der

im Jahr nicht öfter als 18-mal (gemäß EU-Grenzwerte) überschritten werden darf, wurde an der Station Arnulf-Klett-Platz seit 2010, an der Station Hohenheimer Straße seit 2014 und an der Station Am Neckartor seit 2017 eingehalten [13]. An den Hintergrundstationen wurde dieser Kurzzeitgrenzwert im betrachteten Zeitraum ebenfalls nicht überschritten. In den Jahren 2020 und 2021 wurden an allen Messstationen in Stuttgart die EU-Grenzwerte eingehalten.

Zusätzlich zu den dauerhaften und Spot-Messstationen, führt die LUBW, im Auftrag des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg, verkehrsnahe Sondermessungen an Straßenabschnitten in der Talstraße und Pragstraße durch. Die NO₂-Konzentrationen werden mit Hilfe von NO₂-Passivsammlern gemessen. Im Jahr 2019 lagen die NO₂-Jahresmittelkonzentrationen an der Pragstraße (58 µg/m³) noch höher als an der Messstation am Neckartor (53 µg/m³) und an der Talstraße (50 µg/m³) auf dem gleichen Niveau wie an der Messstation Hohenheimer Straße. Im Jahr 2020 wurde an beiden Straßenabschnitten, Pragstraße und Talstraße, nur noch leichte Grenzwertüberschreitungen für NO₂ in Höhe von 43 und 41 µg/m³ festgestellt. Die NO₂-Belastung hat sich mit zusätzlichen Maßnahmen wie Filtersäulen an der Pragstraße sowie die Erweiterung der Busspur in der Talstraße, im Jahr 2021 weiter reduziert. Der einzuhaltende EU-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde im Jahr 2021 auch an den beiden Straßenabschnitten eingehalten.



Tabelle 6: NO₂-Jahresmittelwerte und Anzahl der NO₂-Überschreitungen für 2015-2021 im Stadtgebiet von Stuttgart (Auszug – LUBW, 2015–2021)

		Zeitraum						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
		NO ₂ Jahresmittel [µg/m ³]						
Messtation	S-Bad Cannstatt	32	31	30	27	25	23	20
	S- Arnulf-Klett-Platz	62	58	56	46	43	33	30
	S-Am Neckartor	87	82	73	71	53	38	35
	S-Hohenheimer Straße	77	76	69	65	50	34	32
	S-Hauptstätter Straße	-	-	51	49	-	34	31
	S-Stadtgarten			28	26	-	-	-
	S-Schwabenzentrum	32	-	28	29	25	19	22
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	16	18
	S-Talstraße (Passivsammler)	-	-	-	-	50	41	38
	S-Pragstraße (Passivsammler)	-	-	-	-	58	43	39
		NO ₂ 1-h-Mittel > 200 µg/m ³ Anzahl						
Messtation	S-Bad Cannstatt	0	0	0	0	0	0	0
	S- Arnulf-Klett-Platz	0	0	0	0	0	0	0
	S-Am Neckartor	61	35	3	11	2	0	0
	S-Hohenheimer Straße	15	10	3	0	3	0	0
	S-Hauptstätter Straße		-	0	0	-	1	0
	S-Stadtgarten		-	0	0	-	-	-
	S-Schwabenzentrum	0	0	0	0	0	0	0
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	0	0
		Überschreitung der EU-Grenzwerte						

4.3.2 PM₁₀ Belastung

Die PM₁₀-Jahresmittelkonzentrationen sowie die Anzahl der Überschreitungstage von 2015 bis 2021 sind in Tabelle 7 dargestellt.

Die PM₁₀-Belastung zeigt an allen Messstationen im betrachteten Zeitraum einen Rückgang der Jahresmittelkonzentrationen und der Anzahl den Überschreitungstagen.

Die Abnahme der Konzentrationen ist an den Spotmessstationen Am Neckartor und Hohenheimer Straße deutlich ausgeprägt. Seit 2015 hat sich die PM₁₀-Belastung an der Messstation Am Neckartor und Hohenheimer Straße um ca. 43 % und 37 % (16 bis 10 µg/m³) verringert. An der Hintergrundmessstation Bad Cannstatt und der Messstation Arnulf-Klatt-Platz liegt die Reduktion der PM₁₀-Belastung bei 21 % bzw. 30 % (4 bis 6 µg/m³) im betrachteten Zeitraum.

Auffällig ist eine deutliche Reduzierung der Jahresmittelbelastung an der Messstation Am Neckartor und auch eine deutliche Reduzierung der Überschreitungstage im Jahr 2018 von 41 auf 20. Dieser Rückgang der Überschreitungstage ist an allen Messstationen zu beobachten, wenngleich dieser teilweise etwas geringer ausfällt. Dennoch ist von einer zonalen und nicht lokal beschränkten Reduzierung der PM₁₀-Belastung auszugehen. Dieser Rückgang kann teilweise auf stadtweit wirkende Maßnahmen zur Reduzierung der Feinstaubbelastung zurückgeführt werden und auf einen generellen Rückgang der Hintergrundkonzentrationen. Laut den Berichten zur „Luftqualität in Baden-Württemberg“ war das Jahr 2018 das erste Jahr, in dem die Messstelle Am Neckartor nicht zu den deutschlandweit am stärksten PM₁₀ belasteten Messstandorten gehörte [11].

Diese starke Reduzierung der PM₁₀-Belastung setzt sich im Jahr 2019 nur teilweise fort. Im Jahr 2020 wurden im Stadtgebiet von Stuttgart dagegen die niedrigsten PM₁₀-Konzentrationen ermittelt. Im Vergleich zum Vorjahr liegt die Abnahme im Jahr 2020 zwischen 15 und 18 % an den Spotmessstationen Hohenheimer Straße und Am Neckartor. An der Messstelle Arnulf-Klatt-Platz wurde nur eine Abnahme von 4 % festgestellt. An der Hintergrundstation Bad Cannstatt bleiben die PM₁₀-Konzentration seit 2019 konstant.

Im Jahr 2021 hat sich die PM₁₀-Belastung an den Messstellen Am Neckartor und Arnulf-Klatt-Platz weiter reduziert. Im Vergleich zum Vorjahr, beträgt die Abnahme ca. 9% und 14%. An der Spotmessstation Hohenheimer Straße ist die PM₁₀-Konzentration konstant geblieben (17 µg/m³).

Der für den Feinstaub gültige EU-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel wurde im betrachteten Zeitraum an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten.

Der EU-Tagesgrenzwert von 50 µg/m³, der im Jahr nicht öfter als 35-mal überschritten werden darf, wurde an allen Messstationen, außer an der Spotmessstation Am Neckarpark, eingehalten. Dort wurde der Grenzwert seit 2018 nicht mehr überschritten.



Tabelle 7: PM₁₀-Jahresmittelwerte und Anzahl der PM₁₀-Überschreitungen für 2015-2021 im Stadtgebiet von Stuttgart (Auszug – LUBW, 2015–2021)

		Zeitraum						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
		PM ₁₀ Jahresmittel [µg/m³]						
Messtation	S-Bad Cannstatt	19	17	17	17	15	15	15
	S- Arnulf-Klett-Platz	27	25	25	23	23	22	19
	S-Am Neckartor	37	38	35	29	28	23	21
	S-Hohenheimer Straße	27	24	24	23	20	17	17
	S-Hauptstätter Straße	17	-	21	20	-	-	-
	S-Stadtgarten	-	-	18	17	-	-	-
	S-Schwabenzentrum	17	16	19	19*	-	-	-
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	12	12
PM ₁₀ Tagesmittel > 50 µg/m ³ Anzahl								
Messtation	S-Bad Cannstatt	3	5	11	3	3	2	3
	S- Arnulf-Klett-Platz	17	19	17	7	6	8	5
	S-Am Neckartor	72	58	41	20	25	15	11
	S-Hohenheimer Straße	24	13	16	11	5	3	5
	S-Hauptstätter Straße	-	13	17	9	-	-	
	S-Stadtgarten	-	-	11	6	-	-	
	S-Schwabenzentrum	0	0	0	-	-	-	-
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	0	0
Überschreitung der EU-Grenzwerte								

*Messungen im Jahr 2019 eingestellt

4.3.3 PM_{2,5} Belastung

Die PM_{2,5}-Jahresmittelkonzentrationen von 2015 bis 2021 sind in Tabelle 8 dargestellt.

Seit 2015 hat sich die PM_{2,5}-Belastung an den Messstationen Am Neckartor und Arnulf-Klett-Platz um 41 % bzw. 40 % verringert. An der Hintergrundmessstation Bad Cannstatt liegt die Reduktion der PM_{2,5}-Belastung bei 25 %. Vergleichbar der PM₁₀-Belastung wurden im Jahr 2021 die niedrigsten PM_{2,5}-Konzentrationen im gesamten betrachteten Zeitraum gemessen. Die Konzentrationen an den Messstationen Am Neckartor und Arnulf-Klett-Platz haben sich im Vergleich zu Vorjahr um 1 µg/m³ verringert. An der Hintergrundmessstation Bad Cannstatt sind die Konzentrationen gleichgeblieben. Der seit 2010 gültige EU-Grenzwert für PM_{2,5} von 25 µg/m³ im Jahresmittel wurde an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten.

Tabelle 8: PM_{2,5}-Jahresmittelwerte und Anzahl der PM_{2,5}-Überschreitungen für 2015-2021 im Stadtgebiet von Stuttgart (Auszug – LUBW, 2015–2021)

		Zeitraum						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
		PM _{2.5} Jahresmittel [µg/m³]						
Messstation	S-Bad Cannstatt	12	11	12	11	10	9	9
	S- Arnulf-Klett-Platz	15	14	14	13	11	10	9
	S-Am Neckartor	17	18	16	14	13	11	10

4.3.4 SO₂ Belastung

Die SO₂-Belastung wurde 36 Jahre an der Hintergrundstation Bad Cannstatt überwacht. Aufgrund der sehr niedrigen Belastungen weit unterhalb der gültigen Grenzwerte wurden die Messungen im Jahr 2017 eingestellt. Der ermittelte Jahresmittelwert für die beiden letzten Messjahre 2015 und 2016 lag bei 2 µg/m³. Die maximal erlaubte Anzahl von 24 Tagen mit mehr als 350 µg/m³ wurde in den Jahren 2015 und 2016 an der Hintergrundstation Bad Cannstatt nicht überschritten. Die höchsten gemessenen SO₂-Tagesmittelwerte lagen bei 5 bzw. 9 µg/m³.

4.3.5 Benzol

Auch der geltende Grenzwert für die Benzolkonzentration von 5 µg/m³ im Jahresmittel wurde an der Messstation S-Am Neckartor in den Jahren 2015-2021 eingehalten. Die Konzentrationen bleiben seit 2015 unter 2 µg/m³.

4.3.6 CO-Belastung

Der EU-Grenzwert für CO von 10000 µg/m³ im 8-Stundenmittel wurde in den Jahren 2015-2021 an der einzigen im Stadtgebiet von Stuttgart befindlichen CO erfassenden Messstation S-Arnulf-Klett-Platz eingehalten.

4.3.7 O₃-Belastung

Die Ozonkonzentration wird in Stuttgart an der Hintergrundstation S-Bad Cannstatt sowie an den stadteigenen Messstationen S-Schwabenzentrum und S-Amt für Umweltschutz erfasst.

Die Ozon-Jahresmittelkonzentrationen sowie die Anzahl der Überschreitungstage von 2015 bis 2021 sind in Tabelle 9 dargestellt. In dem Zeitraum von 2015 bis 2020 ist ein allgemein leicht ansteigender Trend in den jährlichen Ozon-Konzentrationen zu beobachten. Im Vergleich zu den Vorjahren ist im Jahr 2018 der stärkste Anstieg der Ozonjahresmittelkonzentration von 6 µg/m³ zu beobachten gewesen. Die höchsten Ozonkonzentrationen im betrachteten Zeitraum wurden im Jahr 2020 ermittelt. Der Jahresmittelwert der gemessenen Ozonkonzentrationen im 2021 lag 12 % bzw. 6 µg/m³ niedriger.

Für die Ozonkonzentration ist ein Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 120 µg/m³ (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages) bei 25 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr definiert. Dabei ist zu beachten, dass für die Beurteilung, ob der Zielwert eingehalten werden kann, die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre maßgebend ist. Die Mittelung über mehrere Jahre dient dazu, den starken Einfluss der Meteorologie auf die Ozonbildung zu berücksichtigen. An der Messstation S-Bad Cannstatt sind in den Jahren 2018 bis 2020 Überschreitungen des EU-Grenzwertes für Ozon aufgetreten. Im Jahr 2020 wurden 38 Überschreitungstage registriert. Die Anzahl der Überschreitungstage hat sich im Jahr 2021 auf 26 Tage verringert.

Die Zunahme der Ozonbelastung in den Jahren 2018, 2019 und 2020 kann teilweise auf die anhaltenden heißen und sonnigen Wetterbedingungen zurückzuführen. Im Jahr 2018 traten vergleichsweise verstärkte heiße Sommerwetterbedingungen mit langanhaltenden Hochdruckwetterlagen auf, die im Vergleich zu den Vorjahren die Ozonbildung stark begünstigten [11]. In Hinblick auf die Jahreswerte für Temperatur und Sonneneinstrahlung in den Jahren 2019 und 2020, lagen die Werte auf gleichem Niveau wie 2018 (Kap. 3.1 und 3.4). Im Jahr 2021 traten im Vergleich zu 2020 weniger langanhaltende sommerliche Hochdruckwetterlagen auf und die Jahreswerte für Temperatur und Sonneneinstrahlung lagen auch auf einem niedrigen Niveau.

Im Jahr 2020 die Abnahme der NO₂-Konzentrationen in der Stadt während die Eindämmung der Covid-19 Pandemie beeinflusst auch den Anstieg der Ozon-Belastung. Da weniger NO (Stickstoffoxid) für den Ozonabbau zur Verfügung gestanden ist (Abschnitt 4.4.3).



Tabelle 9: Ozon-Jahresmittelwerte und Anzahl der Ozon-Überschreitungen für 2015-2021 im Stadtgebiet von Stuttgart (Auszug – LUBW, 2015–2021)

		Zeitraum						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
		Ozon Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]						
Messstation	S-Bad Cannstatt	42	39	42	48	47	50	44
	S-Schwabenzentrum	18	17	23	19	18	10	*
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	55	51
		8-Stundenmittel > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Anzahl						
Messstation	S-Bad Cannstatt	24	25	22	27	32	38	26
	S-Schwabenzentrum	0	0	0	0	0	0	*
	S-Amt für Umweltschutz	-	-	-	-	-	28	*

*keine Daten

4.4 Zeitliche Variationen ausgewählter Luftschadstoffe

Im Folgenden werden für die saisonalen Variationen, mittleren Tagesgänge und Wochengänge der Luftschadstoffe NO_2 , PM_{10} , und O_3 bewertet.

4.4.1 Saisonale Variationen

Wie im Kapitel 3.5 erwähnt, hängen Schadstoffkonzentrationen in der Stadtluft nicht nur von ihrer Quelle, sondern auch von den meteorologischen Bedingungen ab. Nach ihrer Freisetzung werden die Luftschadstoffkonzentrationen durch maßgeblich durchatmosphärische Transport-, Ausbreitungs- und Entfernungsmechanismen beeinflusst.

NO_2

In Abbildung 4.2 sind die saisonalen Mittelwerte und Jahresmittelkonzentrationen gemittelt über 6 Jahre (2015-2021) von NO_2 an den vier LUBW-Stationen dargestellt.

An der Hintergrundstation Bad Cannstatt ist eine saisonale Variabilität mit höheren Konzentrationen in den Wintermonaten (Januar, Februar und Dezember) und geringeren in den Sommermonaten (June, Juli und August) zu beobachten. Im Winter sind die Konzentrationen 30 % höher als der Jahresmittelwert und im Sommer liegen die Konzentrationen 26 % unter dem Jahresmittelwert. Die Konzentrationen im Herbst sind etwas höher als im Frühjahr. Die Konzentrationen an der Messstation Arnulf-Klett-Platz zeigen ein ähnliches Verhalten wie die an der Hintergrundstation, jedoch mit geringerer Abweichung vom Mittelwert. Im Winter sind die Konzentrationen 17 % höher als der Jahresmittelwert. Ähnliche Konzentrationen werden im Frühjahr und Herbst beobachtet. Die Konzentrationen im Sommer liegen 8 % unter dem Jahresmittelwert. An den Messstationen Am Neckartor und Hohenheimer Straße ist nahezu eine relativ gering jahreszeitliche Schwankung zu beobachten. An beiden Stationen traten die höchsten Konzentrationen im Winter auf. Ähnliche Konzentrationen wurden im Frühjahr, Sommer und Herbst beobachtet.

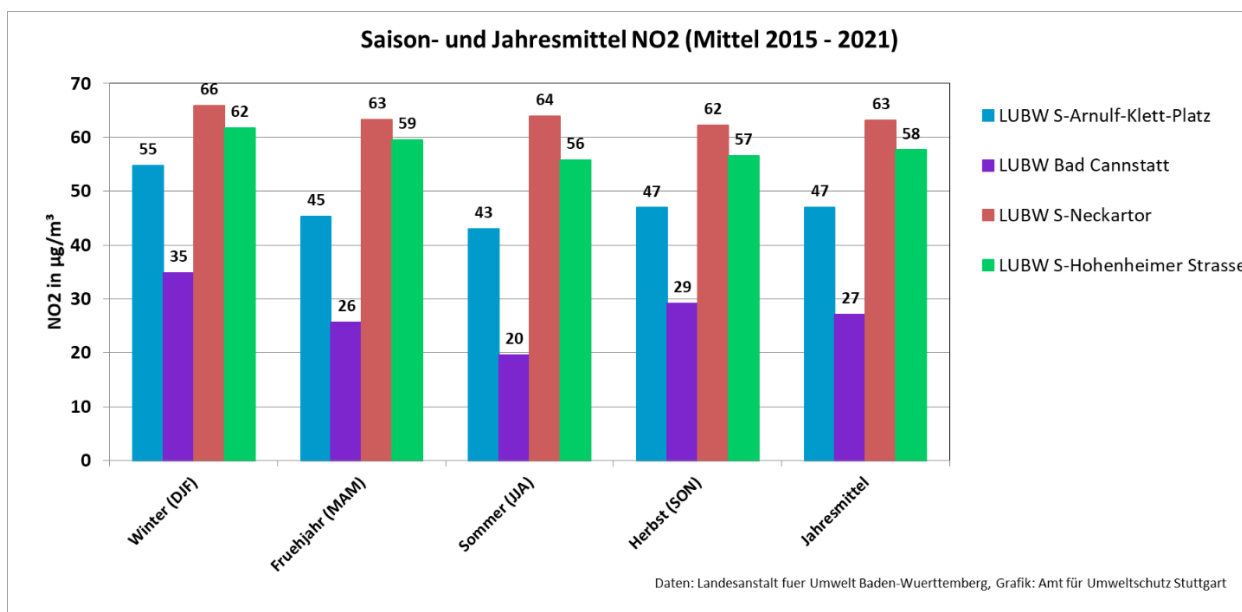


Abbildung 4.2 Saisonale Mittelwerte und Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen an den LUBW Messstationen für die Jahre 2015 bis 2021

PM₁₀

In Abbildung 4.3 sind die saisonalen Mittelwerte und Jahresmittelwerte (2015-2021) von PM₁₀ an den vier LUBW-Stationen dargestellt.

Die PM₁₀-Belastung zeigt einen deutlichen saisonalen Verlauf. An allen vier Messstationen werden die höchsten saisonalen Mittelwerte im Winter beobachtet. Die Winterkonzentrationen an der Messstation Arnulf-Klett-Platz sowie an der Hintergrundstation Bad Cannstatt lagen um mehr als 20 % über dem jährlichen Mittelwert. An den Messstationen Am Neckartor und Hohenheimer Straße sind es 18 %. Im Winter kommt es auch zu den meisten Überschreitungen des Grenzwertes für die PM₁₀-Tagesmittelbelastung. An den Stationen Am Neckartor, Arnulf-Klett-Platz und Bad Cannstatt werden im Sommer die niedrigsten Konzentrationen beobachtet. Zwischen Frühjahr und Herbst gibt es keine signifikanten Unterschiede in den Konzentrationen. An der Messstation Hohenheimer Straße wurden die niedrigsten Konzentrationen im Herbst und im Sommer beobachtet.

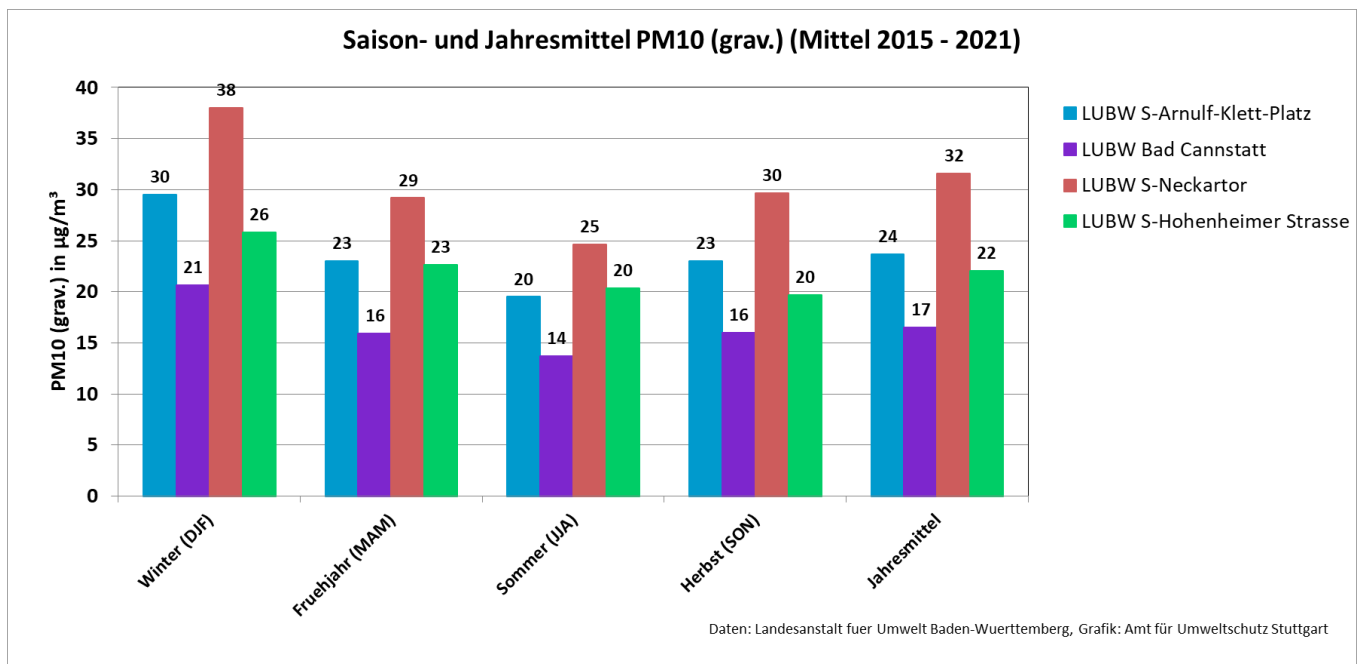
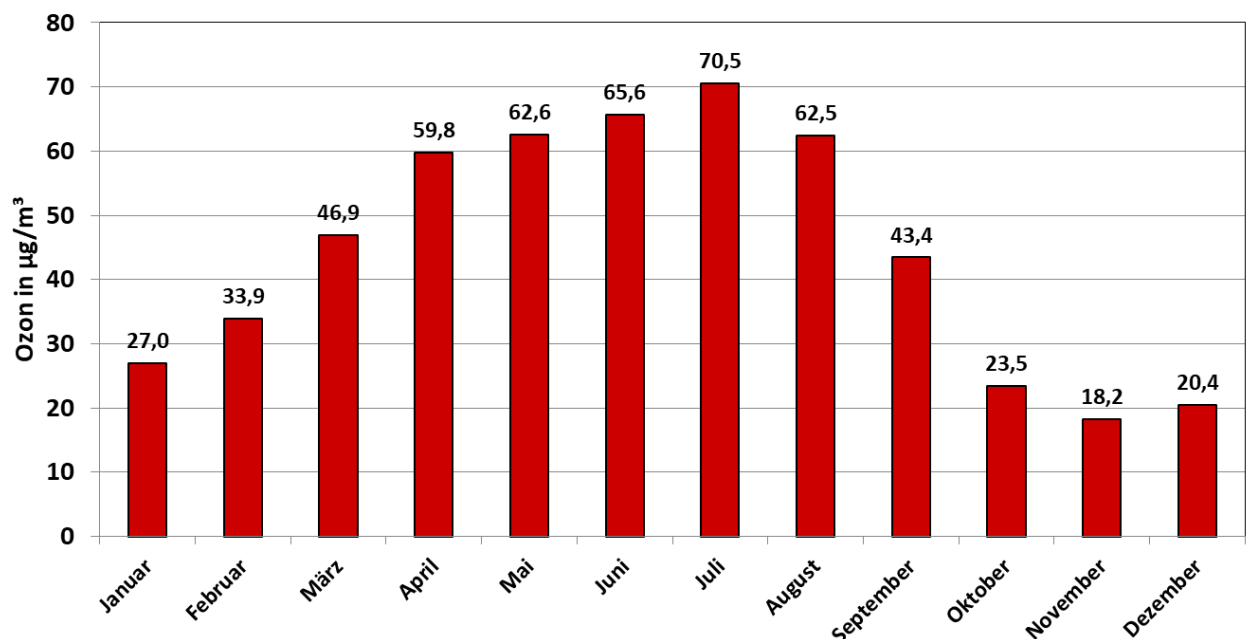


Abbildung 4.3 Saisonale Mittelwerte und Jahresmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen an den LUBW Messstationen für die Jahre 2015 bis 2021

Ozon

In Abbildung 4.4 sind die monatlichen Mittelwerte (2015-2021) von O₃ an der Hintergrundstation Bad Cannstatt dargestellt. Die monatliche Variation der O₃-Konzentration zeigt ein entgegengesetzter Verlauf im Vergleich zu dem NO₂-Jahresverlauf. Aufgrund der strahlungsbedingt erhöhten Ozonproduktion in den Sommermonaten ist die O₃-Konzentration in den Sommermonaten maximal und in den Wintermonaten minimal. Die höchsten O₃-Konzentrationen wurden im Juni und Juli ermittelt. Diese waren auch die strahlungsreichsten Monate des Jahres (Abschnitt 3.3, Abbildungen 3.18 und 3.19). Die niedrigsten O₃-Konzentrationen wurden im Herbst und Winter beobachtet, vor allem im November.

Monatsmittel LUBW Bad Cannstatt Ozon (Mittel 2015 - 2021)



Daten: Landesanstalt fuer Umwelt Baden-Wuerttemberg, Grafik: Amt für Umweltschutz Stuttgart

Abbildung 4.4 Monatliche Mittelwerte der Ozon-Konzentration an der LUBW Hintergrundstation Bad Cannstatt für die Jahre 2015 bis 2021

Die Jahresverläufe der angeführten Luftschadstoffe mit Ausnahme des Ozons 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. In den Wintermonaten im Gegensatz zu den Sommermonaten treten verstärkt austauscharme Wetterlagen auf. Dies resultiert in höheren Konzentrationen von NO_2 - und PM_{10} -Konzentrationen in den Wintermonaten. Diese Erhöhung der Konzentrationen wird zusätzlich durch gesteigerte anthropogene Emissionen durch den Betrieb von Feuerungsanlagen für Heizungen verstärkt. In den Sommermonaten sind die anthropogenen Emissionen zumindest zeitweise, aufgrund des ferienbedingt niedrigeren Verkehrsaufkommens, geringer.

Die Stickoxidkonzentrationen 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. Dies führt zu dem beobachteten Ozonmaximum in den Sommermonaten. Weiterhin wird das zur Verfügung stehende Ozon durch die Abbaureaktion mit NO in NO_2 umgewandelt. Durch das vermehrt verfügbare Ozon in den Sommermonaten wird infolge der Abbaureaktion die NO -Konzentration zusätzlich verringert aber auch vermehrt NO_2 gebildet. Aufgrund des infolge der Ozonchemie gebildeten NO_2 sind die

jahreszeitlichen Schwankungen der NO_2 -Konzentration im Gegensatz zu den anderen betrachteten Luftschadstoffkonzentrationen relativ gering.

4.4.2 Tagesgänge

NO_2

In Abbildung 4.5 sind die mittleren Tagesgänge der NO_2 -Belastung an Werktagen für die Jahre 2015-2021, ermittelt an den LUBW Messstationen, dargestellt. Die NO_2 -Konzentrationen zeigen während der Werktage an den Messstationen Am Neckartor und Hohenheimer Straße einen deutlichen Tagesgang mit jeweils einem Peak am Morgen und einem Peak am Abend. Ab 5:00 Uhr morgens steigen die Konzentrationen an und erreichen zwischen 7:00 und 9:00 Uhr ihr Maximum. Danach fallen sie um 12:00 Uhr ab und steigen dann noch einmal und erreichen zwischen 17:00 und 19:00 Uhr ein zweites Tagesmaximum. Diese Maxima spiegeln das erhöhte berufs- und lieferbedingte Verkehrsaufkommen in diesen Zeiten wieder. Die Konzentrationen während des Abendpeaks liegen etwas höher als die vom Morgenpeak (3 % Am Neckartor und 5 % Hohenheimer Straße). In der Nacht sinken die Konzentrationen dann erneut wieder.

Die Tagesgänge an der Messstation Arnulf-Klett-Platz und an der Hintergrundstation Bad Cannstatt zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf. An beiden Stationen steigen auch die NO_2 -Konzentrationen nach 4:00 Uhr an und erreichen zwischen 7:00 und 9:00 Uhr ihr Maximum. Die Konzentrationen fallen bis 13:00 Uhr ab und steigen wieder an. An der Messstation Arnulf-Klett-Platz erreichen die Konzentrationen ihr Maximum zwischen 19:00 und 22:00 Uhr und an der Hintergrundstation zwischen 21:00 und 23:00 Uhr.

An den verkehrsnahen Messstationen treten die geringsten NO_2 -Konzentrationen zu Zeiten des geringsten Verkehrsaufkommens nachts zwischen 02:00 Uhr und 04:00 Uhr auf. An der Hintergrundstation erreichen die Konzentrationen ihre niedrigsten Niveaus zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr.

In Abbildung 4.6 sind die mittlere Tagesgänge der NO_2 -Belastung am Wochenende für die Jahre 2015-2021, ermittelt an den LUBW Messstationen, dargestellt. Am Wochenende treten an den Messstationen Am Neckartor und Hohenheimer Straße die höchsten NO_2 -konzentrationen in den Abend- und Nachtstunden und die geringsten Konzentrationen zwischen 04:00 und 08:00 Uhr auf. Um 09:00 Uhr steigen die Konzentrationen langsam an und erreichen zwischen 18:00 und 21:00 Uhr ihr Maximum. Das liegt eindeutig an dem erhöhten freizeitbedingten Verkehrsaufkommen in den Abendstunden am Wochenende. Die geringsten NO_2 -Konzentrationen treten an der Hintergrundstation zwischen 12:00 Uhr und 16:00 Uhr auf. Nach 17:00 Uhr steigen die Konzentrationen an und erreichen zwischen 20:00 und 01:00 Uhr ihr Maximum. An der Messstation Arnulf-Klett-Platz erreichen die Konzentrationen ihre niedrigsten Niveaus zwischen 08:00 Uhr und 13:00 Uhr. Nach 14:00 Uhr steigen die Konzentrationen an und erreichen ihr Maximum, wie an der Hintergrundstation, zwischen 20:00 und 01:00 Uhr.

Eine Besonderheit der NO_2 -Tagesgänge am Wochenende ist, dass im Vergleich zu den NO_2 -Tagesängen an Werktagen höhere NO_2 -Konzentrationen in den Nachtstunden (01:00 bis 04:00 Uhr) auftreten. Dies kann auf ein höheres Verkehrsaufkommen infolge von Freizeitverkehr in den Abend- und Nachtstunden an Samstagen und Sonntagen zurückgeführt werden. Die emittierten Luftschadstoffe sammeln sich in den Nachtstunden bodennah an und bewirken eine zusätzliche Erhöhung der Konzentrationen.

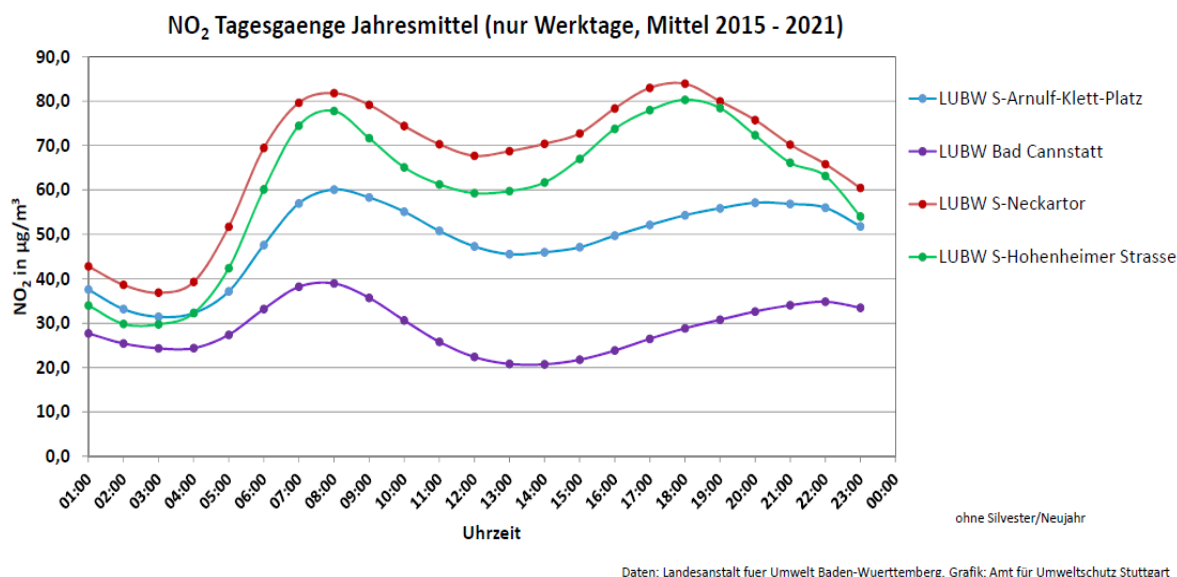


Abbildung 4.5 Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von NO₂ an Werktagen ermittelt an den LUBW Messstationen (Am Neckarpark: rote Linie, Hohenheimer Straße grüne Linie, Arnulf-Klett-Platz blaue Linie und Bad Cannstatt lila Linie) dargestellt für die Jahre 2015-2021.

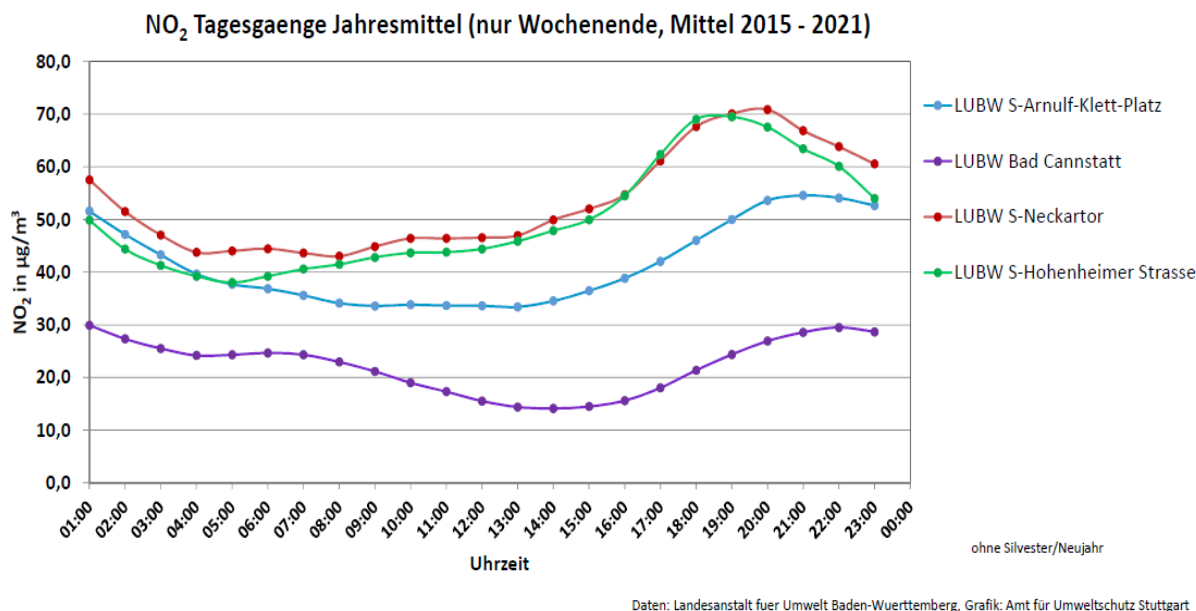


Abbildung 4.6 Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von NO₂ am Wochenende ermittelt an den LUBW Messstationen (Am Neckarpark: rote Linie, Hohenheimer Straße grüne Linie, Arnulf-Klett-Platz blaue Linie und Bad Cannstatt lila Linie) für die Jahre 2015-2021.

PM₁₀

In Abbildung 4.7 sind die mittlere Tagesgänge der PM₁₀-Belastung an den Werktagen für die Jahre 2015-2021, ermittelt an den verkehrsnahen Messstationen Am Neckartor und Arnulf-Klett-Platz sowie an der Hintergrundstation Bad Cannstatt, dargestellt. Für die Messstation Hohenheimer Straße sind nur Tagesmesswerte vorhanden, deshalb konnte der PM₁₀ Tagesgang nicht berechnet werden. Die PM₁₀-Belastung an der Messstation Am Neckartor ist charakterisiert durch ein Ansteigen der Konzentrationen in den frühen Morgenstunden bis zu einem Maximum in den Morgenstunden gefolgt von einer allmählichen Abnahme in den Mittag- und frühen Nachmittagsstunden. Die PM₁₀-Belastung erreicht ihr absolutes Minimum in den frühen Morgenstunden zwischen 00:00 und 3:00 Uhr. Ab 04:00 Uhr morgens steigen die Konzentrationen an und erreichen zwischen 7:00 und 12:00 Uhr ihr Maximum. An der Messstation Arnulf-Klett-Platz zeigen die Konzentrationen ein ähnliches Verhalten wie am Neckartor. Die PM₁₀-Belastung an der Hintergrundstation zeigt ein ähnliches Verhalten, jedoch ist der Morgenpeak weniger ausgeprägt. Die Konzentrationen steigen ab 6 Uhr morgens allmählich an und nehmen nach 12:00 Uhr wieder ab. Nach 17:00 Uhr steigt die PM₁₀-Belastung tendenziell wieder an. In den Abendstunden und am frühen Morgen bleiben die Konzentrationen mehr oder weniger konstant. Die PM₁₀-Belastung in den frühen Morgenstunden (1:00 bis 4:00 Uhr) ist höher als an der Verkehrsstation Arnulf-Klett-Platz.

In Abbildung 4.8 sind die mittleren Tagesgänge der PM₁₀-Belastung am Wochenende für die Jahre 2015-2021, ermittelt an den verkehrsnahen Messstationen Am Neckartor und Arnulf-Klett-Platz sowie an der Hintergrundstation Bad Cannstatt, dargestellt. Am Wochenende, ähnlich wie bei dem NO₂-Tagesgang, ist die PM₁₀-Belastung in den frühen Morgenstunden (1:00 bis 4:00 Uhr) höher als die an Werktagen. Während dieser Stunden ist die PM₁₀-Belastung an der Hintergrundstation Bad Cannstatt und an der Messstation Arnulf-Klett-Platz fast gleich. Die PM₁₀-Konzentrationen an der Hintergrundstation und an der Messstation Am Neckartor zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf, mit einem Maximum in den frühen Morgen- und Nachtstunden. Tagsüber sind die Konzentrationen niedriger. Nach 17:00 Uhr steigt die PM₁₀-Belastung tendenziell wieder an. Dies kann auf ein höheres Verkehrsaufkommen infolge von Freizeitverkehr in den Abend- und Nachtstunden an Samstagen und Sonntagen zurückgeführt werden. Die emittierten Luftschadstoffe sammeln sich in den Nachtstunden bodennah an und bewirken eine zusätzliche Erhöhung der Konzentrationen.

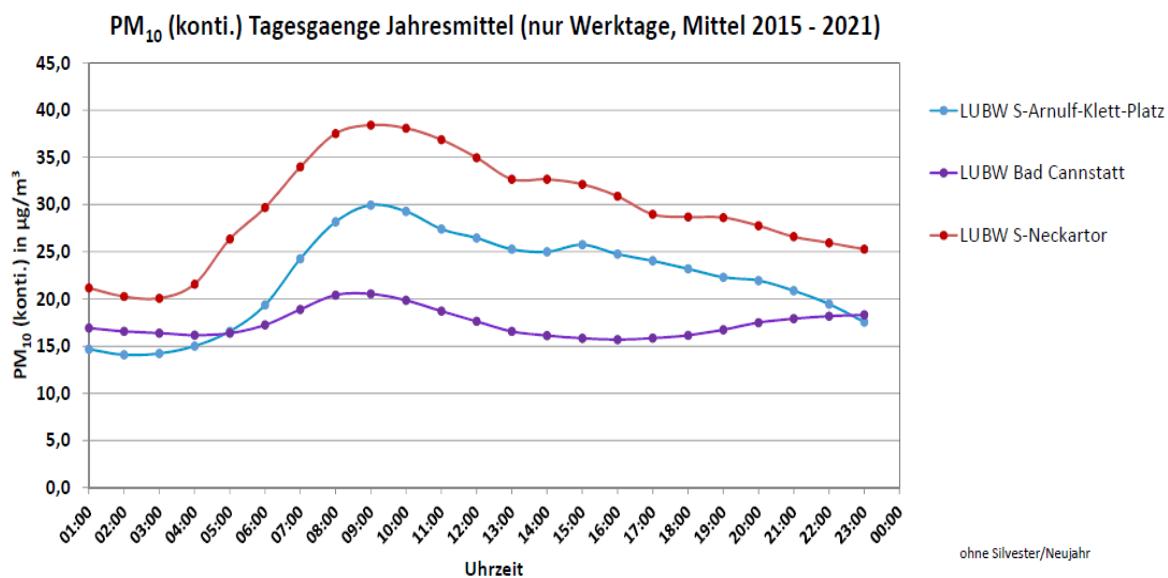


Abbildung 4.7 Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von PM₁₀ an Werktagen ermittelt an den LUBW Messstationen (Am Neckarpark: rote Linie, Arnulf-Klett-Platz: blaue Linie und Bad Cannstatt: lila Linie) für die Jahre 2015-2021.

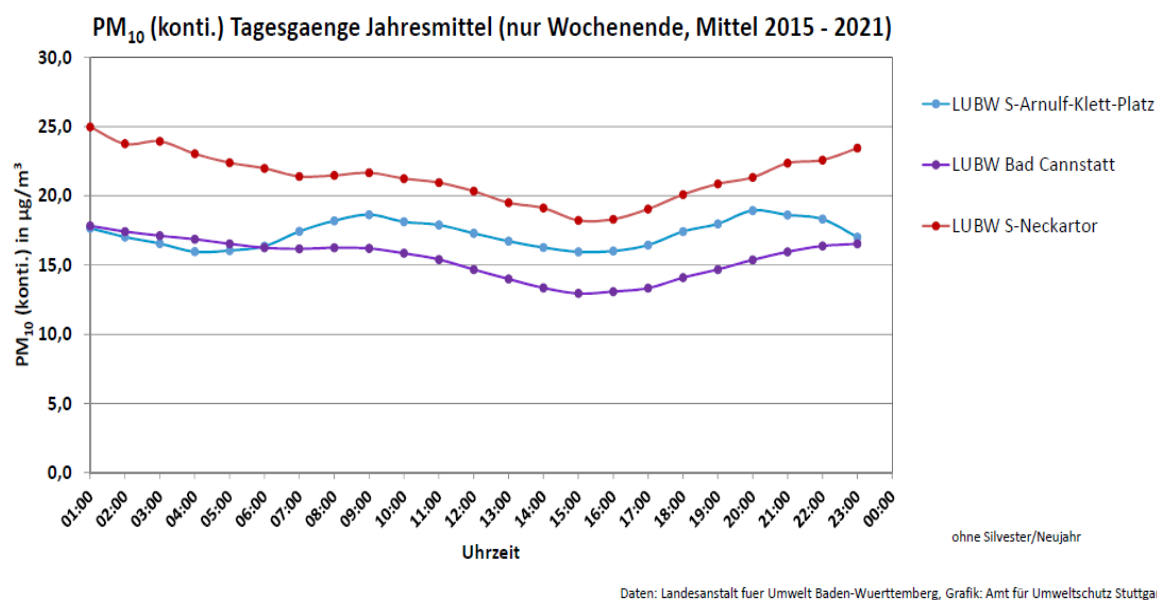


Abbildung 4.8 Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von PM₁₀ am Wochenende ermittelt an den LUBW Messstationen (Am Neckarpark: rote Linie, Arnulf-Klett-Platz: blaue Linie und Bad Cannstatt: lila Linie) für die Jahre 2015-2021.

Ozon

Der O₃-Tagesverlauf (Abb. 4.9) ist gekennzeichnet durch ein ausgeprägtes Maximum der Ozonkonzentration zwischen 12:00 Uhr und 18:00 Uhr sowie ein Minimum in den Morgenstunden an Werktagen zwischen 06:00 Uhr und 08:00 Uhr. Das Minimum am Wochenende ist weniger stark ausgeprägt und tritt zwischen 05:00 Uhr und 07:00 Uhr auf. 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 Nachmittagsstunden am größten. Das Maximum der Ozonstundenmittelkonzentration ist gegenüber dem Maximum der Ozonproduktion um einige Stunden in die späten Nachmittagsstunden verschoben, da unter Einwirkung der UV-Sonnenstrahlung weiter Ozon produziert wird und sich so die Ozonkonzentrationen weiter aufbauen. Bei nachlassender UV-Sonneneinstrahlung überwiegt die Ozonabbaureaktion mit NO und die Ozonkonzentrationen sinken in den Abendstunden und erreichen im Allgemeinen 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, stark begünstigt. Generell ist zu beobachten, dass die Ozonkonzentrationen tagsüber am Wochenende über den Ozonkonzentrationen an Werktagen liegen. Dies ist zurückzuführen auf den verringerten Ozonabbau infolge geringer NO-Konzentrationen am Wochenende (besonders sonntags, Kapitel 4.4.3).

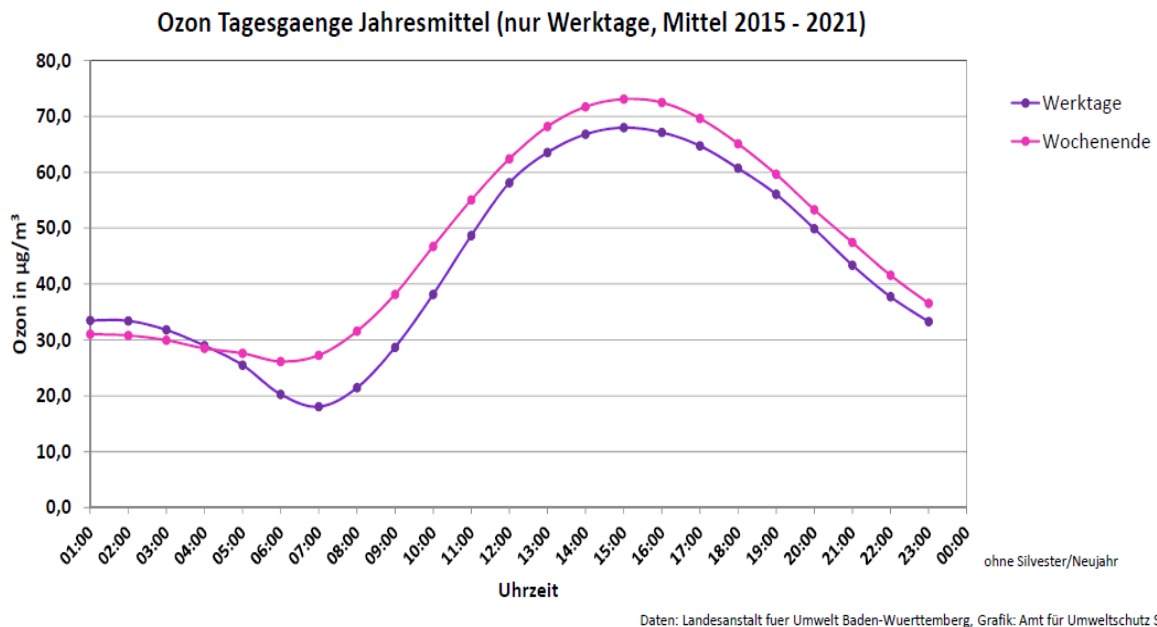


Abbildung 4.9 Tageszeitliche Variationen der Stundenmittelkonzentrationen von Ozon an Werktagen und am Wochenende ermittelt an der LUBW Hintergrundstation Bad Cannstatt für die Jahre 2015-2021.

4.4.3 Wochengänge

Neben den tageszeitlichen Schwankungen ist bei den Luftschadstoffkonzentrationen auch ein deutlicher Wochengang der Tagesmittelkonzentration zu erkennen (Abb. 4.10). Wie auch bei den Tagesgängen sind die Wochengänge überwiegend mit den wochenzeitlichen Unterschieden der menschlichen Aktivitäten und der damit verbundenen Luftschadstoffemissionen zu erklären. Die Wochengänge dieser Luftschadstoffe sind gekennzeichnet durch hohe Tagesmittelkonzentrationen an den Werktagen Dienstag bis Freitag, verringerte Tagesmittelkonzentrationen an Montagen und im Vergleich zu den anderen Wochentagen niedrigen Tagesmittelkonzentrationen an Samstagen und Sonntagen.

Die höchsten Unterschiede zwischen den Werktag- und Wochenendkonzentrationen treten bei NO auf, mit einer ca. 58 % geringeren Tagesmittelkonzentration am Sonntag im Vergleich zur maximalen Tagesmittelkonzentration am Donnerstag. Für die anderen Luftschadstoffe sind diese Unterschiede geringer aber immer noch signifikant. Die NO_2 -Konzentrationen sind am Sonntag im Tagesmittel um ca. 31% geringer als am Donnerstag und/oder Freitag wo die höchsten Tagesmittelkonzentrationen zu beobachten sind. An Sonntagen sind die PM_{10} -Konzentrationen ca. 37% geringer im Vergleich zur maximalen Tagesmittelkonzentration am Mittwoch und/oder Donnerstag.

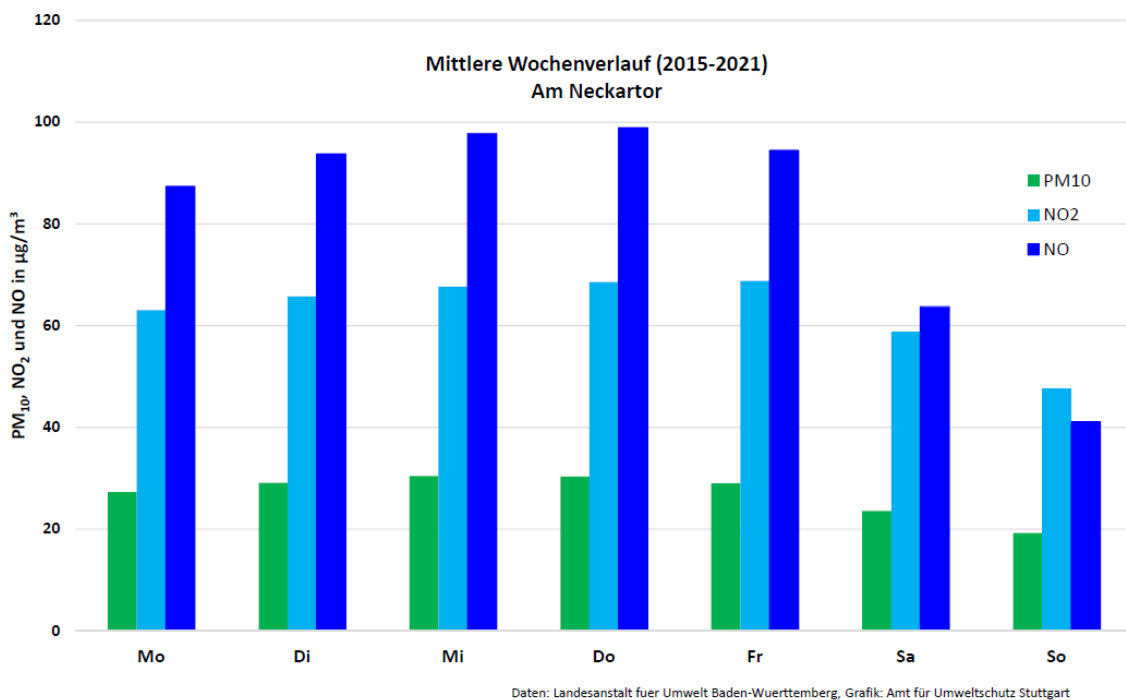


Abbildung 4.10 Wochenzeitliche Variationen der Tagesmittelkonzentrationen von Feinstaub (PM_{10} grün), Stickstoffdioxid (NO_2 hellblau), und Stickstoffmonoxid (NO blau) ermittelt an der Messstation Am Neckartor.

In Abbildung 4.11 sind die mittlere Wochenverläufe der O_3 und NO- Belastung für die Jahre 2015 -2021, ermittelt an der Hintergrundstation Bad Cannstatt, dargestellt. Die Ozonkonzentration und die NO-Konzentration zeigen gegensätzliche Wochenverläufe (Abb. 4.11, lila). Beim Ozon treten die höchsten

Konzentrationen am Sonntag auf. 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.

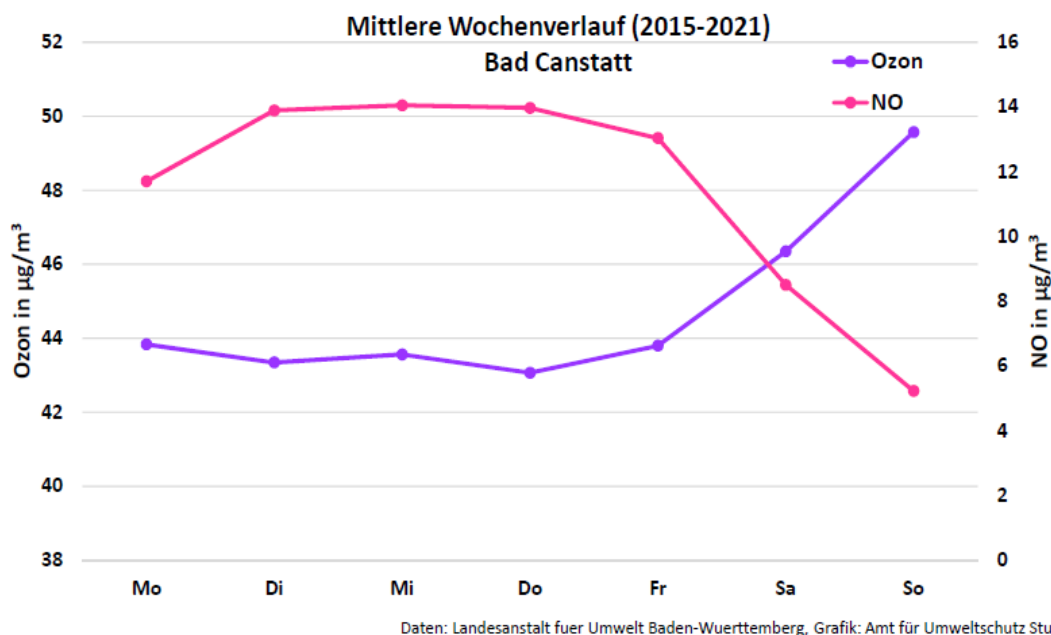


Abbildung 4.11 Mittlere Wochenverläufe von NO (rosa) und Ozon (lila) an der Hintergrundstation Bad Canstatt

5 Feinstaubalarm

Von Januar 2016 bis April 2020 hat die Stadt Stuttgart zwischen dem 15. Oktober und dem 15. April an Tagen mit besonders schadstoffträchtiger Wetterlage Feinstaubalarm ausgerufen. Der Alarm wurde ausgelöst, sobald der DWD an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen ein stark eingeschränktes Austauschvermögen der Atmosphäre prognostiziert. Das Austauschvermögen wird anhand spezifischer Kriterien prognostiziert. Diese Kriterien sind in der Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Schadstoffrelevante Kriterien des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Auslösekriterium	Schwellenwert
1. Feinstaubkonzentration mehr als $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ und fehlender Regen	
2. Fehlender Regen	0 mm
3. Fehlender wirksamer Wind aus günstiger Richtung	Keine Anströmung aus $180\text{--}330^\circ$ mit mehr als 3 m/s
4. Nächtliche Bodeninversion	Die Temperatur über dem Stuttgarter Talkessel nimmt in den Nacht und Frühstunden mit der Höhe zu
5. Flache Mischungsschicht tagsüber	Die Mischungsschichthöhe ist tagsüber kleiner als 500 m
6. Geringe Windgeschwindigkeit	Die Windgeschwindigkeit beträgt im Mittel weniger als 3 m/s

Grundsätzlich hing die Auslösung des Feinstaubalarms von Anzahl und Kombination erfüllter Kriterien ab. Das Kriterium 1 (Feinstaubkonzentration $> 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ und fehlender Regen) wurde als vorrangiges Erfüllungskriterium eingestuft. Das heißt, die Erfüllung dieses Kriteriums reichte bisher aus, um den Feinstaubalarm auszulösen. Sollte das Kriterium 1 nicht erfüllt gewesen sein, mussten mindestens vier der anderen Kriterien vorliegen, damit das Austauschvermögen vom DWD als stark eingeschränkt eingestuft wurde. Die Kriterien 2 (fehlender Regen) und 3 (fehlender wirksamer Wind aus günstiger Richtung) sowie mindestens eines der Kriterien 4 (nächtliche Bodeninversion) oder 5 (flache Mischungsschicht) mussten zwingend vorliegen. Das Kriterium 6 (geringe Windgeschwindigkeit) musste erfüllt sein, sollte nur eines der Kriterien 4 oder 5 vorgelegen haben.

5.1 Feinstaubalarmzeiträume

Insgesamt gab es bisher vier Feinstaubalarmphasen. Wegen der Einhaltung der PM_{10} -Grenzwerte wurde ist der Feinstaubalarm Mitte April 2020 eingestellt. Das durch die Luftqualitätsverordnung des Landes Baden-

Württemberg gesetzlich vorgeschriebene Betriebsverbot für Komfort-Kamine war bis 15. April 2022 gültig und wurde durch die gleichen Kriterien ausgelöst. Die Anzahl der Alarmtage, die Anzahl der Überschreitungstage ($PM_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sowie die Feinstaubmittelwerte (PM_{10} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) während die Feinstaubalarmtage sind für alle Feinstaubalarmzeiträume in Tabelle 11 zusammengefasst. Mit Beginn der ersten Feinstaubalarmsaison wurde am 26. Oktober 2016 der erste Feinstaubalarm der Saison 2016/2017 ausgelöst. Diese Saison bestand aus 13 Feinstaubperioden mit insgesamt 85 Feinstaubalarmtagen (Tabelle 11). 63 der Alarmtage traten während Werktagen und 19 am Wochenende auf. Während den Werktagen mit Feinstaubalarm lagen die Tageswerte der PM_{10} -Konzentration zwischen 30 und $178 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und am Wochenende zwischen 29 und $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Witterung war in diesen Perioden trocken, mit langanhaltenden stabilen Hochdruckwetterlagen und geringen Windgeschwindigkeiten. Die längste Feinstaubperiode trat im Januar 2017 und hielt für 15 Tage an. Der PM_{10} -Tagesgrenzwert ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde 64-mal überschritten (Tabelle 11). Die meisten Überschreitungen erfolgten im Dezember 2016 mit 19 Überschreitungstagen sowie im Januar und Februar 2017 mit 17 bzw. 14 Überschreitungstagen. Der PM_{10} -Mittelwert für die ganze Saison lag bei $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Wie in der Tabelle 11 dargestellt, waren die zweite und dritte Feinstaubalarmsaisons in Bezug auf PM_{10} -Konzentrationen, Anzahl der Überschreitungstage sowie die Anzahl der Feinstaubalarmtage sehr ähnlich. Die längste Feinstaubperiode für die zweite und dritte Saison trat im Februar 2018 und 2019 auf. Diese hielt für 13 bzw. 16 Tage an. Die meisten Überschreitungen wurden auch im Februar 2018 und 2019 ermittelt. Der PM_{10} -Mittelwert lag in der zweiten und dritten Saison bei $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Während der vierten und letzten Feinstaubalarmsaison wurden 36 Alarmtage und 14 Überschreitungstage registriert. Im Vergleich zu anderen Alarmsaisons zeigt die vierte Saison die niedrigste Anzahl den Alarmtagen und Überschreitungstagen (- 57% Alarmtage und -78% Überschreitungstage gegenüber der Saison 2016/2017). Die meisten Überschreitungen erfolgten im Dezember 2019 und Januar 2020 (mit 6 Überschreitungen je Monat).

Tabelle 11: Übersicht aller Feinstaubalarmsaisons

Feinstaubalarm-saison	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Anzahl der Überschreitungstage	64	22	24	14
Tage mit Feinstaubalarm	85	56	58	36
PM_{10} -Mittelwert für die Saison	50	31	30	26

6 Ausblick

Für die Jahre 2015 bis 2021 ist eine deutliche und kontinuierliche Abnahme der städtischen Feinstaub (PM_{10}) - und Stickstoffdioxid (NO_2) - Konzentrationen zu beobachten. In Stuttgart wurden die Grenzwerte für Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO) und Benzol in den Jahren 2015 bis 2021 deutlich unterschritten. Die Ozonjahresmittelkonzentrationen zeigten einen leicht ansteigenden Trend.

Im Jahr 2020 wurden erstmals alle EU-Grenzwerte für Luftschadstoffe an allen Messstationen in Stuttgart eingehalten. An den temporären Sondermessstellen Pragstraße und Talstraße wurden im Jahr 2020 noch leichte Grenzwertüberschreitungen für NO_2 in Höhe von 43 und 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt. Dieser wurde im Jahr 2021 auch an den beiden Straßenabschnitten eingehalten. Die deutliche Reduktion der Luftschadstoffbelastungen in den vergangenen Jahren ist ein Erfolg der Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Die Reduzierung des Verkehrsaufkommens infolge der Covid-19-Pandemie hat den abnehmenden Trend weiter verstärkt. Die derzeit zu beobachtende Zunahme der Ozonkonzentrationen kann teilweise auf die Reduzierung der NO -Konzentrationen zurückgeführt werden. Die klimatischen Veränderungen infolge des globalen Klimawandels begünstigen ebenfalls hohe Ozonkonzentrationen. Es ist davon auszugehen, dass die zu erwartenden zukünftigen Veränderungen des Klimas, wie der Temperaturanstieg und ein Anstieg der Sonneneinstrahlung in der Region Stuttgart die Ozonkonzentrationen weiter erhöhen werden [14].

Der Vergleich der Messwerte des Jahres 2021 mit den WHO-Leitlinien 2021 zeigt, dass an allen Messstationen höhere NO_2 -Jahresmittelwerte gemessen wurden als der WHO-Leitwert für NO_2 . Im Jahr 2021 wurden an den verkehrsnahen Stationen mehr als 250 Tage mit Überschreitungen des Leitwertes für den Tagesmittelwert von 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Auch die Jahres- und Tagesmittelwerte für Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10}) liegen an allen Messstationen höher als die von der WHO empfohlenen Leitwerte. Der Leitwert für Ozon für die warme Jahreszeit wurde an der Hintergrund Messstation in Bad Cannstatt knapp eingehalten. Hinsichtlich der städtischen SO_2 -, CO - und Benzol- Belastung, die sich seit Jahren auf niedrigem Niveau befinden, sind auch zukünftig nach aktuellen Stand keine Überschreitungen zu erwarten.

Die EU-Kommission überarbeitet derzeit ihre Luftqualitätsstandards und hat sich verpflichtet, die aktuellen EU-Luftqualitätsstandards enger an die neuen WHO-Leitlinien zu orientieren. Der Kommissionsvorschlag für eine neue Europäische Luftreinhalterichtlinie wird für das 3. Quartal 2022 erwartet.

7 WEITERFÜHRENDE LINKS

Informationen zur Luftqualität in Stuttgart Messdaten der stadteigenen Messstationen,
<http://www.stadtklima-stuttgart.de/>

Internetauftritt der LUBW

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

LUBW Luftschadstoffbelastungsprognosen für Baden-Württemberg

<http://www.mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/aspa/LuQx-B2.htm>

Internetauftritt des UBA

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

Internetauftritt des Regierungspräsidiums Stuttgart

<http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1007480/>

Online Vorhersagen der Luftschadstoffbelastung

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

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (aufgerufene Seite Mai 2021)

8 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Noncommunicable diseases and air pollution, WHO European high-level Conference 2019
- [2] EEA, 2020, Air quality in Europe — 2020 report, EEA Report No 09/2020, European Environment Agency
- [3] Emissionskataster Baden-Württemberg (Bezugsjahr 2018)
- [4] Ursachenanalyse der LUBW für Spotmessstelle Am Neckartor Bezugsjahr 2016
- [5] Ursachenanalyse der LUBW für Spotmessstelle Am Neckartor Bezugsjahr 2018
- [6] World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Lizenz: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- [7] Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den europäischen wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Der europäische Grüne Deal, COM (2019) 640 final
- [8] Luftqualität in Baden-Württemberg – Auswertung der Jahresdaten 2015, LUBW
- [9] Luftqualität in Baden-Württemberg – Auswertung der Jahresdaten 2016, LUBW
- [10] Luftqualität in Baden-Württemberg – Auswertung der Jahresdaten 2017, LUBW
- [11] Luftqualität in Baden-Württemberg – Auswertung der Jahresdaten 2018, LUBW
- [12] Luftqualität in Baden-Württemberg – Auswertung der Jahresdaten 2019, LUBW
- [13] Luftreinhalteplan für den Regierungsbezirk Stuttgart Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart
- [14] Air pollution due to ozone: health impacts and effects of climate change, Europäische Umweltagentur

Kenngroßen der Luftqualität, Jahresdaten 2020, (2021), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Kenngroßen der Luftqualität, Jahresdaten 2019, (2020), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Kenngroßen der Luftqualität, Jahresdaten 2018, (2019), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Kenngroßen der Luftqualität, Jahresdaten 2017, (2018), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

ruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Kenngroößen der Luftqualität, Jahresdaten 2016, (2017), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Kenngroößen der Luftqualität, Jahresdaten 2015, (2016), Hrsg.:

LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Bezug: www.lubw.baden-wuerttemberg.de

UBA, Umweltbundesamt (2021), Die Luftqualität in Deutschland 2020, Zusammenfassung, Bezug: <http://www.umweltbundesamt.de/>

Landeshauptstadt Stuttgart (2012): Fortschreibung der Luftqualitätsziele 2010, GRDRs 724/2012.