

DWD

Amtliches Gutachten

**Bioklimatische Beurteilung
und
Luftqualitätsgutachten**

**zur Bestätigung als
„Seeheilbad“
für Graal-Müritz**

**Auftraggeber:
Tourismus- und Kur GmbH**



Deutscher Wetterdienst

Abteilung

Klima- und Umweltberatung

Hamburg, den 01.03.2022, Az.: KU 1 HA / 0952-21

DEUTSCHER WETTERDIENST

Abteilung Klima- und Umweltberatung

AMTLICHES GUTACHTEN

Bioklimatische Beurteilung und Luftqualitätsgutachten

zur Bestätigung als
„Seeheilbad“
für Graal-Müritz

Auftraggeber: Tourismus- und Kur GmbH
Rostocker Straße 3
18181 Graal-Müritz

Teil I Klimatologischer Teil

Bearbeiterin: Dipl.- Met. Kirsten Heinrich
Seiten (gesamt): 46
Abbildungen: 19
Tabellen: 18

Teil II Lufthygienischer Teil

Bearbeiterin: Dr. Christina Endler
Seiten (gesamt): 36
Abbildungen: 15
Tabellen: 15

Hamburg, den 01.03.2022

Birger Tinz

Dr. Birger Tinz
Leiter des Regionalen Klimabüros Hamburg



K. Heinrich

Dipl.-Met. Kirsten Heinrich
Gutachterin

Dieses Gutachten ist urheberrechtlich geschützt, außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist eine Vervielfältigung oder Weitergabe dieses Gutachtens an Dritte sowie die Mitteilung seines Inhaltes, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes gestattet.

Übersicht

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Bioklimatische Beurteilung	8
2.1 Das Klima in Graal-Müritz	8
2.2 Die Klimaelemente des engeren Klimabezirks	10
2.2.1 Temperaturverhältnisse in Graal-Müritz	10
2.2.2 Niederschlagsverhältnisse in Graal-Müritz	15
2.2.3 Sonnenscheinverhältnisse in Graal-Müritz	17
2.3 Thermischer Wirkungskomplex	19
2.3.1 Gefühlte Temperatur	20
2.3.2 Klima-Michel-Modell	21
2.3.3 Schwüle	21
2.3.4 Bewertung der thermischen Beanspruchung auf Basis des Bezugszeitraum 1971 - 2000	22
2.3.5 Bewertung der thermischen Beanspruchung auf Basis des Bezugszeitraum 1981 - 2010	25
2.4 Aktinischer Wirkungskomplex	28
2.4.1 Allgemein	28
2.4.2 Einflussgrößen auf die UV-Strahlung	29
2.4.2.1 Sonnenstand	30
2.4.2.2 Topographische Höhe	30
2.4.2.3 Sonnenscheindauer – Bewölkung und UV-Strahlung	31
2.4.2.4 Ozonschichtdicke	39
2.4.2.5 Albedo	39
2.4.2.6 Aerosole	40
2.4.3 Wirkung von UV-Strahlung	40
2.4.4 Nutzungsmöglichkeiten der UV-Strahlung in Graal-Müritz	41
3 Zusammenfassung und Gesamtbeurteilung	43
Literaturverzeichnis	44

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Jahresmittelwerte und Trend der Lufttemperatur, Graal-Müritz, Zeitraum 1881 - 2020, Rasterpunkt _____	11
Abb. 2: Jährliche Temperaturanomale, Zeitraum 1881 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	11
Abb. 3: Dekadenmittelwerte der Lufttemperatur, Zeitraum 1881 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	12
Abb. 4: Abweichung der Dekadenmittelwerte der Lufttemperatur vom Vergleichszeitraum 1891 - 1910, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	13
Abb. 5: Mittlere jährliche Anzahl der Ereignistage in vieljährigen Zeiträumen, Sommertage, Hitze-, Frost- und Eistage, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	14
Abb. 6: Anzahl der Sommertage, Graal-Müritz, Zeitraum 1951 - 2020, Rasterpunkt _____	14
Abb. 7: Jahressummen Niederschlag und Trend, Zeitraum 1881 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	16
Abb. 8: Jährliche Niederschlagsanomalie von 1881 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	16
Abb. 9: Jahressummen der Sonnenscheindauer, Zeitraum 1951 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	18
Abb. 10: Jährliche Sonnenscheinanomalie, Zeitraum 1951 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	18
Abb. 11: Thermische Belastung in Graal-Müritz, (Bezugszeitraum 1971 - 2000), Rasterpunkt _____	22
Abb. 12: Thermische Belastung in Graal-Müritz, (Bezugszeitraum 1981 - 2010), Rasterpunkt _____	26
Abb. 13: Jahressumme der Sonnenscheindauer [h], Graal-Müritz, Rasterdaten 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (http://www.bkg.bund.de) ergänzt mit meteorologischen Daten _____	31
Abb. 14: Jahresgang der Sonnenscheindauer in Stunden [h], Graal-Müritz, Rasterdaten, 1991 - 2020 _____	32
Abb. 15: Sonnenscheindauer [h] im Juli, Graal-Müritz, Rasterdaten, 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (http://www.bkg.bund.de) ergänzt mit meteorologischen Daten _____	33
Abb. 16: Sonnenscheindauer [h] im Dezember, Graal-Müritz, Rasterdaten 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (http://www.bkg.bund.de) ergänzt mit meteorologischen Daten _____	34
Abb. 17: Mittlerer Jahresverlauf des UV-Indexes in Graal-Müritz, farblich hinterlegt nach den UV-Belastungsstufen, Quelle: Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten 1986 - 2015 _____	36
Abb. 18: Durchschnittliche relative Häufigkeit der UV-Index Klassen unter bewölkten	

Bedingungen für 10-Tagesdekaden für Graal-Müritz, Deutscher Wetterdienst,
Rasterdaten 1986 - 2015 _____ 37

Abb. 19: Absolute monatliche Überschreitung der Grenzwerte $UV-I \geq 3$, $UV-I \geq 6$ und
 $UV-I \geq 8$ des bewölkten UV-Indexes in Graal-Müritz, Rasterdaten 1986 - 2015 __ 38

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	10
Tab. 2: Mittlere jährliche Anzahl der Ereignistage in vieljährigen Zeiträumen, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	13
Tab. 3: Vieljährige Mittel der Niederschlagsmenge [l/m ²], Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	15
Tab. 4: Angaben zu Tagen mit Schneebedeckung, Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	17
Tab. 5: Vieljährige Mittel der Sonnenscheindauer [h], Graal-Müritz, Rasterpunkt _____	17
Tab. 6: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung (VDI 3787 Blatt 2, 2008) _____	20
Tab. 7: Bewertungsschlüssel der Häufigkeitsklassen für Wärmebelastung und Kältereize (1971 - 2000) _____	23
Tab. 8: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung und Kältereizen sowie Angabe der Häufigkeitsklasse (1971 - 2000) _____	23
Tab. 9: Bewertungsschlüssel der Kältereize für den Beurteilungszeitraum 1971 - 2000 _____	24
Tab. 10: Einstufung der Kältereize in Graal-Müritz für den Beurteilungszeitraum 1971 - 2000 _____	25
Tab. 11: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung und Kältereizen sowie Angabe der Häufigkeitsklasse (1981 - 2010) _____	27
Tab. 12: Bewertungsschlüssel der Häufigkeitsklassen für Wärmebelastung und Kältereize (1981 - 2010) _____	27
Tab. 13: Bewertungsschlüssel der Kältereize für den Beurteilungszeitraum 1981 - 2010 (ursprünglich VDI,2010; geänderte Werte) _____	28
Tab. 14: Einstufung der Kältereize in Graal-Müritz für den Beurteilungszeitraum 1981 - 2010 _____	28
Tab. 15: Einflussgrößen auf die sonnenbrandwirksame UV-Strahlung und deren Änderungsauswirkungen (Verstärkung ↗ bzw. Abschwächung ↘) _____	30
Tab. 16: Sonnenscheindauer in Stunden [h] in Graal-Müritz, Rasterdaten, Zeitraum: 1991 - 2020 _____	33
Tab. 17: Gefährdungseinstufung des UV-Indexes und empfohlene Maßnahmen _____	35
Tab. 18: Absolute monatliche Überschreitung der Grenzwerte des UV-I ≥ 3 , ≥ 6 und ≥ 8 des bewölkten UV-Indexes in Graal-Müritz _____	36

1 Einleitung

Graal-Müritz ist staatlich anerkanntes „**Seeheilbad**“. Im Rahmen der alle 10 Jahre erforderlichen Überprüfung beauftragte die Tourismus- und Kur GmbH den Deutschen Wetterdienst, Regionale Klima- und Umweltberatung Hamburg, mit der Erarbeitung eines **Luftqualitätsgutachtens** auf der Grundlage von einjährigen Messungen sowie mit der Erstellung einer **Bioklimatischen Beurteilung** zur Bestätigung des Prädikates „**Seeheilbad**“.

An die Luftqualität und das Bioklima sind in einem Kur- bzw. Erholungsort erhöhte Ansprüche zu stellen, damit während eines Erholungs- und Kuraufenthaltes eine Entlastung gegenüber den täglich erlebten Umwelteinflüssen erreicht wird. Die Qualitätsmerkmale sind in den „Begriffsbestimmungen - Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte - einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen - sowie für Heilbrunnen und Heilstollen“ angegeben (Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV), 2005) bzw. (Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV), 2018).

Durch Änderungen der Flächennutzung, Ausdehnung und Verdichtung der Bebauung u. ä. mit Auswirkungen auf die Durchlüftung können sich die örtlichen bioklimatischen Verhältnisse ändern. Daher ist in Abständen von längstens 10 Jahren zu prüfen, ob die Voraussetzungen der vorliegenden Klimagutachten weiterhin gegeben sind. Dies geschieht in Form einer Bioklimatischen Beurteilung (ehemals Klimakontrollanalyse).

Für Graal-Müritz liegt eine Kontrollanalyse aus dem Jahre 2008 (Deutscher Wetterdienst, 2008) und eine Klimaanalyse aus dem Jahr 1997 (Deutscher Wetterdienst, 1997) vor. Die nunmehr erforderliche Überprüfung ist in Mecklenburg-Vorpommern durch das Gesetz über die Anerkennung als Kur- und Erholungsort in Mecklenburg-Vorpommern (Kurortgesetz) (Ministerium für Inneres und Europa Mecklenburg-Vorpommern, 2000) vorgeschrieben. Es ergibt sich demnach das Erfordernis einer erneuten Kontrollüberprüfung des Bioklimas. Dazu ist eine Ortsbegehung vorgeschrieben. Diese wurde am 12.07.2021 vom Deutschen Wetterdienst durchgeführt.

Weiterhin ist in regelmäßigem Abstand von 10 Jahren eine einjährige Messreihe zur Überprüfung der Luftqualität durchzuführen und ein Luftqualitätsgutachten zu erstellen. Das letzte Luftqualitätsgutachten, dem eine einjährige Messreihe zugrunde liegt, wurde für Graal-Müritz im Jahre 2008 (Deutscher Wetterdienst, 2008) angefertigt.

Für das aktuelle Luftqualitätsgutachten erfolgten Messungen für die Luftbeimengungen Stickstoffdioxid, Feinstaub, Ruß im Feinstaub und Grobstaub (gesamt und opak). Die Messungen zur Überprüfung der Luftqualität für Graal-Müritz begannen am 17.07.2020 und endeten am 16.07.2021. Das Gutachten über die Luftqualität befindet sich im Anhang dieses Gutachtens.

2 Bioklimatische Beurteilung

Für die Bioklimatische Beurteilung wurde eine eingehende Ortsbegehung durchgeführt. Bei der Ortsbegehung wurde festgestellt, dass die Voraussetzungen für die Ausprägung der örtlichen klimatischen Verhältnisse, wie sie in der Kontrollanalyse von 2008 dargestellt wurden, im Wesentlichen unverändert geblieben sind.

Die Auswertungen im vorliegenden Gutachten basieren auf Rasterdaten. Grundlage dieser Rasterdaten bilden gemessene Werte, die sodann extra- bzw. interpoliert werden, d. h. es handelt sich insgesamt sowohl um tatsächlich gemessene als auch um berechnete Daten, die räumlich regelmäßig verteilt sind. Die Stützpunkte werden häufig in Form eines Quadratgitters angeordnet (z. B. in einem Gitterpunktabstand von 1 km x 1 km). Als Rasterdaten werden sowohl meteorologische Größen (z. B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung) als auch topografische Daten (z. B. Geländehöhe, Flächennutzung) dargestellt. Im vorliegenden Gutachten werden, sofern nicht anders erwähnt, die Daten für Graal-Müritz am Rasterpunkt mit dem Rechtswert: 37 11 949 und dem Hochwert: 60 18 884 (GK3 Koordinaten) für den Zeitraum 1881 bis 2020 ausgewertet.

2.1 Das Klima in Graal-Müritz

Unter Klima wird die Gesamtheit aller Wettererscheinungen verstanden, die den mittleren Zustand der Atmosphäre charakterisiert. Dabei müssen die Beobachtungsdaten aus einem genügend langen Zeitraum (in der Regel 30 Jahre) stammen, um die statistischen Eigenschaften des Klimas (Mittelwerte, Häufigkeit extremer Ereignisse, Andauerwerte etc.) bestimmen zu können. Der Klimabegriff umfasst auch die Auswirkungen des Wettergeschehens auf die Biosphäre („Bioklima“).

Das Klima wird durch die verschiedenen Elemente wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Bewölkung, Nebel, Schneedecke u. a. beschrieben. Zwischen den einzelnen Klimaelementen bestehen komplexe Zusammenhänge. Das örtliche Klima wird durch natürliche Klimafaktoren (Geographische Breite, Höhe über dem Meeresspiegel, Entfernung zum Meer, Oberflächengestalt, Bodenart, Bewuchs u. a.) geprägt, aber auch durch anthropogene Einflüsse (z. B. Bebauungsdichte, Änderung der Flächennutzung) modifiziert.

Großklimatisch gehört Graal-Müritz zum Ostseeküstenklima.

Das Klima Mecklenburg-Vorpommerns wird durch die Wechselwirkungen der zahlreichen klimabildenden Faktoren und den Wechsel in der Stärke der einzelnen Faktoren im Jahresablauf bestimmt. Der Norden Deutschlands gehört mit zum Übergangsbereich vom maritimen Klima Westeuropas zum kontinentalen Klima Osteuropas. Es unterliegt einem häufigen Wechsel zwischen maritimen und kontinentalen Einflüssen. Daraus ergibt sich ein wechselhaftes Witterungsgepräge, bei dem die maritimen Komponenten gegenüber den kontinentalen überwiegen. Das bedeutet, dass das Klima durch die Vorherrschaft von Meeresluftmassen bestimmt wird, die mit Südwest-, West- und Nordwestwinden nach Mitteleuropa gelangen.

Das Überwiegen des maritim geprägten Klimatyps zeichnet sich durch milde Winter und kühlere Sommer sowie eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit aus, wohingegen sich der kontinentale Einfluss durch kalte Winter und warme Sommer bei relativ geringer Luftfeuchtigkeit ausdrückt.

Der jeweilige Witterungscharakter wird durch die entsprechenden Großwetterlagen bestimmt. Bei West- oder Nordwestwetterlagen herrscht der maritime Einfluss vor: gemäßigte Temperaturen, hohe Luftfeuchtigkeit, wolkenreicher Himmel und wiederholte Niederschläge bestimmen die Witterung. Bei Ostwetterlagen hingegen, meist gekoppelt mit Hochdruckwetter, macht sich der kontinentale Einfluss bemerkbar: im Sommer höhere, im Winter oft sehr niedrige Temperaturen, trockenes und vor allem im Sommer wolkenarmes Wetter bei meist geringer Luftfeuchtigkeit. Im Spätherbst und Winter dagegen neigen Hochdruckwetterlagen mit Schwerpunkt über dem westlichen und mittleren Europa allerdings zu neblig-trüber bzw. sonnenscheinarmer Witterung mit einer zähen Hocknebeldecke, Nebelnässen (leichtem Sprühregen) und kühlen Temperaturen. Liegt der Kern der Hochdruckgebiete dagegen über Skandinavien oder Nordosteuropa können sich auch zu diesen Jahreszeiten sonnige, wenn auch sehr kalte Witterungsabschnitte ergeben.

Aufgrund seiner unmittelbaren Lage an der Ostseeküste weist Graal-Müritz gegenüber dem stärker kontinental beeinflussten Binnentiefeland einen etwas ausgeglicheneren Gang der Lufttemperatur, stärkere Bewölkung (besonders in den Wintermonaten) und im Mittel eine etwas höhere Luftfeuchte auf.

Der Einfluss der Ostsee auf die Lufttemperatur ist im Frühjahr, wenn das Wasser der Ostsee noch recht kalt ist, deutlich ausgeprägt. Das Frühjahr setzt deshalb verspätet ein und ist als rau und kühl bekannt

Da im Herbst relativ oft Winde aus Süd bis Südwest wehen, die durch das sich rasch abkühlende Binnenland bereits sehr kalt sein können, kann die Ostsee, die sich nur relativ langsam abkühlt, in dieser Jahreszeit tagsüber in weiten Teilen der Mecklenburgischen Ostseeküste keine anhaltende Milderung im Küstenbereich hervorrufen. Eine auffallende herbstliche Temperaturerhöhung gegenüber dem Binnenland macht sich deshalb vielfach nur nachts oder an solchen Tagen bemerkbar, an denen Nordwest- bis Ostwinde vorherrschen. Durch den Nordost-Südwest ausgerichteten Küstenverlauf im Bereich von Graal-Müritz kann sich hier im Herbst allerdings auch bei südwestlichen und westlichen Winden eine deutlichere Temperaturerhöhung gegenüber dem Binnenland zeigen als an anderen Abschnitten der Mecklenburgischen Ostseeküste, sodass in Graal-Müritz in den Herbstmonaten ein etwas mildereres Klima zu erwarten ist.

Der Einfluss der Ostsee auf die Lufttemperatur macht sich sowohl im jährlichen als auch im täglichen Gang bemerkbar. Die Temperaturextreme werden abgeschwächt. Ihr Eintritt wird gegenüber dem Binnentiefeland zeitlich etwas verzögert.

An windschwachen, heiteren Sommertagen bildet sich an der Küste eine tagesperiodische Windzirkulation, die Land-See-Windzirkulation, aus. Sie wird durch die unterschiedliche Erwärmung von Land und Meer hervorgerufen und tritt vor allem dann auf, wenn der Wind schwach ablandig weht. Der Seewind setzt im Allgemeinen am späten Vormittag ein und lässt am Nachmittag oder gegen Abend wieder nach. Dadurch wird das Auftreten hoher Hitzegrade während der Mittags- und Nachmittagsstunden verhindert.

Nachts kann man einen Landwind beobachten, der die Zirkulation vervollständigt. Oft bildet sich diese Zirkulation nicht vollständig aus, sondern der Wind dreht sich nur geringfügig.

Die Windgeschwindigkeiten werden mit zunehmender Entfernung von der Ostseeküste geringer. Während das mittlere langjährige Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in unmittelbarer Küstennähe zwischen ca. 4 und 6 m/s liegt, die Nordspitze der Insel Rügen weist sogar mehr als 6 m/s auf, wird im Raum Graal Müritz ein Wert von ca. 5 m/s erreicht.

2.2 Die Klimaelemente des engeren Klimabezirks

Nachfolgend wird das Klima in Graal-Müritz anhand verschiedener Klimaparameter beschrieben.

2.2.1 Temperaturverhältnisse in Graal-Müritz

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Tab. 1 sind Parameter der Lufttemperatur für die Zeiträume 1951 - 1980, 1961 - 1990, 1971 - 2000, 1981 - 2010 und 1991 - 2020 aufgeführt. Beim Vergleich der Werte zeigt sich übers Jahr eine eindeutige Zunahme der Monatsmittel der Lufttemperatur im Vergleich zum Bezugszeitraum 1961 - 1990, die in den einzelnen Monaten allerdings recht unterschiedlich ausfällt. Deutliche Zunahmen sind von Dezember bis April sowie im Juli und August mit 1,0 bis 1,9 K erkennbar. Temperaturdifferenzen werden in Kelvin [K] angegeben. In den restlichen Monaten ist ebenfalls eine Zunahme ersichtlich. Das langjährige Jahresmittel ist von 8,3 °C im Zeitraum 1961 - 1990 auf 9,4 °C im Zeitraum 1991 - 2020 gestiegen.

Tab. 1: Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1951 - 1980	0,0	0,1	2,6	6,3	11,2	15,2	16,8	16,6	13,7	9,5	5,0	1,9	8,2
1961 - 1990	-0,1	0,5	3,0	6,4	11,5	15,1	16,7	16,6	13,6	9,6	5,0	1,7	8,3
1971 - 2000	0,7	1,1	3,6	6,9	11,8	15,0	17,1	17,2	13,6	9,4	4,8	2,2	8,6
1981 - 2010	1,1	1,4	3,9	7,7	12,2	15,3	17,8	17,6	14,1	9,7	5,1	1,9	9,0
1991 - 2020	1,5	1,9	4,1	8,3	12,4	15,8	18,2	18,1	14,5	10,0	5,6	2,7	9,4
Differenz 1991 - 2020 zu 1961 - 1990	1,6	1,4	1,1	1,9	0,9	0,7	1,5	1,5	0,9	0,4	0,6	1,0	1,1

Die Abb. 1 zeigt, dass im Zeitraum 1881 bis 2020 das Jahresmittel der Lufttemperatur um ca. 1,1 K angestiegen (blaue Trendlinie) ist. Dabei schwanken die Jahresmittel der Temperatur von Jahr zu Jahr zum Teil kräftig. Es ist ersichtlich, dass in Graal-Müritz das Jahr 2020 mit 10,6 °C das wärmste Jahr seit Beobachtungsbeginn war, dicht gefolgt von 2019, 2014 und 2018. Die Temperaturzunahme geht auch aus Abb. 2 hervor. Die Abbildung zeigt die Abweichungen der Jahresmittel der Lufttemperatur gegenüber dem Jahresmittel des Referenzzeitraums 1961 - 1990 von 8,3 °C.

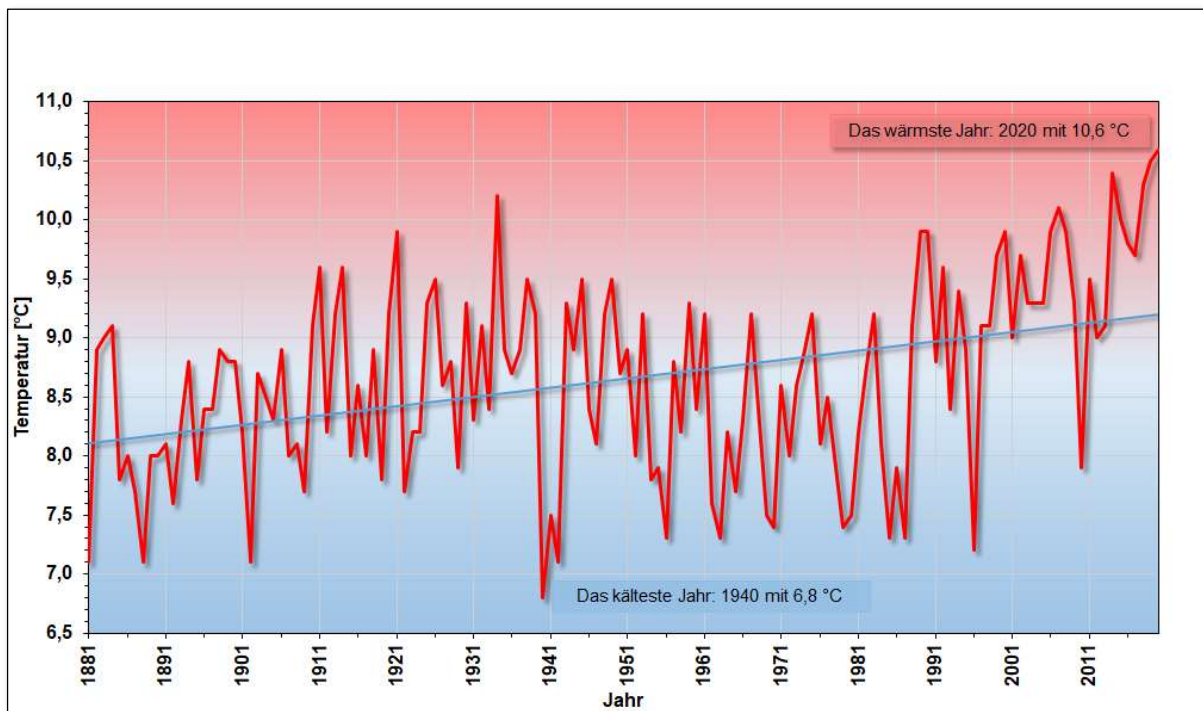


Abb. 1: Jahresmittelwerte und Trend der Lufttemperatur, Graal-Müritz, Zeitraum 1881 - 2020, Rasterpunkt

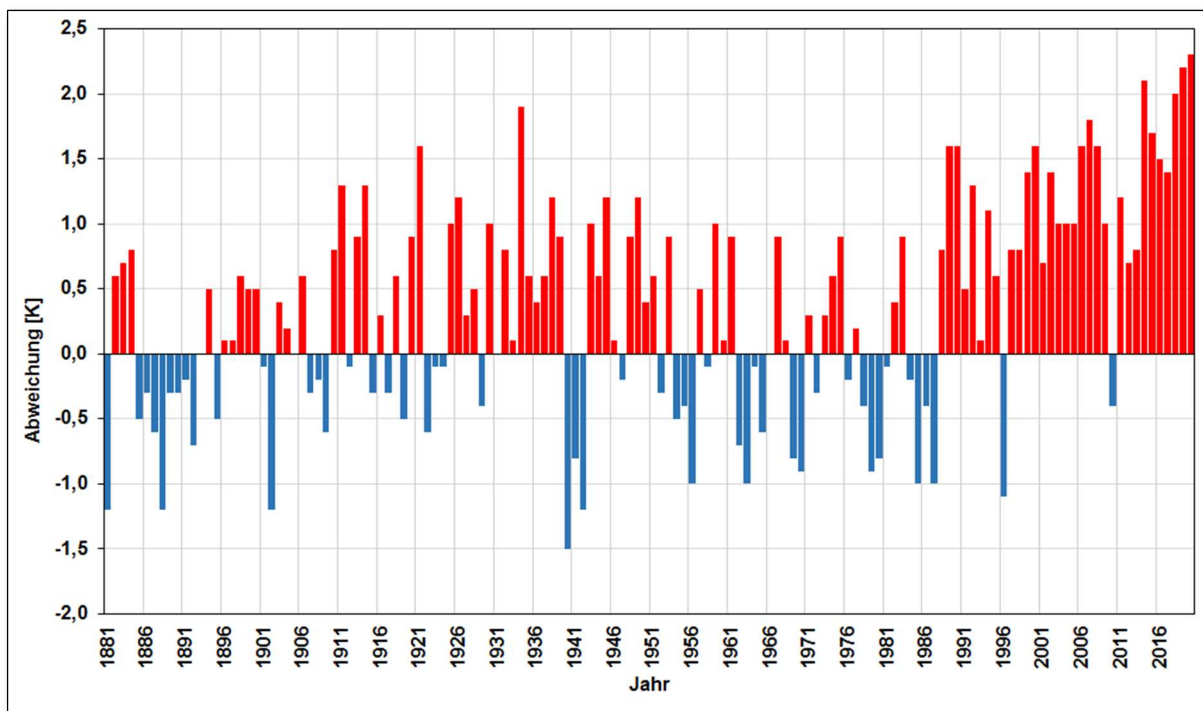


Abb. 2: Jährliche Temperaturanomalie, Zeitraum 1881 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zur zusätzlichen Verdeutlichung des markanten Temperaturanstieges der vergangenen Jahre wurden in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** die Jahresmittel der Lufttemperatur in den einzelnen Dekaden seit 1881 betrachtet. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist ersichtlich, dass der nach 1881 - 1890 kältesten Dekade 1961 - 1970 ein stetiger Temperaturanstieg folgte. Bis zur Dekade 1991 - 2000 lagen dabei die Dekadenmittelwerte noch in einem Größenbereich, der mit den Dekadenmittelwerten bis Mitte des vergangenen Jahrhunderts vergleichbar war. Mit Beginn des neuen Jahrhunderts wird dann aber ein weiterer merklicher Temperaturanstieg deutlich, sodass die Dekade 2011 - 2020 bereits um fast 1 Kelvin wärmer war als die Dekade 1991 - 2000. Das Dekadenmittel des Zeitraumes 1961 - 1970 wurde sogar um 1,8 K übertroffen.

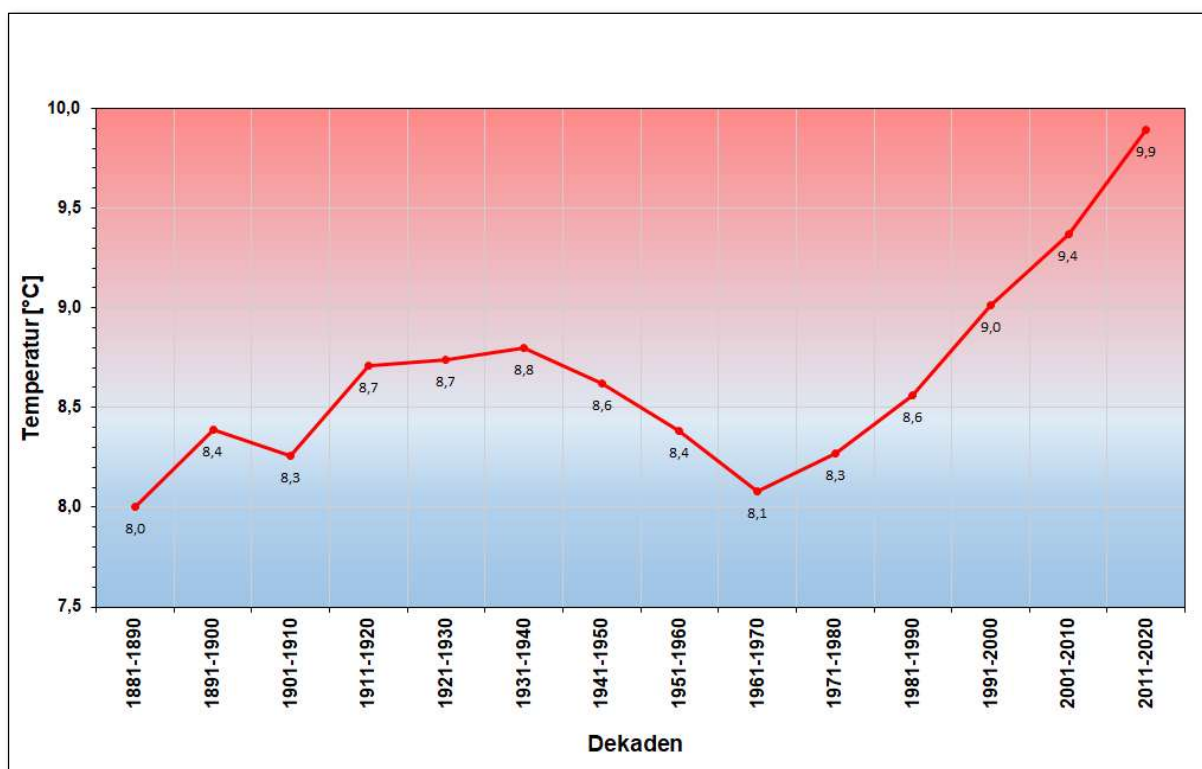


Abb. 3: Dekadenmittelwerte der Lufttemperatur, Zeitraum 1881 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Ähnliches ist auch aus der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** abzuleiten. Hier wurden die Abweichungen der einzelnen Dekadenmittelwerte des Zeitraumes von 1881 - 2020 im Vergleich zum dreißigjährigen Bezugszeitraum um den Beginn des vergangenen Jahrhunderts 1881 - 1910 aufgetragen. Auch in dieser Abbildung zeigt sich, dass der kälteren Dekade 1961 bis 1970 ein Temperaturanstieg folgte, der sich in den folgenden Dekaden noch verstärkte. Während bis zur Jahrtausendwende die Dekadenmittelwerte des 20. Jahrhunderts noch Abweichungen vom Mittelwert des Vergleichszeitraumes 1881 - 1910 von -0,2 bis +0,8 K zeigten, war es in der Dekade 2011 - 2020 bereits 1,7 K wärmer als während des Bezugszeitraumes am Beginn des vergangenen Jahrhunderts.

Mit hoher Sicherheit ist festzustellen, dass sich die Temperaturzunahme insgesamt manifestiert hat und zukünftig mit einem weiteren Anstieg zu rechnen ist.

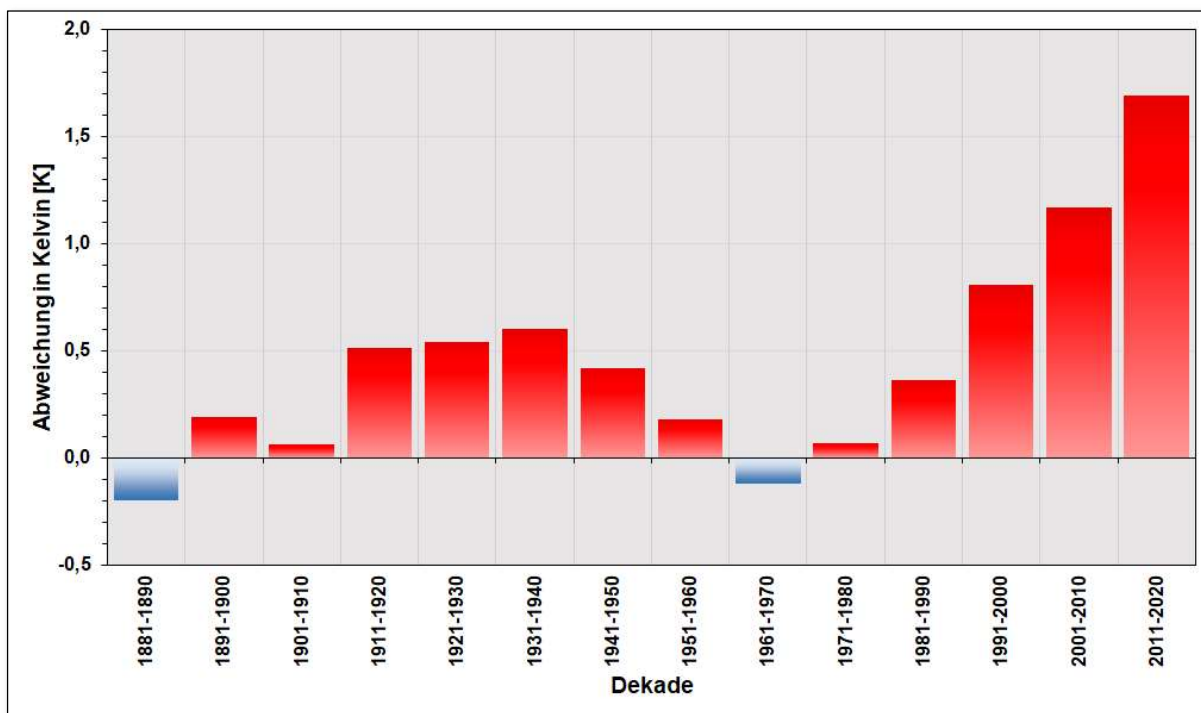


Abb. 4: Abweichung der Dekadenmittelwerte der Lufttemperatur vom Vergleichszeitraum 1891 - 1910, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Aus Tab. 2 und Abb. 5 sind die Zunahmen der Sommer- und Hitzetage sowie eine offensichtliche Abnahme bei den Frost- und Eistagen ersichtlich. Ein Vergleich der Bezugszeiträume 1961 - 1990 und 1991 - 2020 zeigt, dass die mittlere jährliche Anzahl der Sommertage von 15 auf 23 und die der heißen Tage von 2 auf 4 gestiegen ist. Die Häufigkeit der Frost- bzw. Eistage ist dagegen von 72 auf 59 bzw. von 23 auf 14 gesunken.

Tab. 2: Mittlere jährliche Anzahl der Ereignistage in vieljährigen Zeiträumen, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zeitraum	Sommertage	Hitzetage	Frosttage	Eistage
	Tagesmaximum $\geq 25\text{ }^\circ\text{C}$	Tagesmaximum $\geq 30\text{ }^\circ\text{C}$	Tagesminimum $< 0,0\text{ }^\circ\text{C}$	Tagesmaximum $< 0,0\text{ }^\circ\text{C}$
1951 - 1980	13	1	75	23
1961 - 1990	15	2	72	23
1971 - 2000	17	2	65	19
1981 - 2010	20	3	64	18
1991 - 2020	23	4	59	14
Differenz 1991 - 2020 zu 1961 - 1990	8	2	-13	-9

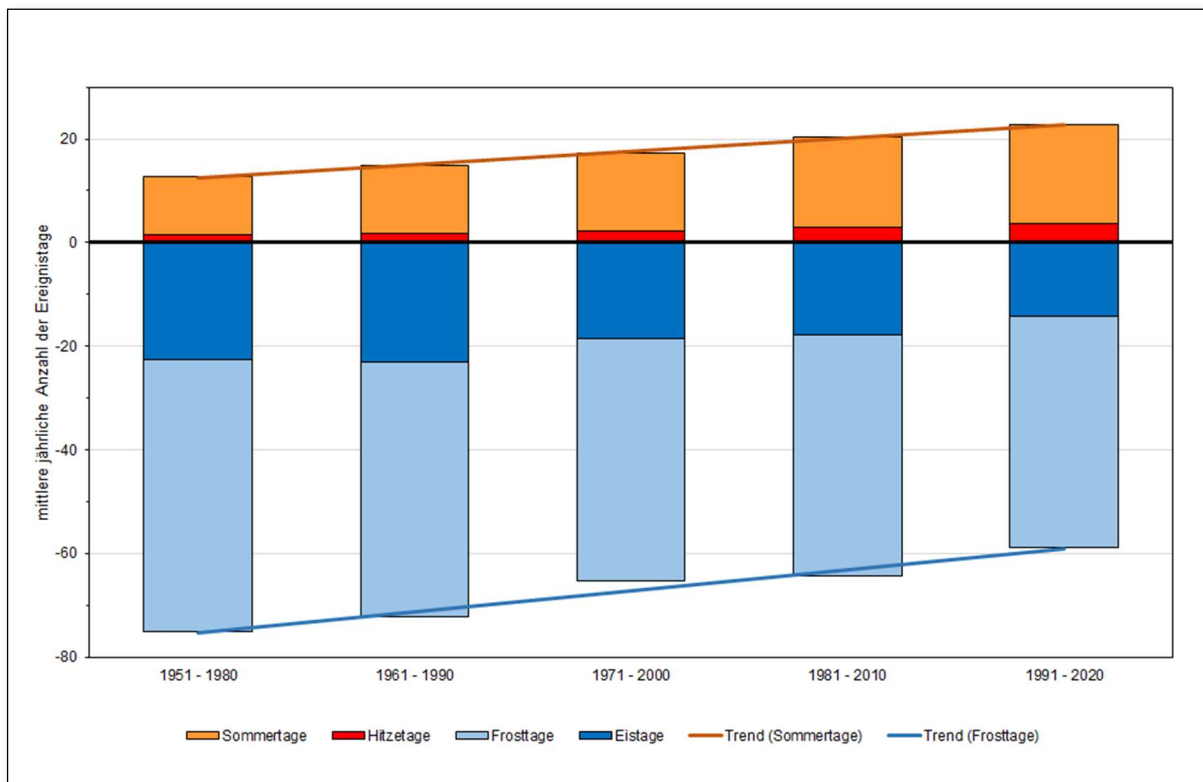


Abb. 5: Mittlere jährliche Anzahl der Ereignistage in vieljährigen Zeiträumen, Sommertage, Hitze-, Frost- und Eistage, Graal-Müritz, Rasterpunkt

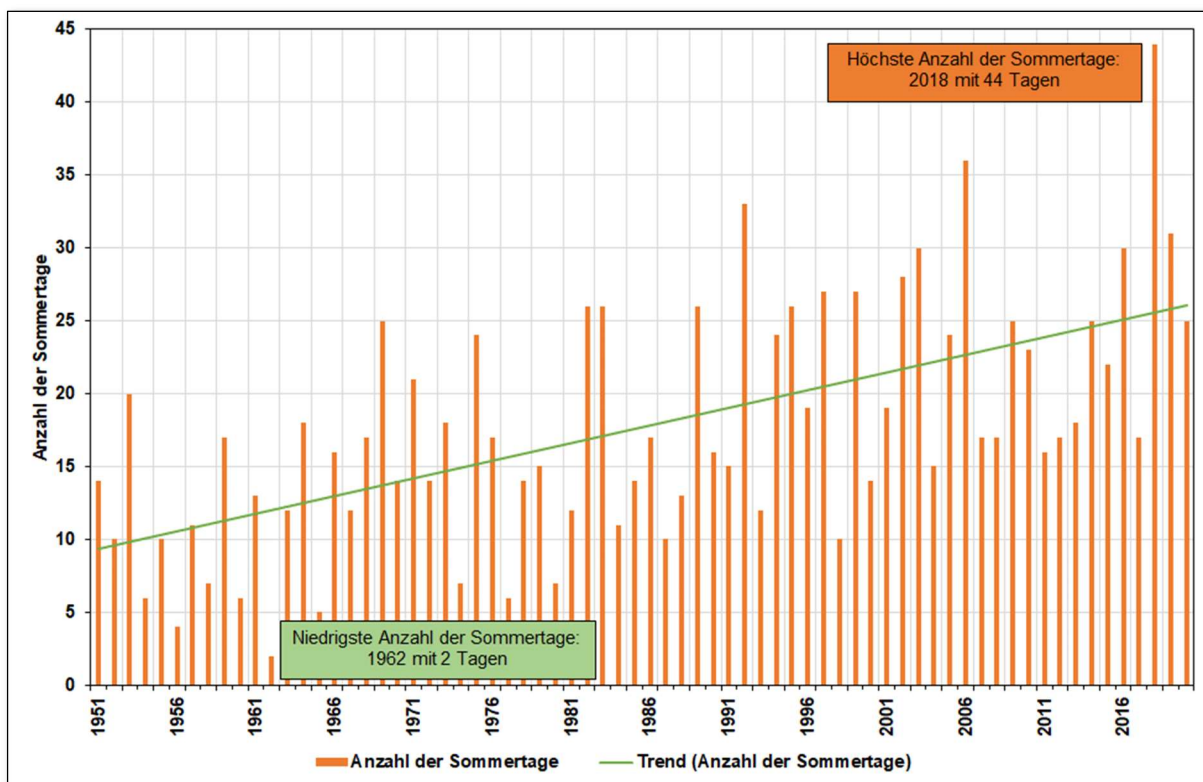


Abb. 6: Anzahl der Sommertage, Graal-Müritz, Zeitraum 1951 - 2020, Rasterpunkt

Die Anzahl der Sommertage im Zeitraum 1951 bis 2020 ist in Abb. 6 zu sehen. Im Jahr 2018 wurden insgesamt 44 Sommertage registriert. Mehr als 40 Sommertage traten seit 1951 sonst noch nie in Graal-Müritz auf. Der Trend (grüne Linie) lässt eine eindeutige Zunahme der Sommertage erkennen.

2.2.2 Niederschlagsverhältnisse in Graal-Müritz

In Tab. 3 sind Angaben zum Monats- und Jahresmittel der Niederschlagshöhe in verschiedenen Zeiträumen aufgezeigt. Insgesamt hat sich der mittlere Jahresniederschlag seit 1951 nur wenig verändert. Die Veränderungen in den einzelnen Monaten fallen unterschiedlich aus. Im Vergleich der Zeitreihen 1961 - 1980 und 1991 - 2020 sind in den Monaten April, Juli und November nur äußerst geringfügige Abnahmen, sonst nur sehr geringe Zunahmen bzw. gar keine Änderungen der mittleren Niederschlagshöhen zu verzeichnen.

Tab. 3: Vieljährige Mittel der Niederschlagsmenge [l/m²], Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1951 - 1980	47	33	38	43	50	52	80	68	56	46	53	53	619
1961 - 1990	50	31	42	43	52	57	78	66	58	47	55	53	632
1971 - 2000	50	33	44	36	52	65	71	63	60	49	50	55	628
1981 - 2010	51	39	44	36	56	68	65	73	63	52	53	53	653
1991 - 2020	50	42	42	36	52	66	74	74	60	54	50	56	656
Differenz 1991 - 2020 zu 1961 - 1990	0	11	0	-7	0	9	-4	8	2	7	-5	3	24

Während sich die jährliche Niederschlagsmenge seit 1951 kaum geändert hat, zeigt sich in der Betrachtung des Zeitraumes seit 1881 eine merkliche Zunahme von 112 l/m². Das wird in der Abb. 7 und Abb. 8 deutlich. Besonders in der Abb. 8 zeigt sich, dass die Jahre zwischen 1881 und 1925 bis auf wenige Ausnahmen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 – 1980 zu trocken ausfielen. Ebenso ist in Abb. 7 und Abb. 8 erkennbar, dass in den Einzeljahren die Niederschlagshöhen deutlich schwanken. In regenreichen Jahren können demnach durchaus jährliche Niederschlagshöhen von über 850 l/m² erreicht werden, während in trockenen Jahren unter 450 l/m² Niederschlag fallen. Nach 1959 mit 382 l/m² war das Jahr 1943 mit 403 l/m² das zweitrockenste Jahr seit 1881. Die meisten Niederschläge gab es 2007 mit 885 l/m² und 1960 bzw. 2011 mit 879 l/m² bzw. 870 l/m², den drei einzigen Jahren in denen die Niederschlagsmenge über 850 l/m² betrug.

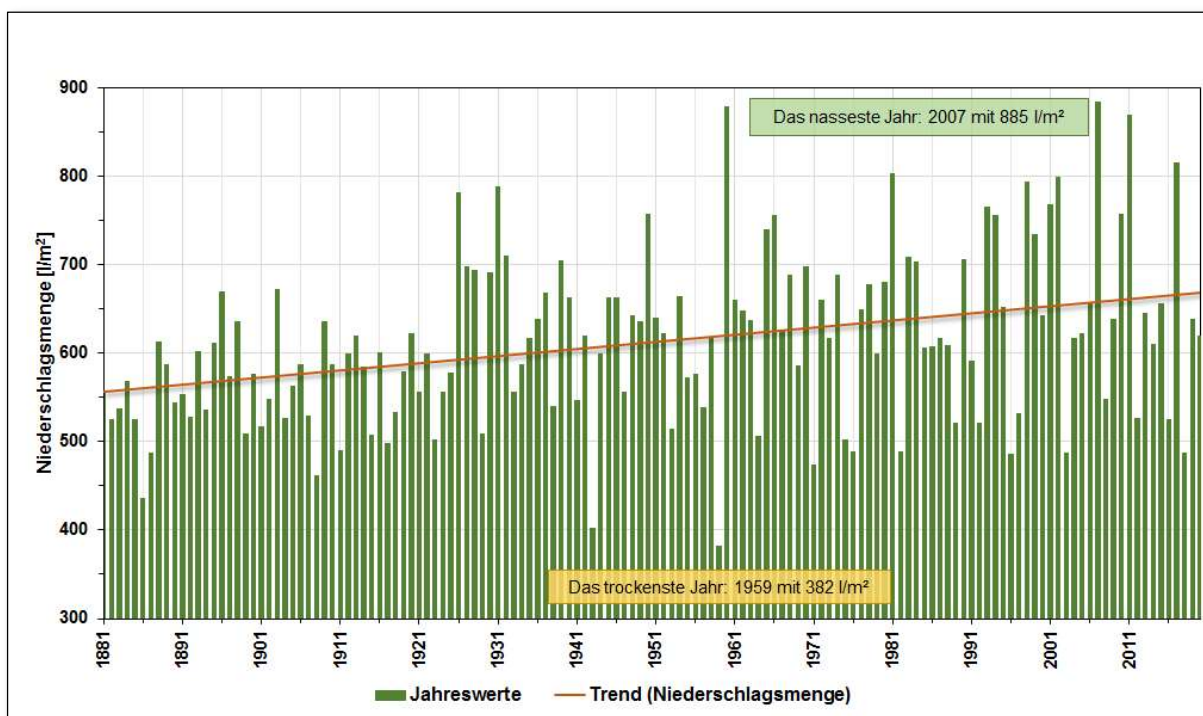


Abb. 7: Jahressummen Niederschlag und Trend, Zeitraum 1881 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt

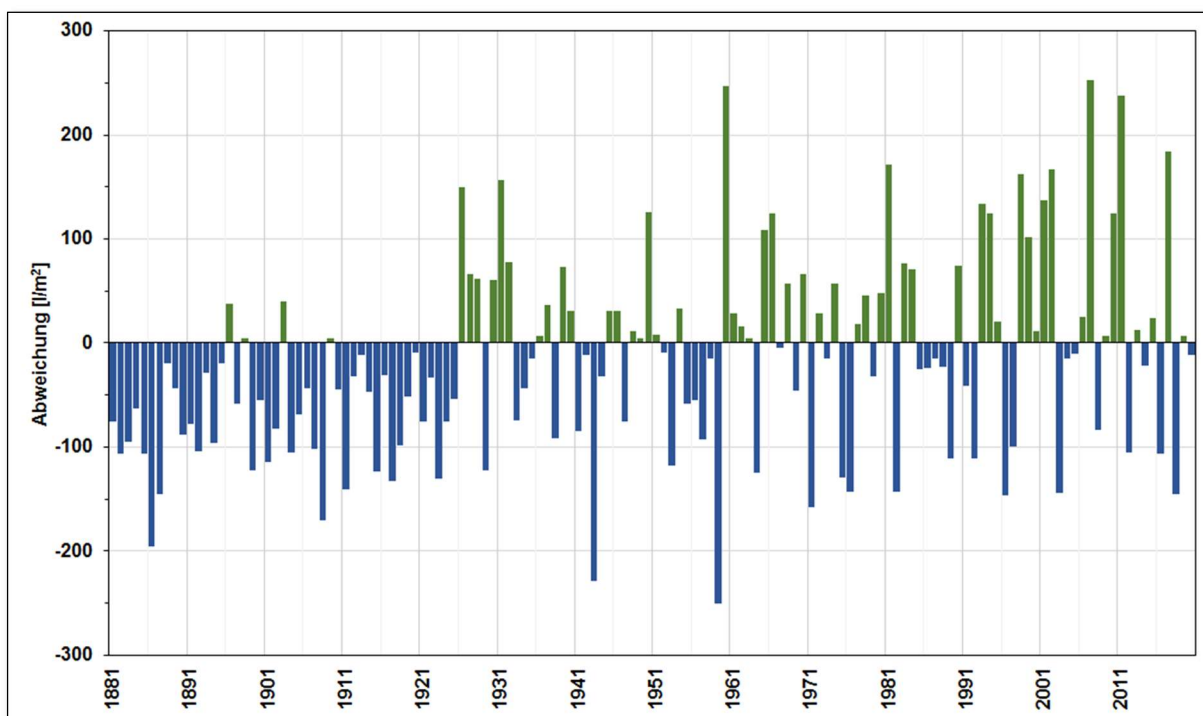


Abb. 8: Jährliche Niederschlagsanomalie von 1881 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Der allgemeine Temperaturanstieg wirkt sich zwangsläufig auch auf die Schneebedeckung aus. Einerseits fallen die Niederschläge in der kalten Jahreszeit öfter in flüssiger Form, andererseits treten Tauprozesse zwischenzeitlich häufiger und zum Ende des Winters oft früher auf. Die mittlere Anzahl der Tage mit Schneebedeckung hat vom Zeitraum 1961 - 1990 zum Zeitraum 1991 - 2020 von 39 auf 21 abgenommen (Tab. 4).

Tab. 4: Angaben zu Tagen mit Schneebedeckung, Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zeitraum	Zahl der Tage mit Schneedecke <i>Schneehöhe ≥ 1 cm</i>
1951 - 1980	40
1961 - 1990	39
1971 - 2000	29
1981 - 2010	27
1991 - 2020	21
Differenz 1991 - 2020 zu 1961 - 1990	-18

2.2.3 Sonnenscheinverhältnisse in Graal-Müritz

Der Tab. 5 sind die mittleren Monats- und Jahressummen der Sonnenscheindauer für die Zeiträume 1951 - 1980, 1961 - 1990, 1971 - 2000, 1981 - 2010 und 1991 - 2020 zu entnehmen. Insgesamt hat sich die mittlere jährliche Sonnenscheindauer erhöht. Im Jahresmittel gibt es im Zeitraum 1991 - 2020 124 Sonnenstunden mehr als im Bezugszeitraum 1961 - 1990. Die Erhöhung ist dabei auf die einzelnen Monate unterschiedlich verteilt. Während im März, April und Juli die Anzahl der Sonnenstunden deutlich zugenommen hat, gab es im Februar, Juni, August, Oktober, November und Dezember dagegen kaum oder keine Änderungen

Tab. 5: Vieljährige Mittel der Sonnenscheindauer [h], Graal-Müritz, Rasterpunkt

Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1951 - 1980	41	63	122	176	242	259	230	216	168	106	49	35	1707
1961 - 1990	38	65	110	171	241	241	226	220	154	104	53	36	1659
1971 - 2000	44	64	113	175	252	224	233	223	149	106	53	36	1672
1981 - 2010	46	66	119	189	252	226	245	216	155	109	53	37	1713
1991 - 2020	48	67	131	204	254	246	248	221	166	110	52	36	1783
Differenz 1991 - 2020 zu 1961 - 1990	10	2	21	33	13	5	22	1	12	6	-1	0	124

In der Abb. 9 sind die Jahressummen der Sonnenscheindauer für den Zeitraum 1951 bis 2020 grafisch dargestellt. Das sonnenscheinreichste Jahr war 2018 mit 2147 Sonnenscheinstunden, gefolgt von den Jahren 1959 und 2003 mit 2055 bzw. 2025 Sonnenstunden. Dagegen schien die Sonne in den beiden sonnenscheinärmsten Jahr 1998 bzw. 1977 nur an 1454 bzw. 1455 Stunden.

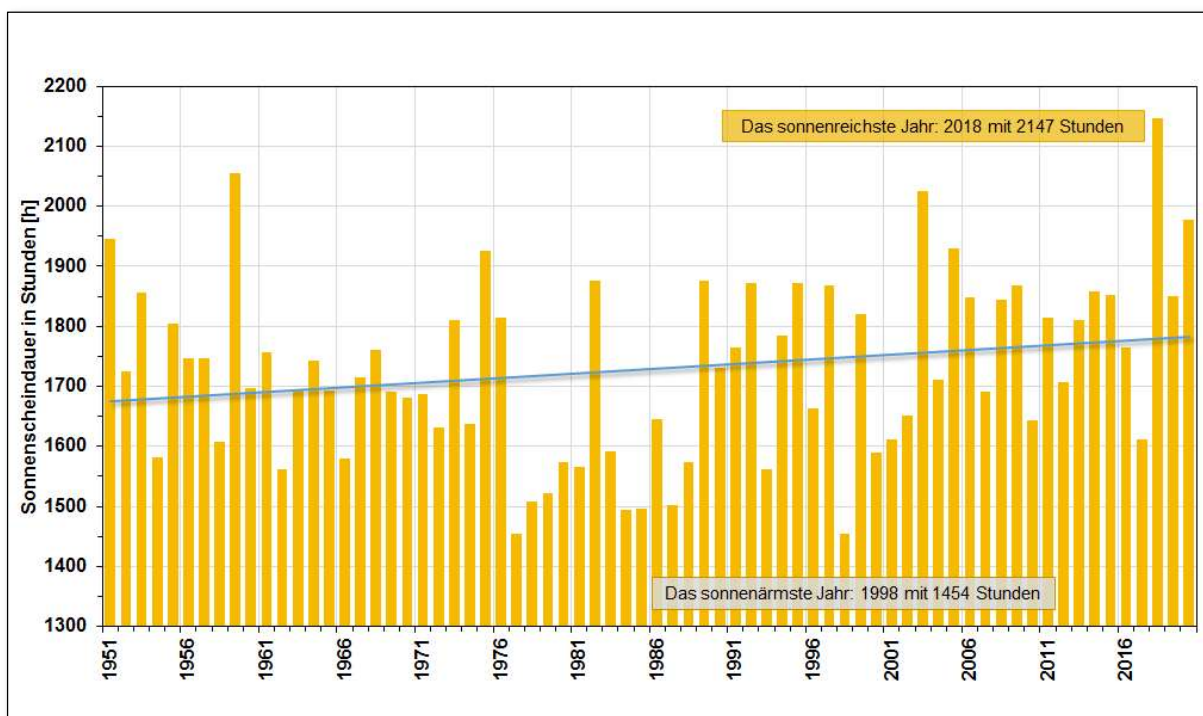


Abb. 9: Jahressummen der Sonnenscheindauer, Zeitraum 1951 - 2020, Graal-Müritz, Rasterpunkt

In der Abb. 10 ist die Abweichung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer von 1.659 Stunden pro Jahr (ermittelt aus dem Referenzzeitraum 1961 - 1990) aufgezeichnet. Klar zu erkennen ist auch hier das sonnenscheinreichste Jahr 2018.

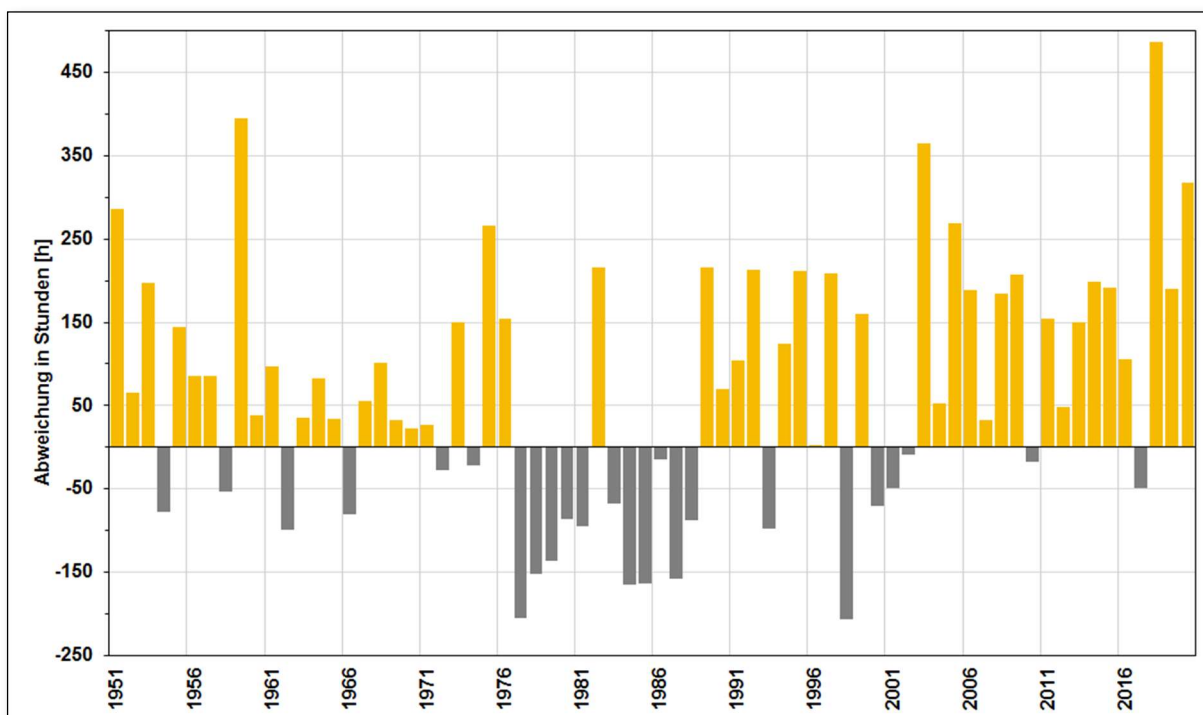


Abb. 10: Jährliche Sonnenscheinanomalie, Zeitraum 1951 - 2020 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1990, Graal-Müritz, Rasterpunkt

2.3 Thermischer Wirkungskomplex

Auf Grund der engen Kopplung zwischen der Wärmeregulation und dem Herz-Kreislaufsystem des Menschen ist die Wirkung der thermischen Bedingungen auf den Menschen von großer Bedeutung (VDI 3787 Blatt 2, 2008).

In einem geeigneten Klima sollten neben einer möglichst geringen Wärmebelastung auch ausreichende Möglichkeiten zur Nutzung von Kältereizen gegeben sein, da durch ein gewisses Maß dieser Reize ein Trainingseffekt für das menschliche Wärmeregulationssystem erzielt werden kann. Allerdings müssen die Kältereize gut dosierbar sein, um das ganze Jahr über Aufenthalte im Freien zu ermöglichen (VDI 3787 Blatt 2, 2008); (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990); (Koch et al., 2005).

Dabei ist zwischen kurzzeitigen intensiven und langanhaltenden Beeinflussungen zu unterscheiden. Während die letztgenannten (dauerhafte Belastungen) eher am Wohnort des Kurgastes eine größere Rolle spielen, können kurzzeitige intensive Spitzen der Wärmebelastung den Erfolg einer Klimakur nachhaltig in Frage stellen (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990).

Der Mensch hält seine Körperkerntemperatur unabhängig von wechselnden Umgebungsbedingungen und variabler Stoffwechselleistung näherungsweise konstant (ca. 37 °C). Er bedient sich dabei eines Thermoregulationssystems, das über physikalische (z. B. Durchblutungsänderung) und chemische (Energieumsatz) Regulationsmechanismen für eine Anpassung von Wärmeabgabe und Wärmebildung sorgt. Zusätzlich werden – im Wesentlichen durch Unbehaglichkeitsempfindungen – bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst wie zum Beispiel Bekleidungswechsel, Änderung der Aktivität, Aufsuchen von Schatten oder Windschutz etc. (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990); (VDI 3787 Blatt 2, 2008); (Höppe, 1993).

In Abhängigkeit vom Grad der Abweichung von einem optimalen Komfort-Grundzustand des menschlichen Wärmehaushaltes belasten die essentiellen Regulationsleistungen jedoch den Organismus bei gleichzeitig zunehmendem Unbehaglichkeitsempfinden. Während ein gesunder Mensch die normalen Wetter- und Klimaänderungen im Allgemeinen weitgehend problemlos verkraftet, ist die Regulationsfähigkeit älterer Menschen und vorgeschädigter Personen häufig limitiert (VDI 3787 Blatt 2, 2008).

Zur Charakterisierung der thermischen Komponente des Bioklimas finden Wärme- (bzw. Energie-)haushaltsmodelle des Menschen wie das in den Begriffsbestimmungen (Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV), 2018) implementierte Klima-Michel-Modell (KMM) Anwendung (VDI 3787 Blatt 2, 2008); (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990). Dieses beschreibt den Energiehaushalt (bzw. Wärmehaushalt) des Menschen und berechnet die thermische Reizstärke (Wärmebelastung und Kältereiz) auf Basis der Gefühlten Temperatur für den zu prädikatisierenden Ort (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990).

2.3.1 Gefühlte Temperatur

Das thermische Empfinden des Menschen hängt nicht nur von der Lufttemperatur ab, denn der Mensch fühlt nicht allein die Temperatur der Luft, sondern die Wärmemenge, die er über die Haut an die Umgebung abgibt. Aus diesem Grund sind die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchtigkeit, die Sonnenstrahlung und die Wärmestrahlung der Atmosphäre und von Oberflächen genauso wichtig. Daneben sind auch ganz entscheidend der Aktivitätsgrad und der Wärmeisolationwert der getragenen Bekleidung. Alle genannten Größen werden bei der Berechnung der gefühlten Temperatur, die der DWD zur Beschreibung des Wärmeempfindens des Menschen verwendet, berücksichtigt.

Die Gefühlte Temperatur steigt unter warm-sonnigen, feuchten und windschwachen sommerlichen Bedingungen viel schneller an als die Lufttemperatur. Bei milden und trockenen Bedingungen mit mäßigem Wind kann sie aber auch unter die Lufttemperatur absinken. Unter kalter, insbesondere windstarker äußerer Umwelt kann die Gefühlte Temperatur um 15 K (Temperaturdifferenzen werden in Kelvin [K] angegeben) und mehr unter der Lufttemperatur liegen. Sonne und Windstille können die Gefühlte Temperatur bis ca. 10 K über die Lufttemperatur klettern lassen (VDI 3787 Blatt 2, 2008)

Die Gefühlte Temperatur ist nach der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 entsprechend der Tab. 6 in eine thermophysiologisch gerechte Bewertung des thermischen Empfindens umzusetzen. Wärmebelastung und Kältestress stellen bei zunehmender Abweichung vom thermischen Komfort eine Belastung für Herz, Kreislauf und den peripheren Gefäßen dar. Für den Menschen stellen sich wärmebelastende Situationen vor allem bei Strahlungswetterlagen mit hohen Lufttemperaturen und bei gleichzeitiger Windstille oder sehr schwachen Winden ein (Matzarakis & Ender, 2010); (Matzarakis, 2003)); dabei muss das Herz eine höhere Leistung erbringen (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998). Es muss viel durch Schweißverdunstung auf der Haut abgekühltes Blut umgewälzt werden, damit der Körperkern bei der für alle Organfunktionen optimalen Temperatur von ca. 37 °C gehalten werden kann.

Tab. 6: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung (VDI 3787 Blatt 2, 2008)

Gefühlte Temperatur (GT) [°C]	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Beanspruchung
GT ≤ -39	sehr kalt	extremer Kältestress
-39 < GT ≤ -26	kalt	starker Kältestress
-26 < GT ≤ -13	kühl	mäßiger Kältestress
-13 < GT ≤ 0	leicht kühl	schwacher Kältestress
0 < GT < +20	behaglich	Komfort möglich
+20 ≤ GT < +26	leicht warm	schwache Wärmebelastung
+26 ≤ GT < +32	warm	mäßige Wärmebelastung
+32 ≤ GT < +38	heiß	starke Wärmebelastung
GT ≥ +38	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Da der Mensch ein Individuum ist, kommt es individuell auch zu abweichenden Beurteilungen vom thermischen Komfort oder Diskomfort (Höppe, 1993). Diese Abweichungen vom Durchschnitt lassen sich nach Fanger (Fanger, 1972) mit einer Wahrscheinlichkeit des Empfindens von Diskomfort ausdrücken.

Im Winter, wenn häufig sehr niedrige Lufttemperaturen verbunden mit hohen Windgeschwindigkeiten auftreten, nimmt die Gefahr rapide zu, dass es an bloßen Hautstellen, z. B. im Gesicht, zu Erfrierungen kommen kann. Das hängt mit dem dann besonders starken Wärmeentzug der dem Wind ungeschützt ausgesetzten Haut zusammen ((Fanger, 1972); (Staiger, Laschewski, & Mazarakis, 2019)).

Ein Tag mit Wärmebelastung im Bezugszeitraum 1971 - 2000 ist definiert als ein Tag an dem zu mindestens einem Termin zwischen 10 und 16 MEZ eine Gefühlte Temperatur von ca. 29 °C überschritten wird. Dabei entspricht MEZ (Mittleuropäische Zeit) der Mittleuropäischen Sommerzeit (MESZ) minus 1 Stunde. Ein Tag mit Kältereiz ist definiert als ein Tag an dem der Tagesmittelwert der Gefühlten Temperatur zwischen 7 bis 19 MEZ ca. - 9 °C unterschreitet.

2.3.2 Klima-Michel-Modell

Mit dem Klima-Michel-Modell (KMM) des DWD wird die Gefühlte Temperatur berechnet. Im KMM wird davon ausgegangen, dass der Modellmensch (Klima-Michel) sich durch Wahl der Bekleidung seinen thermischen Umgebungsbedingungen anpassen kann. Die Gefühlte Temperatur bewertet dann in Grad Celsius [°C] das thermische Empfinden des Modellmenschen. Außerdem ermöglicht die im KMM eingeführte Feuchtekorrektur nach Gagge et al. (Gagge, Fobelets, & Berglund, 1986) die Angabe einer Wahrscheinlichkeit, mit der eine an mitteleuropäische Wetterbedingungen akklimatisierte Person Schwüle empfindet.

2.3.3 Schwüle

Schwüle ist ein thermophysiologisch schwierig zu definierender Begriff. Im deutschen Sprachraum ist dieser jedoch für die Beschreibung von ungünstigem Empfinden während feucht-warmer Bedingungen weit verbreitet. Gegenüber trockenen, sonst aber gleichen Bedingungen sind die Verdunstungsraten von Schweiß auf der Haut und der Fluss von Wasserdampf in die umgebende Luft verringert. Um pro Zeiteinheit die erforderliche Schweißmenge verdunsten zu können, ist folglich ein größerer mit Schweiß bedeckter Flächenanteil der Haut erforderlich. Das erhöht die Beanspruchung des körpereigenen Thermoregulationssystems.

2.3.4 Bewertung der thermischen Beanspruchung auf Basis des Bezugszeitraum 1971 - 2000

Nach den Begriffsbestimmungen ist der zulässige Richtwert von maximal 20 Tagen pro Jahr mit Wärmebelastung einzuhalten bzw. sollte der Wert unterhalb der zulässigen Toleranzmarge von 23 Tagen liegen, die in den Fällen Anwendung findet, in denen von ausreichenden lokalen Ausgleichssystemen ausgegangen werden kann, die zu einer zusätzlichen abendlichen und nächtlichen Abkühlung führen.

In der Abb. 11 ist die Verteilung von Wärmebelastung und Kältereiz im Jahresverlauf für das Seeheilbad Graal-Müritz, das sich auf einem Höhenbereich um etwa 5 m über NHN erstreckt, dargestellt. Wie die Abbildung zeigt, ist im Gebiet von Graal-Müritz im langjährigen Mittel in einem Jahr an etwa 9 Tagen mit einer Wärmebelastung zu rechnen. In den beiden wärmsten Monaten Juli und August sind im Mittel jeweils rund 3 Tage mit Wärmebelastung gegeben. Der Richtwert von 20 Tagen wird im Untersuchungsgebiet deutlich unterschritten und somit eingehalten.

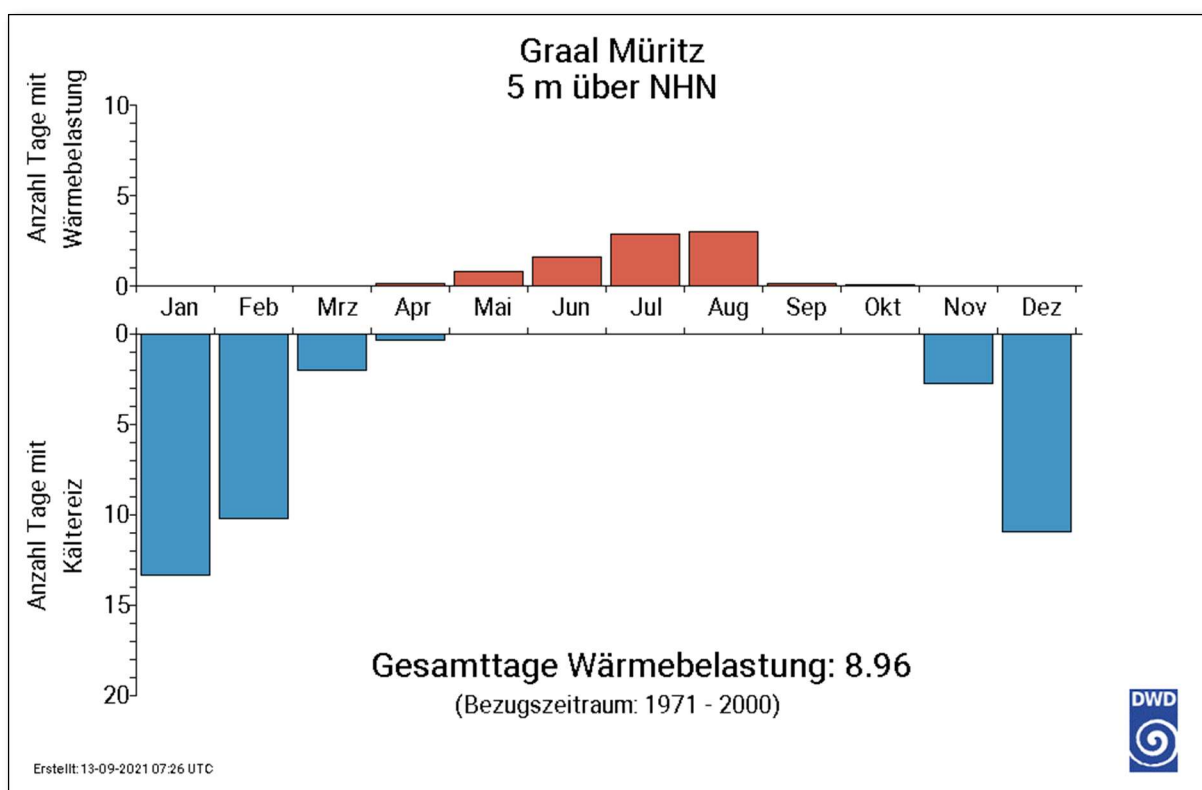


Abb. 11: Thermische Belastung in Graal-Müritz, (Bezugszeitraum 1971 - 2000), Rasterpunkt

In Tab. 8 ist die Anzahl der Tage pro Jahr mit Wärmebelastung und Kältereiz sowie die dazugehörige Häufigkeitsklasse (siehe Tab. 7) für Graal-Müritz aufgelistet. Beide Parameter hängen primär mit der Höhenlage zusammen: Je geringer die Höhenlage, desto häufiger tritt Wärmebelastung auf und umgekehrt. Mit den Kältereizen verhält es sich ebenso: Zunehmende Höhe ist tendenziell gleichbedeutend mit zunehmenden Kältereizen.

Abweichungen ergeben sich durch die Topographie und Geographie und die damit zusammenhängende unterschiedliche gefühlte Temperatur.

Tab. 7: Bewertungsschlüssel der Häufigkeitsklassen für Wärmebelastung und Kältereize (1971 - 2000)

Häufigkeitsklasse Wärmebelastung	Zahl der Tage pro Jahr
sehr selten	≤ 4
selten	> 4 – ≤ 12
gelegentlich	> 12 – ≤ 20
vermehrt	> 20 – ≤ 25
häufig	> 25 – ≤ 28
sehr häufig	> 28
Häufigkeitsklasse Kältereize	Zahl der Tage pro Jahr
selten	0 – 22,5
gelegentlich	> 22,5 – ≤ 37,5
vermehrt	> 37,5 – ≤ 52,5
häufig	> 52,5 – ≤ 67,5
sehr häufig	> 67,5 – ≤ 85
überwiegend	> 85

Tab. 8: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung und Kältereizen sowie Angabe der Häufigkeitsklasse (1971 - 2000)

Ort	Höhe m NHN	Wärmebelastung		Kältereiz	
		Gesamttag	Häufigkeitsklasse	Gesamttag	Häufigkeitsklasse
Graal-Müritz	5	9	selten	41	vermehrt

Abweichend von den im Mittel zu erwartenden Verhältnissen kann es in einzelnen Jahren im Sommer allerdings zu vermehrter Wärmebelastung kommen. Kompakte Bebauung in Siedlungsbereichen kann aufgrund des vergleichsweise hohen Wärmespeichervermögens der Gebäude die Wärmebelastung entsprechend erheblich verstärken. Diese Erscheinung spielt jedoch nur örtlich eine Rolle; wegen der relativ geringen Ortsgröße und nur örtlicher kleinstädtisch-dichter Bebauung in Graal-Müritz sind nur unbedeutende Auswirkungen auf die Wärmebelastung zu erwarten. Um sich bei höheren Lufttemperaturen vor intensiver Sonneneinstrahlung zu schützen, wird meist das schützende Kronendach des Waldes bewusst aufgesucht. Dem Wald kommt als Klimaregulator im Aufenthaltsbereich des Menschen eine Schlüsselrolle zu (Jendritzky, Menz, Schmidt-Kessen, & Schirmer, 1990).

Die Abschattung durch den Kronenraum bewirkt tagsüber eine geringe Einstrahlung und dämpft die nächtliche Wärmeausstrahlung. Im Gegensatz zu Freiflächen treten deshalb im Waldesinnern weder Überhitzung noch starke Abkühlung auf (Matzarakis & Ender, 2010). Möglichkeiten, entsprechende Areale aufzusuchen, sind in der Umgebung von Graal-Müritz in den ausgedehnten Waldbeständen der Rostocker Heide sowie unter den Baumbeständen im Bereich des Rhododendronparks vorhanden.

Im Unterschied zur Wärmebelastung ist ein gewisses Maß an Kältereizen erwünscht (Schuh, 1995). Kältereize lassen sich durch entsprechendes Verhalten des Menschen, wie den Wechsel der Bekleidung, unterschiedliche körperliche Aktivität, die Variation der Aufenthaltsdauer im Freien und die Wahl der Wanderwege gut dosieren. Im Sinne der Kältetherapie sind sie zur Stärkung des Immunsystems, zur Rehabilitation und Abhärtung nutzbar. Auch die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Organismus an Wetterwechsel und Umweltreize kann wohl dosiert neu erlernt oder trainiert werden.

Die klimatischen Verhältnisse im Bereich Graal-Müritz bieten zahlreiche Möglichkeiten, diese Reize zu nutzen und abgestimmt einzusetzen, vor allem durch den Wechsel von Freiflächen und dem vorhandenen Waldbestand. Während in den Sommermonaten der Aufenthalt im Wald und direkt am Wasser einen Ausgleich an den Tagen mit Wärmebelastung darstellt, bietet der Wald im Winter Schutz an Tagen mit zu starken Kälte- und Windreizen. Wichtig ist es, dass diese klimatischen Vorzüge des Ortes auch zukünftig erhalten bleiben, um diese Kompensation auch in einem sich ändernden Klima (siehe Kapitel 5) zu erhalten (Gutenbrunner und Hildebrand, 1998). Der Pflege, Erhaltung und gegebenenfalls Erweiterung des vorhandenen Wald- und Baumbestandes kommt deshalb eine große Bedeutung zu.

Tab. 9: Bewertungsschlüssel der Kältereize für den Beurteilungszeitraum 1971 - 2000

Bewertung Kältereiz	Zahl der Tage pro Jahreszeit mit vermehrtem Kältereiz gegenüber Frankfurt/Main
selten	0 Tage, d. h. thermisch indifferente Bedingungen gegenüber Frankfurt Wärmebelastung vor Ort an mehr als 11 Tagen
hinreichend	0 Tage, Wärmebelastung vor Ort an maximal 11 Tagen
vermehrt	0 bis 5 Tage
häufig	6 bis 12 Tage
überwiegend	13 bis 25 Tage
dauernd	mehr als 25 Tage

Die Zahl der Tage pro Jahreszeit mit Kältereizen (Tab. 10) wird im Vergleich zu den Verhältnissen in Frankfurt am Main angegeben. Ein Kältereiz von 0 Tagen bedeutet thermisch indifferente Bedingungen zu diesem Bezugsort. Die Möglichkeiten einer Kältetherapie im Sinne einer Rehabilitation und Abhärtung lassen sich über folgende in Tab. 9 aufgeführte 6-stufige Skala jahreszeitlich einstufen. Bei dieser Bewertung wird berücksichtigt, ob die gezielte Anwendung von Kältereizen bei entsprechender Wahl der Bekleidung im Freien möglich ist. Danach ergeben sich auf der Basis des Bezugszeitraumes 1971 - 2000 für Graal-Müritz in den einzelnen Jahreszeiten folgende in Tab. 10 aufgeführte Möglichkeiten der klimatherapeutischen Nutzung der Kältereize. Insgesamt besteht die Möglichkeit der Anwendung von Kältereizen in den Übergangsjahreszeiten vermehrt, im Sommer hinreichend und im Winter überwiegend.

Tab. 10: Einstufung der Kältereize in Graal-Müritz für den Beurteilungszeitraum 1971 - 2000

Jahreszeit	Zeitraum	Einstufung
Frühjahr	März bis Mai	vermehrt
Sommer	Juni bis August	hinreichend
Herbst	September bis November	vermehrt
Winter	Dezember bis Februar	überwiegend

2.3.5 Bewertung der thermischen Beanspruchung auf Basis des Bezugszeitraum 1981 - 2010

Die Bewertung der thermischen Beanspruchung auf Basis des Bezugszeitraums 1981 - 2010 wird noch nicht für das Beurteilungsverfahren in Kurorten eingesetzt, soll an dieser Stelle aber als zusätzliche Information dienen. Grundlage ist ebenfalls das beschriebene KMM und die Gefühlte Temperatur. Im Unterschied zum Bezugszeitraum 1971 - 2000 wurde aber das Bewertungsverfahren zur Erstellung der Bioklimakarte für 1981 - 2010 weiterentwickelt, indem zum einen der hohen gesundheitlichen Bedeutung der Schwüle ein stärkeres Gewicht verliehen wurde und zum anderen, eine mögliche Anpassung des Menschen an wärmere Bedingungen, aufgrund der bereits eingetretenen und der erwarteten weiter fortschreitenden Klimaerwärmung, berücksichtigt wurde. Für die Anpassung bzw. Akklimatisation, welche als Reihe von thermophysiologischen Anpassungen definiert ist, die sich nach mehreren Tagen der Exposition in einer veränderten thermischen Umgebung einstellen (Fanger, 1972); (Yousef, Sagawa, & Shiraki, 1986), wurde das in Anlehnung an das Verfahren des Hitzewarnsystems des DWD verwendete Verfahren HeRATE verwendet (Koppe, 2005). Für den Menschen tritt für den Bezugszeitraum 1971 - 2000 eine Wärmebelastung auf, wenn trotz Sommerkleidung ein bestimmter Schwellenwert (ca. 29 °C Gefühlte Temperatur) überschritten wird. Beim Verfahren für den Bezugszeitraum 1981 - 2010 wird durch die beiden Neuerungen ein Tag mit Wärmebelastung bzw. Kältereiz nun wie folgt definiert:

Ein Tag mit Wärmebelastung tritt auf, wenn zu ~13 MEZ der variable Schwellenwert zu „starker Wärmebelastung“ (d. h. $GT \geq 32 \text{ °C}$ bis max. 34 °C) überschritten wird oder wenn zu ~13 MEZ der variable Schwellenwert zu „mäßiger Wärmebelastung“ (d. h. $GT \geq 26 \text{ °C}$) überschritten wird und schwüle Bedingungen bestehen. Ein Tag mit Kältereiz tritt auf, wenn der Tagesmittelwert der Gefühlten Temperatur zwischen 7 bis 19 MEZ den variablen Schwellenwert von $-6,5 \text{ °C}$ bis max. -4 °C unterschreitet.

Durch die Weiterentwicklung des Beurteilungsverfahrens einschließlich der beschriebenen Änderungen der Definitionen der Ereignistage, ist ein unmittelbarer Vergleich der Wärmebelastungs- bzw. Kältereiztage der beiden Bezugszeiträume nicht möglich. Die Änderungen bewirken, dass sich insgesamt weniger Belastungstage ergeben.

Somit muss insbesondere auch der für die Prädikatisierung bedeutsame Richtwert von 20 bzw. 23 Tagen mit Wärmebelastung (Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV), 2018) neu festgelegt werden. Die Festlegung erfolgt über eine Nachanalyse des Zeitraums 1971 - 2000 mit dem weiterentwickelten Verfahren. Daraus ergibt sich ein Richtwert von 11 Tagen (örtlich in Deutschland abweichend; für Graal-Müritz beträgt er jedoch 11 Tage), wobei eine Überschreitung um 2,5 Tage bei ausreichender abendlicher Abkühlung möglich ist. Mit diesem Richtwert für 1981 - 2010 kann weitestgehend konsistent zu 1971 - 2000 die Anzahl der Tage mit Überschreitung des Richtwertes berechnet und somit auch mit dem vorherigen Zeitraum verglichen werden.

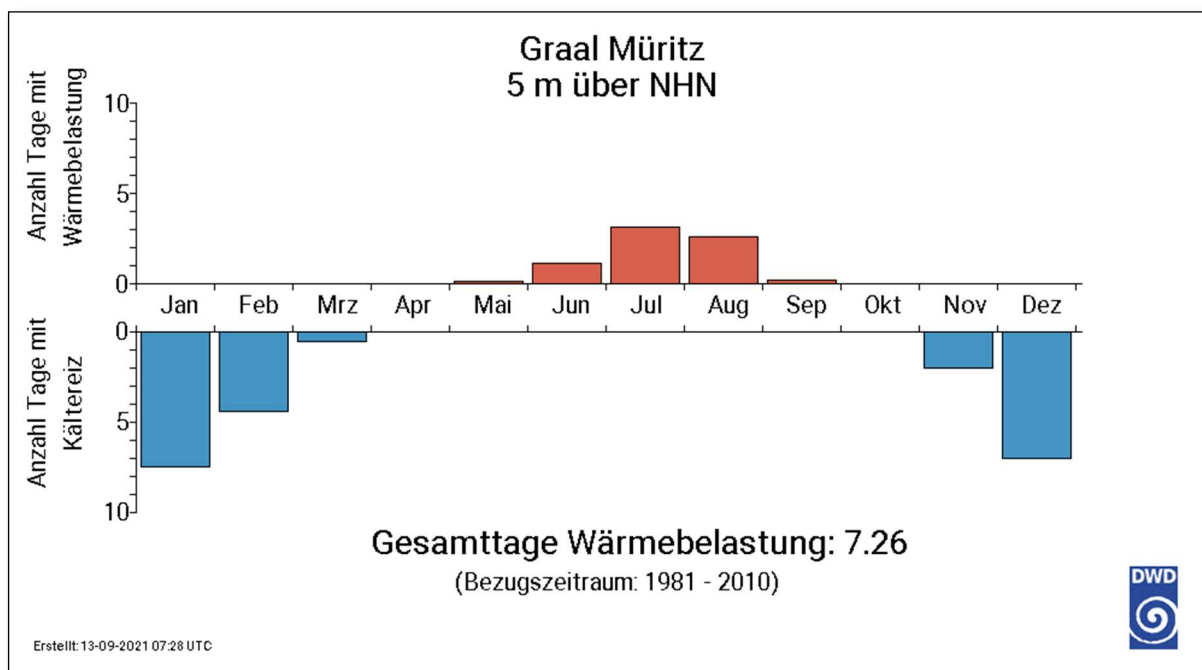


Abb. 12: Thermische Belastung in Graal-Müritz, (Bezugszeitraum 1981 - 2010), Rasterpunkt

In der Abb. 12 ist die Verteilung von Wärmebelastung und Kältereizen im Jahresverlauf für Graal-Müritz in einer Höhe von etwa 5 m ü. NHN dargestellt. Wie die Abbildungen zeigen, ist im Gebiet im langjährigen Mittel in einem Jahr an etwa 7 Tagen mit einer Wärmebelastung zu rechnen.

In den wärmsten Monaten Juli und August sind im Mittel rund 3 Tage mit Wärmebelastung gegeben. Der Richtwert von 11 Tagen wird im Untersuchungsgebiet deutlich unterschritten und somit eingehalten.

In Tab. 11 ist die Verteilung der Wärmebelastung und des Kältereizes sowie die dazugehörige Häufigkeitsklasse (Tab. 12) für Graal-Müritz aufgelistet.

Tab. 11: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung und Kältereizen sowie Angabe der Häufigkeitsklasse (1981 - 2010)

Ortsteil	Höhe m NHN	Wärmebelastung		Kältereiz	
		Gesamttag	Häufigkeitsklasse	Gesamttag	Häufigkeitsklasse
Graal-Müritz	5	7	gelegentlich	23	vermehrt

Tab. 12: Bewertungsschlüssel der Häufigkeitsklassen für Wärmebelastung und Kältereize (1981 - 2010)

Häufigkeitsklasse Wärmebelastung	Zahl der Tage pro Jahr
sehr selten	≤ 2
selten	$> 2 - \leq 6$
gelegentlich	$> 6 - \leq 11$
vermehrt	$> 11 - \leq 15$
häufig	$> 15 - \leq 19$
sehr häufig	> 19
Häufigkeitsklasse Kältereiz	Zahl der Tage pro Jahr
selten	≤ 15
gelegentlich	$> 15 - \leq 22$
vermehrt	$> 22 - \leq 30$
häufig	$> 30 - \leq 40$
sehr häufig	$> 40 - \leq 55$
überwiegend	> 55

Auch der Bewertungsschlüssel für die Kältereize lässt sich analog zusammen mit den aktuellen Auswertungen der Wetterstation Frankfurt/ Flughafen anpassen (Tab. 13).

Tab. 13: Bewertungsschlüssel der Kältereize für den Beurteilungszeitraum 1981 - 2010 (ursprünglich VDI,2010; geänderte Werte)

Bewertung Kältereiz	Zahl der Tage pro Jahreszeit mit vermehrtem Kältereiz gegenüber Frankfurt/Main
selten	0 Tage, d.h. thermisch indifferente Bedingungen gegenüber Frankfurt Wärmebelastung vor Ort an mehr als 5 Tagen
hinreichend	0 Tage, Wärmebelastung vor Ort an maximal 5 Tagen
vermehrt	0 bis 3 Tage
häufig	4 bis 8 Tage
überwiegend	9 bis 18 Tage
dauernd	mehr als 18 Tage

Tab. 14: Einstufung der Kältereize in Graal-Müritz für den Beurteilungszeitraum 1981 - 2010

Jahreszeit	Zeitraum	Einstufung
Frühjahr	März bis Mai	hinreichend
Sommer	Juni bis August	hinreichend
Herbst	September bis November	vermehrt
Winter	Dezember bis Februar	häufig

Ein Vergleich der Anzahl der Tage mit Kältereizen aus den Bezugszeiträumen 1971 - 2000 und 1981 - 2010 ergibt in Graal-Müritz für die Jahreszeiten Sommer und Herbst keine relevanten Veränderungen. In beiden Zeiträumen treten Kältereize im Sommer hinreichend, im Herbst vermehrt auf. Die Anzahl der Tage mit Kältereizen im Frühjahr und Winter hat sich jedoch wegen der globalen Erwärmung, die auch in Norddeutschland spürbar ist, in Graal-Müritz etwas verringert (vgl. Tab. 10 und Tab. 14). In diesen beiden Jahreszeiten ist nur noch hinreichend (Frühjahr) bzw. häufig (Winter) mit Kältereizen zu rechnen.

2.4 Aktinischer Wirkungskomplex

2.4.1 Allgemein

Der aktinische Wirkungskomplex behandelt den Einfluss der verschiedenen Strahlungskomponenten auf den menschlichen Organismus. Zu den direkten Strahlungswirkungen gehören die Einflüsse des Lichts auf das Sehen, den Stoffwechsel und die Psyche (Jendritzky, G. et al., 1998); (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998). Besondere Effekte werden durch die energiereiche ultraviolette (UV) Strahlung hervorgerufen.

Diese besitzt trotz ihres geringen Anteils an der Sonnenstrahlung eine sehr große biologische Bedeutung und Wirkung.

Die lokalklimatischen Unterschiede werden durch die Sonnenscheindauer und die Bewölkungsverhältnisse beschrieben. Im Ultraviolett-Bereich (Wellenlängenbereich von etwa 100 nm bis 400 nm des Strahlungsspektrums) sind aus bioklimatischer Sicht über den primären Faktor Bewölkung hinaus noch folgende Parameter relevant: Der Sonnenstand; die Oberflächenbeschaffenheit (Albedo) bezüglich des Reflexionsvermögens; die Dicke der Ozonschicht (Gesamtozon); die Höhe über dem Meeresniveau; der Anteil an Aerosole (Partikel).

Der Einfluss des aktinischen Wirkungskomplexes wird wesentlich durch das Verhalten des Menschen bestimmt. Es kommt darauf an, die stimulierenden Wirkungen des Lichts und der UV-Strahlung zu nutzen (viele positive Wirkungen sind möglich, siehe Kapitel 2.4.2.3) und gleichzeitig der Gefahr einer schädlichen Überdosierung ultravioletter Strahlen zu entgehen (Jendritzky, G. et al. , 1998); (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998).

Ein hoher Strahlungsgenuss wird in der Regel positiv bewertet, kann aber bei Wärmebelastung rasch als unangenehm empfunden werden. Hier zeigt sich, dass das Wetter und die Witterung auf vielfältige Weise zum Erfolg oder Misserfolg eines Erholungsaufenthaltes beitragen können und welche Bedeutung der Dosierungsmöglichkeit in der Klimatherapie zukommt (Schuh, 1995); (Koch et al., 2005); (MVI, 2012). Dazu kann ein topographisch stärker gegliedertes Terrain bzw. ein abwechslungsreiches Landschaftsbild ebenso beitragen, wie ein variierender Bewuchs des Bodens mit unterschiedlichem Baumbestand innerhalb des Kurortes einschließlich großzügiger Grün- und Parkanlagen.

2.4.2 Einflussgrößen auf die UV-Strahlung

In Tab. 15 werden die Einflussgrößen auf die sonnenbrandwirksame (erythemgewichtete) UV-Strahlung (WHO et al., 2002) und deren verstärkende bzw. abschwächende Wirkung aufgelistet (Staiger et al., UV Index Forecasting on a global scale. Meteorologische Zeitschrift 14, 259-270., 2005). Dabei wird ein typischer Jahresgang auf der Nordhemisphäre vorausgesetzt, mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter. Nachfolgend werden diese Einflussgrößen in den Kapiteln 2.4.2.1 bis 2.4.2.6 besprochen.

Tab. 15: Einflussgrößen auf die sonnenbrandwirksame UV-Strahlung und deren Änderungsauswirkungen (Verstärkung ↗ bzw. Abschwächung ↘)

Einflussgröße	Änderung / Besonderheit / Eigenschaft	UV-Wirkungseffekt
Sonnenhöhe	Abnahme	↘↘
	Zunahme	↗↗
Bewölkung	Abnahme	↗ bis ↗↗
	Zunahme	↘ bis ↘↘
	Besonderheit: Aufgelockerte Bewölkung	kurzzeitige Erhöhung durch Reflexion möglich
Höhe über dem Meeresspiegel	Abnahme	↘
	Zunahme	↗
Gesamtozongehalt in der Atmosphäre	Herbst: Jährliches Minimum	↗
	Frühjahr: Jährliches Maximum	↘ (mittlere Breiten) ↗ (Antarktis, Arktis)
	Besonderheit im Frühjahr: Mini-Ozonlöcher auch in mittleren Breiten	↗↗
Oberflächenreflexion (Albedo)	dunkle Oberflächen	keinen Effekt
	Schnee, Sand	↗↗, ↗
Aerosolgehalt - Trübung der Luft	normale urbane Luftverschmutzung	↘
	starke Luftverschmutzung	↘↘

↗, ↘: leichte Wirkung; ↗↗, ↘↘: starke Wirkung

2.4.2.1 Sonnenstand

Die Höhe der Sonne über dem Horizont an einem Ort ist abhängig von der geographischen Breite und weist einen Jahresverlauf mit einem Maximum im Sommer (Juni) und einem Minimum im Winter (Dezember) auf (Nordhemisphäre). Da dieser in Verbindung mit den Bewölkungsverhältnissen die Sonnenscheindauer bestimmt, wird diese Größe in Kapitel 2.4.2.3 mitberücksichtigt.

2.4.2.2 Topographische Höhe

Neben dem Einfluss der topographischen Höhe auf die Bewölkungsverhältnisse (und damit auf die Sonnenscheindauer), hat diese auch Einfluss auf den Aerosolgehalt und wird daher in den jeweils folgenden Kapiteln 2.4.2.3 und 2.4.2.6 mitbehandelt.

2.4.2.3 Sonnenscheindauer – Bewölkung und UV-Strahlung

Als Sonnenscheindauer bezeichnet man die tatsächliche Dauer der direkten Sonnenstrahlung an einem bestimmten Ort innerhalb eines definierten Zeitraumes (Tag, Woche, Monat, Jahreszeit, Jahr). Der für einige Prädikate geltende Richtwert liegt bei mindestens 1500 Sonnenscheinstunden pro Jahr. Das Strahlungsangebot kann je nach Lage und Exposition durch Horizonteinschränkungen unterschiedlich nach Sonnenaufgang und/oder vor Sonnenuntergang geschmälert werden, wobei dies vornehmlich die hinsichtlich der möglichen Sonnenscheindauer ohnehin benachteiligten Wintermonate betrifft. In diesem Fall beträgt der Richtwert 1350 Stunden. Für Erholungsorte stellt dieser Wert einen Richt-, jedoch keinen Grenzwert dar. Trotzdem spielt die Höhe der Sonnenscheindauerstunden eine entscheidende Rolle beim Erfolg einer Kur oder bei der Einschätzung des Wohlbefindens von Touristen und Erholungsuchende; und das nicht nur als ästhetische Komponente.

Abb. 13 zeigt die Jahressumme der Sonnenscheindauer in Stunden [h] im Gebiet von Graal-Müritz, die mit Hilfe von Rasterdaten erstellt wurde. Die Sonnenscheindauer liegt im Bereich von Graal-Müritz in einer Spanne zwischen etwa 1781 und 1789 Stunden (Zeitraum 1991 - 2020). Damit liegt die mittlere jährliche Sonnenscheindauer in Graal-Müritz deutlich über dem für Seeheilbäder empfohlenen Mindestrichtwert von 1.500 Stunden (Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV), 2018).

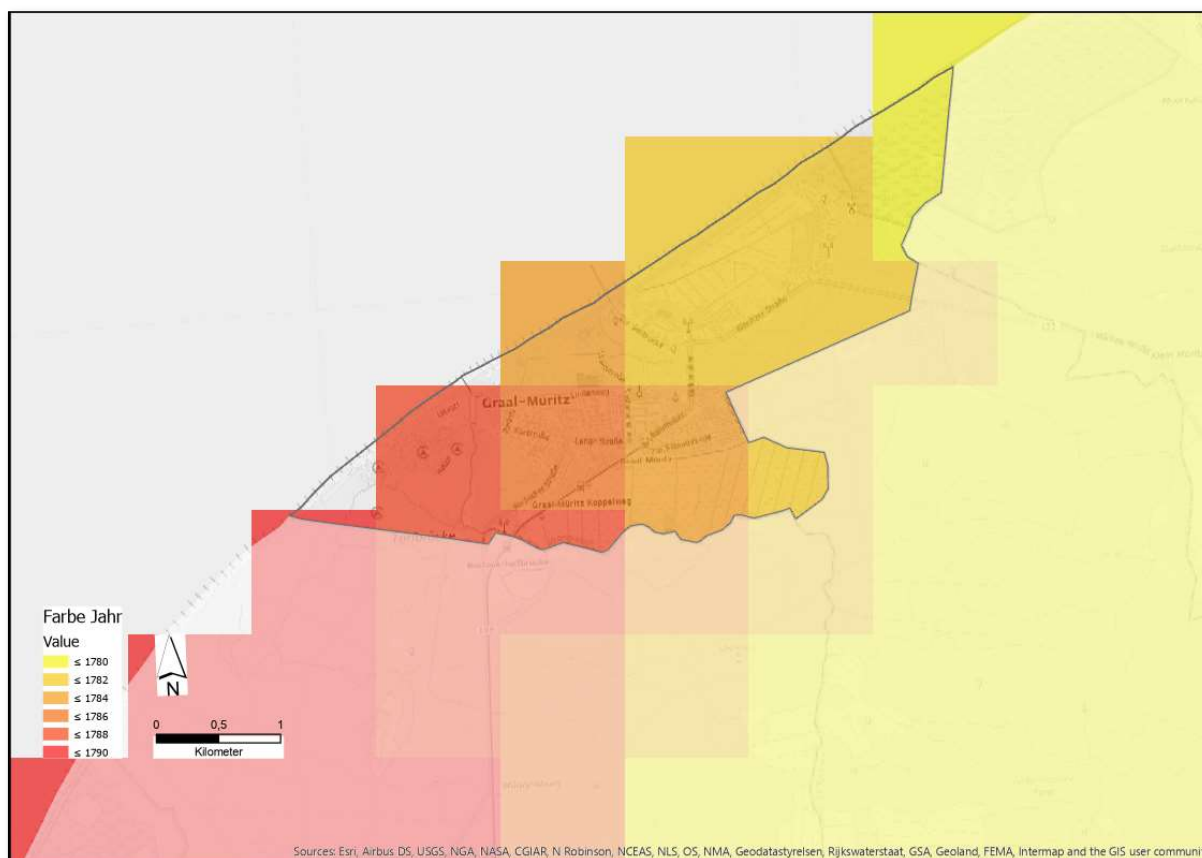


Abb. 13: Jahressumme der Sonnenscheindauer [h], Graal-Müritz, Rasterdaten 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (<http://www.bkg.bund.de>) ergänzt mit meteorologischen Daten

In der Abb. 14 ist exemplarisch für den Rasterpunkt in Graal-Müritz der Jahresgang der Sonnenscheindauer aus dem Zeitraum 1991 - 2020 abgebildet. Die Jahressumme der Sonnenscheindauer ergibt sich zum weit überwiegenden Teil aus dem sonnenscheinreichen Sommerhalbjahr. Obwohl der Monat Juni die astronomisch höchst mögliche Sonnenscheindauer bringt, sind der Mai und Juli etwas sonnenscheinreicher.

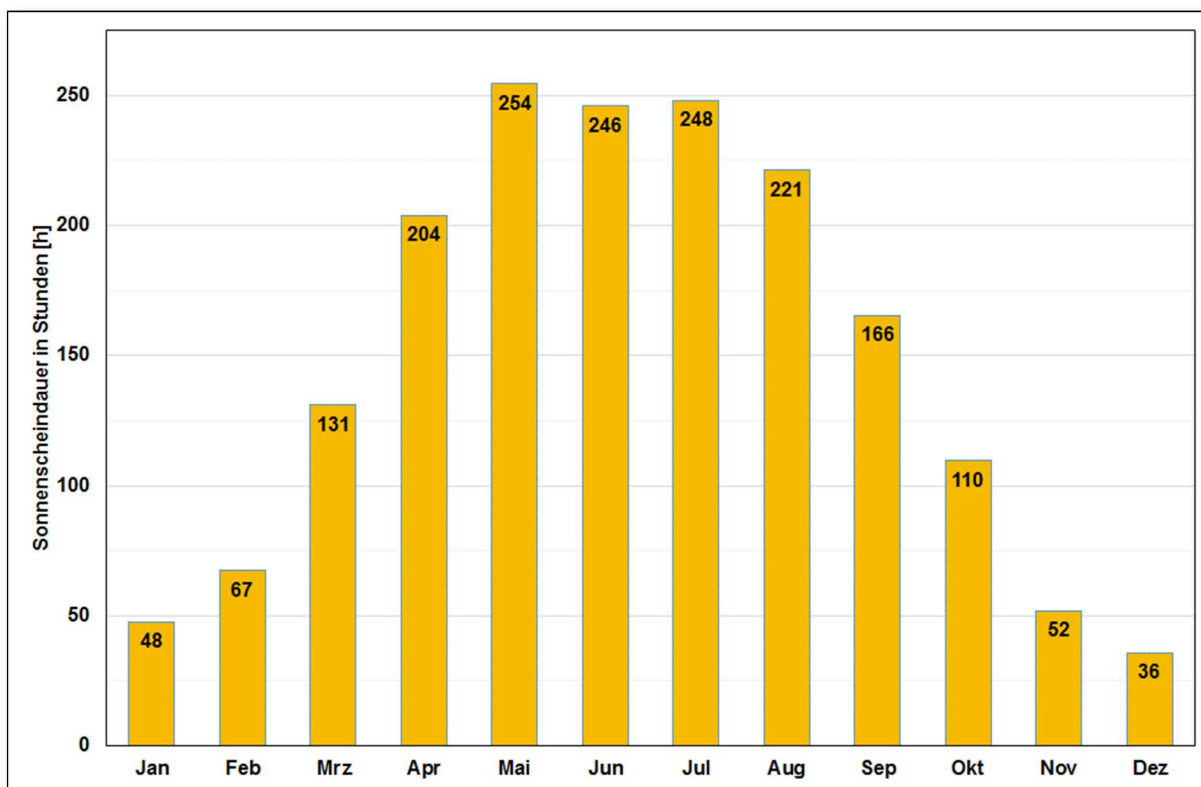


Abb. 14: Jahresgang der Sonnenscheindauer in Stunden [h], Graal-Müritz, Rasterdaten, 1991 - 2020

Im Frühjahr steigt die Sonnenscheindauer allmählich an, wobei trotz des geringeren Sonnenstands und der kürzeren Tageslänge die UV-Strahlung bereits bedeutsame Werte annehmen kann (siehe dazu Kapitel 2.4.3). Ausgehend von den vier sonnenscheinreichsten Monaten Mai, Juni, Juli und August ist sodann ein rascherer Rückgang vom Sommer zum Herbst (im Vergleich zum Übergang vom Frühjahr zum Sommer) auffällig. Damit ist der Übergang zur trüben Jahreszeit gekennzeichnet, in der einerseits die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer kontinuierlich abnimmt und außerdem die Zahl der Tage mit Nebel und Hochnebel sowie dessen Andauer zunimmt.

Wie aus Abb. 15 und Abb. 16 sowie aus Tab. 16, in der die Sonnenstunden am Rasterpunkt in Graal-Müritz für den Zeitraum 1991 - 2020 aufgeführt sind, hervorgeht, treten bei der Sonnenscheindauer deutliche Unterschiede im Laufe des Jahres auf: Im sonnenscheinärmsten Monat des Winters ist die Sonnenscheindauer mit etwa 36 Stunden deutlich geringer als im sonnenscheinreichsten Monat des Sommerhalbjahres mit 254 Stunden.

Tab. 16: Sonnenscheindauer in Stunden [h] in Graal-Müritz, Rasterdaten, Zeitraum: 1991 - 2020

Sonnenscheindauer [h]	Graal-Müritz
Mittlere Sonnenscheindauer im Jahr	1783
sonnenscheinreichster Monat (Mai)	254
sonnenscheinärmster Monat (Dezember)	36

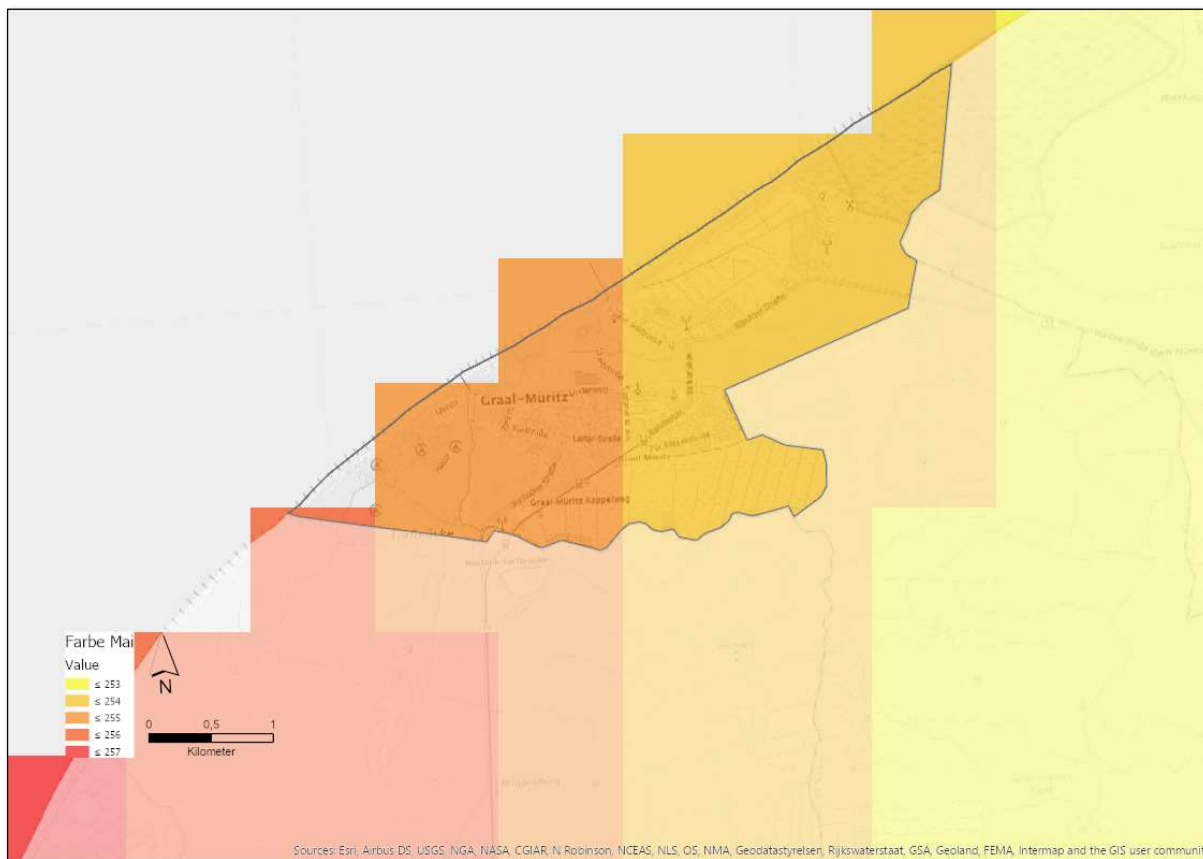


Abb. 15: Sonnenscheindauer [h] im Juli, Graal-Müritz, Rasterdaten, 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (<http://www.bkg.bund.de>) ergänzt mit meteorologischen Daten



Abb. 16: Sonnenscheindauer [h] im Dezember, Graal-Müritz, Rasterdaten 1991 - 2020, © GeoBasis-DE / BKG 2020 (<http://www.bkg.bund.de>) ergänzt mit meteorologischen Daten

Korrespondierend zum Jahresverlauf der Sonnenscheindauer verhält sich auch die UV-Strahlung. Im Folgenden wird als Maß für die UV-Strahlung der UV-Index verwendet. Der UV-Index ist eine international standardisierte (dimensionslose) Maßzahl für die Stärke der UV-Strahlung der Sonne. Mit Hilfe dieses Index will man das Bewusstsein der Menschen über die Gefährlichkeit der UV-Strahlung schärfen und er soll dem Menschen helfen, die Sonnenstrahlung einzuschätzen und sich mit geeigneten Maßnahmen vor der gefährlichen Strahlung zu schützen. Je höher der Indexwert ist, desto schädlicher ist die Strahlung. Der UV-Index ist unabhängig vom Hauttyp.

Der UV-Index beruht auf der Einschätzung der erwarteten maximalen sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung innerhalb eines Tages. Zur leichteren Beurteilung der gesundheitlichen Risiken beim Aufenthalt in der Sonne werden die berechneten Werte des UV-Indexes in fünf Gefahrenbereiche eingeteilt (WHO et al., 2002). Den Bereichen mit (keiner), geringer, mittlerer, hoher und sehr hoher Gefährdung sind in Anlehnung an die Empfehlungen der Weltgesundheits-Organisation (WHO) geeignete Schutzmaßnahmen zugeordnet (Tab. 17).

Tab. 17: Gefährdungseinstufung des UV-Indexes und empfohlene Maßnahmen

UV-Index	Strahlungsstärke	Gefährdung (UV-Gefahrenindex)	Schutzmaßnahmen	
0	/	keine	kein Schutz erforderlich	
1-2	schwach	gering	kein Schutz erforderlich	
3-5	mittel	mittel	erforderlich	Schatten suchen, als Schutz erforderlich: Hut, T-Shirt, Sonnenbrille, Sonnencreme
6-7	hoch	hoch	erforderlich	Schatten suchen, als Schutz erforderlich: Hut, T-Shirt, Sonnenbrille, Sonnencreme
8-10	sehr hoch	sehr hoch	unbedingt erforderlich	zusätzlicher Schutz erforderlich: Aufenthalt im Freien zwischen 11 und 16 Uhr möglichst vermeiden
11-12	extrem	extrem	sind ein Muss	zusätzlicher Schutz erforderlich: Aufenthalt im Freien zwischen 11 und 16 Uhr möglichst vermeiden

In Abb. 17 sind zwei Jahresgänge des UV-Indexes (jeweils des Tagesmaximums) dargestellt: Der UV-I entspricht dabei den realen Bedingungen, d. h. alle in Tab. 17 aufgeführten Parameter werden in die Berechnung mit einbezogen; im Vergleich dazu zeigt die Kurve „UV-I-Strahlungstag“ den hypothetischen Jahresverlauf, gäbe es ausschließlich Strahlungstage, d. h. alle Parameter bis auf die Bewölkung finden Berücksichtigung (Vitt et al., 2020). Die farbliche Unterlegung stellt die UV-Belastungsklassen dar.

Erwartungsgemäß treten die höchsten Werte zwischen Juni und August auf, d. h. während des Sonnenhöchststandes und etwa 2 Monate danach. Dabei kommt es zu natürlichen Schwankungen (Zappeln der Linie), die die starke Variabilität der UV-Strahlung und damit des UV-Indexes kennzeichnet, welche ein prägendes Charakteristikum in unseren Breiten darstellt. Ursachen sind die wechselnden Wetterlagen in Form von Hoch- und Tiefdruckgebieten mit typischen Wechseln von geringer und starker Bewölkung (Vitt et al., 2020).

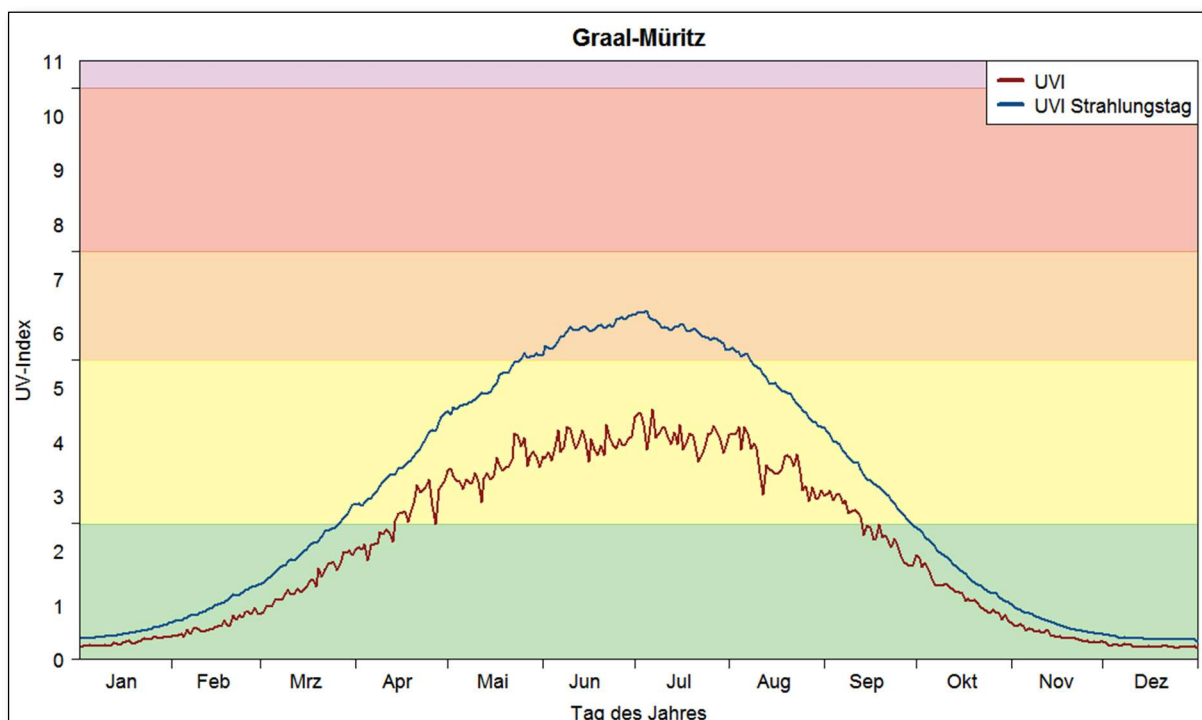


Abb. 17: Mittlerer Jahresverlauf des UV-Indexes in Graal-Müritz, farblich hinterlegt nach den UV-Belastungsstufen, Quelle: Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten 1986 - 2015

In Tab. 18 ist die jeweilige durchschnittliche Anzahl der Tage ausgewählter UV-Index-Bereiche unter Berücksichtigung der Bewölkung aufgelistet. Die ausgewählten Bereiche ≥ 3 , ≥ 6 und ≥ 8 basieren auf der Wirkung der UV-Strahlung (siehe Kapitel 2.4.3).

Tab. 18: Absolute monatliche Überschreitung der Grenzwerte des UV-I ≥ 3 , ≥ 6 und ≥ 8 des bewölkten UV-Indexes in Graal-Müritz

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittlere Anzahl der Tage mit UV-Index ≥ 3	0,0	0,0	1,6	16,3	23,3	24,0	26,2	25,4	14,3	0,2	0,0	0,0
Mittlere Anzahl der Tage mit UV-Index ≥ 6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	5,8	6,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittlere Anzahl der Tage mit UV-Index ≥ 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Der Abb. 18 können die relativen Häufigkeiten des UV-Indexes im Jahresverlauf von Graal-Müritz basierend auf einer UV-Klimatologie entnommen werden. Das Jahr ist dabei in näherungsweise 10-Tages-Abschnitten (Dekaden) dargestellt. 100 % entsprechen dabei bei Monaten mit 30 Tagen 10 von möglichen 10 Tagen. Erwartungsgemäß treten zwischen etwa Mitte Mai und Mitte August die höchsten Werte auf (orange: hoch), wobei hohe UV-Indizes am häufigsten ab der zweiten Juni-Dekade bis zur ersten August-Dekade zu verzeichnen sind.

In diesem Zeitraum tritt an etwa 15 % bis 25 % des 10-Tages-Intervalls (längste orange Balken) ein hoher UV-Index auf, d. h. an etwa zwei bis drei Tagen. Dabei ist hauptsächlich in der ersten Julidekade an drei Tagen mit einem hohen UV-Index zu rechnen. Ein sehr hoher UV-Index (roter Balken) ist im Raum Graal-Müritz nicht zu erwarten.

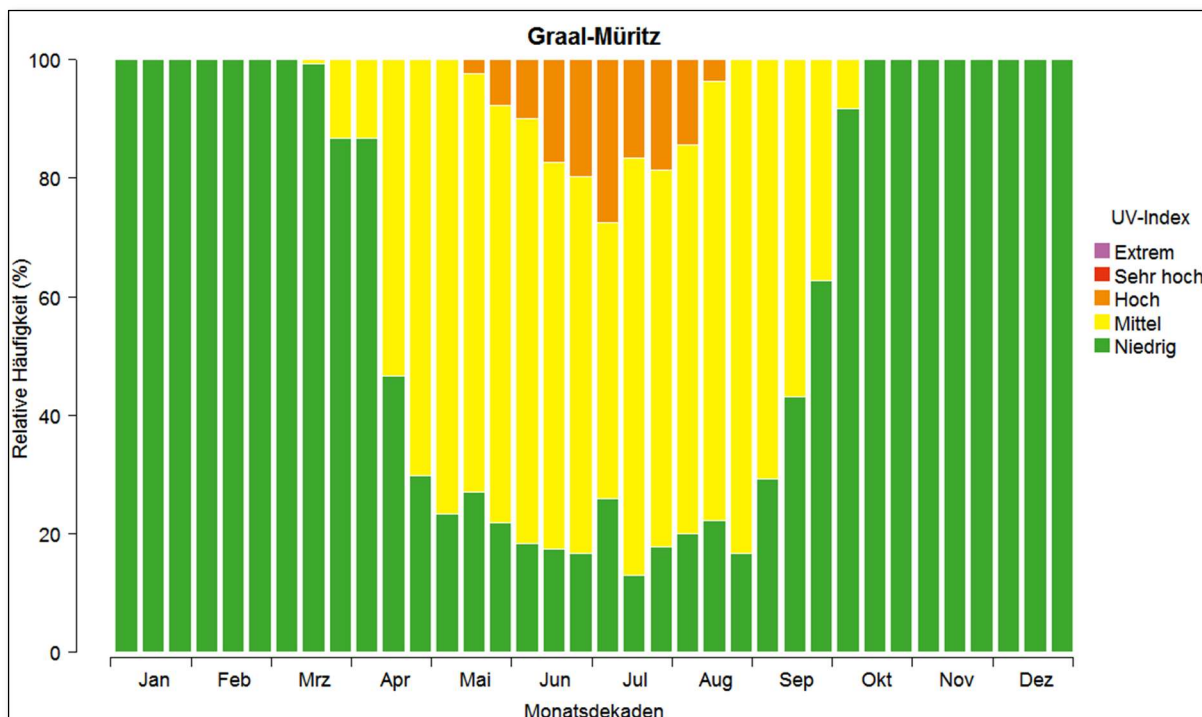


Abb. 18: Durchschnittliche relative Häufigkeit der UV-Index Klassen unter bewölkten Bedingungen für 10-Tagesdekaden für Graal-Müritz, Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten 1986 - 2015

In der Abb. 19 sind die absoluten Häufigkeiten ausgewählter UV-Indizes (Anzahl der Tage pro Monat) aufgeführt. Ein UV-Index mit mindestens 6 tritt ausschließlich in den Monaten Mai bis August auf, wobei die höchsten Anteile auf die Monate Juni und Juli entfallen. Währenddessen tritt ein UV-Index von mindestens 3 bereits im März auf und auch noch im Herbstmonat September. Ein UV-Index von ≥ 8 ist im Bereich von Graal-Müritz dagegen nicht zu erwarten.

Darüber hinaus weist der UV-Index auch einen Tagesgang auf: Die höchsten Werte treten in den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden während des Sonnenhöchststandes sowie 2 Stunden davor und danach auf. Vor und nach dem täglichen Sonnenhöchststand nimmt der UV-Index in etwa gleichmäßig zu bzw. ab, wobei die Stärke vormittags tendenziell etwas höher ist, da noch keine Wolken vorhanden sind, die sich an einem Strahlungstag erst im Laufe des Tages entwickeln und zu einer Reduktion der UV-Strahlung führen.

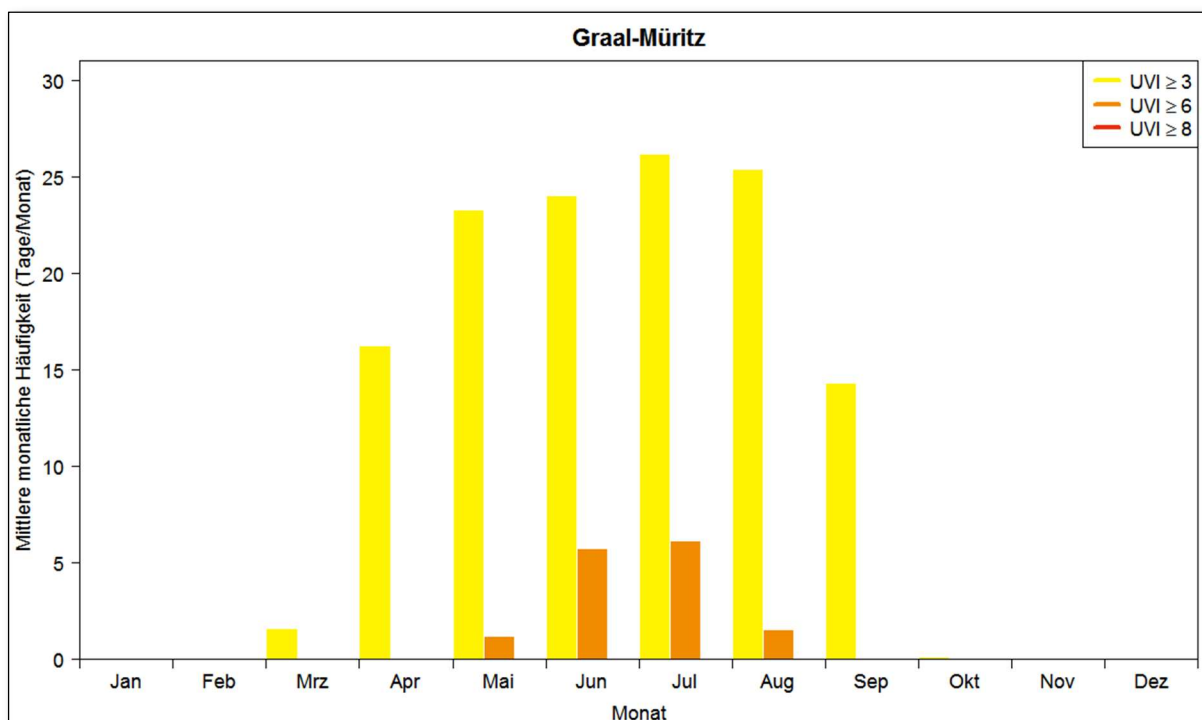


Abb. 19: Absolute monatliche Überschreitung der Grenzwerte UV-I ≥ 3 , UV-I ≥ 6 und UV-I ≥ 8 des bewölkten UV-Indexes in Graal-Müritz, Rasterdaten 1986 - 2015

Tägliche aktualisierte Informationen über den UV-Index sind zu finden unter: www.dwd.de/uvindex (Gefahrenindex zur UV-Strahlung). Darüber hinaus werden je nach Stärke des UV-Indexes UV-Warnungen für das Bundesgebiet auf Landkreisebene herausgegeben (www.dwd.de/warnungen). Sämtliche Daten sind außerdem in der DWD-Warn und -Gesundheits-App verfügbar.

Für die großräumigere Einordnung des UV-Indexes in Graal-Müritz erfolgt ein Vergleich zu den UV-Index-Werten anderer Regionen, beispielhaft anhand der Anzahl der Tage mit einem UV-Index > 8 im Juli (Vitt et al., 2020). Der maximale Sonnenstand nimmt vom Äquator bis zu den Polen gleichmäßig ab, wodurch weniger Energie und damit auch weniger UV-Strahlung zur Erde gelangt und damit auch ein geringerer maximal möglicher UV-Index auftritt; in Richtung Süden ist es bis zum Äquator umgekehrt. Nördlich des 50. Breitengrades (in etwa Höhe Frankfurt) tritt – mit Ausnahme der höheren Lagen – kein UV-Index 8 mehr auf. Wie auch der Tab. 18 entnommen werden kann, ist in Graal-Müritz an keinem Tag mit einem UV-Index > 8 zu rechnen. Weiter nach Süden steigt die Anzahl der Tage mit einem UV-Index 8 von etwa 10 bis 15 Tagen in den Alpen (mit Ausnahme der Täler) und im anschließenden Norditalien (etwa Höhe des 45. Breitengrades) auf nahezu alle Tage im Juli in Nordafrika stetig an.

2.4.2.4 Ozonschichtdicke

Ozon (O_3) ist ein Molekül, bestehend aus drei Sauerstoffatomen. Es bildet sich einerseits am Boden aus sogenannten Vorläufersubstanzen, d. h. es entwickelt sich chemisch aus z. B. vorhandenem Stickstoffdioxid (NO_2) und Sauerstoff (O_2) unter Einwirkung von UV-Strahlung und führt damit zu Sommersmog. Das dafür notwendige NO_2 war unter anderem Gegenstand der Luftqualitätsmessung 2020/2021 in Graal-Müritz, dessen Werte im Luftqualitätsgutachten (Deutscher Wetterdienst, 2022) eingesehen werden können.

Außerdem bildet sich Ozon für die in diesem Kapitel relevante Ozonschicht in der Stratosphäre durch energiereiche Sonnenstrahlung aus Sauerstoffatomen. In einer Höhe zwischen ca. 15 km und 50 km befindet sich eine Schicht dieses insgesamt in geringer Konzentration vorhandenen Gases. Es stellt für den Betrag der auf der Erde ankommenden UV-Strahlung einen wichtigen Faktor dar, da es die für den Menschen besonders schädlichen Anteile der UV-Strahlung absorbiert. Das jährliche Maximum des Gesamt ozonegehalts tritt in mittleren Breiten im Frühjahr auf; gleichzeitig schwindet das stratosphärische Ozon jedes Jahr im Frühjahr über der Antarktis (August bis Oktober) in großem Stil – das sog. Ozonloch –, das – etwas schwächer ausgeprägt – auch über der für Mitteleuropa relevanten Arktis von Februar bis April auftreten kann. Währenddessen kann vermehrt UV-Strahlung in die Troposphäre eintreten und bis zur Erdoberfläche vordringen. Dabei können durch tägliche Schwankungen auf der Nordhemisphäre Bereiche mit geringem Ozongehalt bis nach Afrika ausgreifen und somit das gesamte Bundesgebiet beeinflussen.

Abgebaut wird Ozon in der Stratosphäre sowohl durch natürliche Prozesse, als auch durch menschliches Handeln. Zu letzterem zählt z. B. der Eintrag von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in die Atmosphäre, der seit 1987 weltweit verboten ist (UNEP, 2006). Zu den natürlichen Abbauprozessen bzw. zur Variabilität der Ozonschicht beitragende Faktoren gehören z. B. Vulkanausbrüche und auch die Einwirkung der aktuellen Witterung. Da der Mensch durch sein Einwirken auf das Klima die Prozesse in der Atmosphäre dahingehend verändert, als dass sich die Druckverhältnisse ändern und damit auch die thermischen Verhältnisse über dem Atlantik und Mitteleuropa, wirkt der Mensch durchaus weiterhin (mindestens indirekt) auf den Abbau der Ozonschicht ein. Eine Erwärmung der Troposphäre bewirkt gleichzeitig eine Abkühlung der darüber liegenden Stratosphäre. Kalte Luft in der Stratosphäre begünstigt einen vermehrten Ozonabbau; auch daher sollte das Aufhalten bzw. das Begrenzen der Temperaturzunahme in der Troposphäre vorrangiges Ziel sowohl der Klimapolitik als auch eines jeden einzelnen sein (IPPC, 2014).

2.4.2.5 Albedo

Die Oberflächenbeschaffenheit spielt – mit Ausnahme des Schnees – eine untergeordnete Rolle, vor allem in Graal-Müritz, wo sich außerhalb des besiedelten Bereichs überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen und Waldareale befinden. Vor allem im Schnee kann durch die Reflexion die UV-Strahlung zum Teil deutlich erhöht werden. Dieser Aspekt ist insbesondere in einem kalten, schneereichen Frühjahr von Bedeutung, wenn die eintreffende UV-Strahlung wieder deutlich höhere Absolutwerte annimmt.

2.4.2.6 Aerosole

Meteorologisch versteht man unter Aerosolen feste und flüssige in der Atmosphäre schwebende Partikel. Es gibt sowohl natürliche als auch anthropogene Aerosole sowie primäre, d. h. direkt eingebrachte und sekundäre, d. h. durch chemische Umwandlung entstehende Aerosole. Zu den natürlichen primären Aerosolen gehören z. B. Staub und Seesalz; sekundäre natürliche Aerosole bilden sich durch chemische Reaktionen von Spurengasen. Zu den anthropogenen Aerosolen gehört u. a. Ruß, der bei Verbrennungen (z. B. Verkehr, Industrie) entsteht und Gegenstand der Vorbeurteilung der Luftqualität in Graal-Müritz ist.

Der Einfluss von Aerosolen auf die UV-Strahlung ist relativ simpel: Je mehr Aerosole in der Luft enthalten sind, desto geringer ist die UV-Strahlung. Da mit der Höhe der Aerosolgehalt abnimmt, ist in höheren Lagen mit einer höheren UV-Strahlung zu rechnen als in tiefer gelegenen Regionen. Ferner sinkt die UV-Strahlung mit zunehmender Luftverschmutzung, d. h. in einem „sauberen“ Seeheilbad wie in Graal-Müritz, siehe Luftqualitätsgutachten (Deutscher Wetterdienst, 2022) ist mit einem höheren UV-Anteil zu rechnen als in einem Ballungsort mit viel Verkehr, Industrie und Heizungsemissionen, die den Aerosolgehalt der Luft erhöhen.

2.4.3 Wirkung von UV-Strahlung

Die gesundheitliche Gefährdung durch ultraviolette Strahlung resultiert aus ihrer erhöhten biologischen Wirksamkeit. Beim Menschen erzeugt UV-Strahlung z. B. eine akute Hautbräunung als Zeichen des Schutzes vor erhöhten UV-Strahlungsdosen, sowie den Sonnenbrand, der ein Zeichen für die Überdosierung und damit die Überforderung der Schutzmechanismen der Haut ist. Besonders gefährlich ist eine hohe UV-Dosis auf zuvor ungebräunter Haut, die zu einem Sonnenbrand führt, da diese noch keinen natürlichen Schutz aufweist. Deshalb sind UV-Spitzenwerte die entscheidende Größe zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials. Vor allem während des Frühjahrs und Frühsommers tragen sie ganz wesentlich zum Sonnenbrandrisiko bei: Der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ist in diesen Monaten auf Grund der noch niedrigen Temperaturen der Atmosphäre gering; außerdem können tägliche Schwankungen zu Mini-Ozonlöchern über den mittleren Breiten führen (siehe Kapitel 2.4.2.4). Daher ist vor allem im Frühjahr darauf zu achten – vor allem wenn es gleichzeitig noch recht kühl ist – den Aufenthalt in der Sonne je nach Hauttyp zu beschränken und/oder Vorsichtsmaßnahmen zu treffen (siehe Tab. 17).

Durch Überlagerung der verstärkenden Faktoren kann es zu drastisch erhöhten UV-Belastungen der menschlichen Haut kommen, die unerwartet rasch zu einem Sonnenbrand führen. Skifahrer und Wanderer, die sich im Frühjahr im schneebedeckten Hochgebirge aufhalten, müssen bei wolkenlosem Wetter mit einer um über 50 % höheren UV-Belastung rechnen als zur gleichen Zeit auf Meeresebene ohne Schnee. Tritt dazu noch eine dynamisch bedingte Abnahme des Gesamt Ozons vom Mittel um 25 % (z. B. im März) sowie eine aufgelockerte Quellbewölkung auf, kann sogar eine Verdoppelung erreicht werden. Bei empfindlicher Haut kann so schon in einer Wolkenlücke (ca. 15 Minuten) eine deutliche Hautreaktion eintreten (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998).

Dabei ist zu beachten, dass die Haut nicht vergisst, d. h. im Laufe des Lebens addiert sich die UV-Dosis auf und der Mensch kann nur eine begrenzte Menge ohne gesundheitliche Schäden aufnehmen.

Weitere akute Folgen einer zu hohen UV-Dosis sind eine Verschlechterung der Immunlage des Organismus, die hell- und dunkelhäutige gleichermaßen betrifft, und der Einfluss auf das Auge, z. B. Schneeblindheit. Darüber hinaus sind für die Gesundheit besonders die Spätfolgen übermäßigen Sonnengenusses zu beachten. Diese sind Hautkrebs sowie Trübungen der Augenlinse bzw. Schäden am Immunsystem und Atemwegserkrankungen wie z. B. Asthma (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998); (Baua, 2007).

Die UV-Strahlung hat jedoch auch zahlreiche positive biologische Aspekte, zu denen die Bildung von Vitamin D₃ und die darauf beruhende positive Wirkung auf die allgemeine Gesundheit und auf zahlreiche Krankheiten gehören (Gutenbrunner & Hildebrandt, 1998). Für eine ausreichende Vitamin-D-Synthese genügt es nach derzeitigen Erkenntnissen, Gesicht, Hände und Arme unbedeckt und ohne Sonnenschutz zwei- bis dreimal pro Woche der Hälfte der minimalen sonnenbrandwirksamen UV-Dosis auszusetzen, also der Hälfte der Zeit, in der man sonst ungeschützt einen Sonnenbrand bekommen würde (UV-Schutz-Bündnis, 2017). Beispielsweise bedeutet dies für Menschen mit Hauttyp II bei UV-Index 3 rein rechnerisch eine Bestrahlungszeit von circa 27 Minuten, UVI 4 = 20 min.

Trotz der negativen Auswirkungen der UV-Strahlung auf die Gesundheit (von Sonnenbrand bis hin zu Krankheiten mit Todesfolge), überwiegt der positive Einfluss durch die Vitamin-D₃-Synthese auf eine Vielzahl von Krankheiten, so dass insgesamt davon ausgegangen werden kann, dass die positiven Aspekte – unter unbedingter Beachtung einer angebrachten Dosierung! – die negativen Auswirkungen dominieren. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Körper mit Hilfe der Strahlung unterstützt werden kann, Risikofaktoren auszuschalten bzw. zu verringern und Schutzfaktoren zuzufügen.

2.4.4 Nutzungsmöglichkeiten der UV-Strahlung in Graal-Müritz

In gegliedertem, landschaftlich abwechslungsreichem Gelände mit Waldanteilen – wie auch in Graal-Müritz vorhanden – lässt sich die UV-Strahlung patientengerecht und individuell gestalten. Je nachdem zu welcher Tages- und Jahreszeit der Kurgast, Tourist oder Erholungssuchende sich im Freien aufhält, kann dieser gezielt über den Sonnenstand und über eine mögliche Beschattung entscheiden und damit die Intensität der UV-Strahlung beeinflussen, der er sich aussetzt.

Ein Schutz vor zu hoher UV-Strahlung ist im Raum Graal-Müritz hauptsächlich in der Zeit von Juni bis Juli erforderlich (siehe Abb. 18 und Abb. 19), da in diesem Zeitraum die UV-Strahlung am höchsten ist. Eine Dosierung der Strahlungsreize zur Vermeidung von zu kräftigen und zu langandauernden UV-Bestrahlungen ist im Raum Graal-Müritz auch auf Grund der schattenspendenden Waldgebiete in der Rostocker Heide und im Rhododendronpark möglich.

Im Spätherbst und Winter ist auf Grund des verminderten Strahlungsangebotes und den daraus resultierenden nur sehr schwachen Strahlungsreizen die Nutzung möglichst unbeschatteter Flächen für den Aufenthalt im Freien zu empfehlen, wie sie in Graal-Müritz ebenfalls vorhanden sind.

Wolken reduzieren die UV-Strahlung am Erdboden, sobald sie Schatten werfen. Die Schwächung der UV-Strahlung durch Wolken ist jedoch geringer als die im sichtbaren Spektralbereich. Das bewirkt, dass eine deutliche Reduktion der UV-Strahlung und folglich ein UV-Schutz durch Bewölkung erst bei einem sehr hohen Bedeckungsgrad erreicht wird. Bei durchbrochener Bewölkung kann die Strahlung im schattenfreien Fall kurzfristig auch erhöht werden. Gemittelt über etwas längere Zeiträume führen Wolken jedoch ganz überwiegend zu der genannten Reduktion der UV-Strahlung. Bei vollständig bedecktem Himmel reduzieren hohe Wolken die UV-Strahlung um etwa 10 % und mittelhohe Wolken etwa um die Hälfte, während hochreichende Gewitterwolken den UV-Index auf 10 % seines Wertes für die wolkenlose Atmosphäre schwächen können. Durch Mehrfachreflexion zwischen Boden und Wolkenunterseite wird die Strahlung unter einer Wolke erhöht, wenn bei sonst gleichen Bedingungen die Bodenalbedo höher ist. Zum Beispiel ist bei geschlossener Bewölkung der UV-Index zwar gegenüber dem wolkenfreien Fall reduziert, aber bei Neuschnee doppelt so hoch wie ohne Schnee. Diese Erhöhung ist Ursache der manchmal unterschätzten Sonnenbrandgefahr unter total bedecktem Himmel bei Schnee (KÖPKE et. al, 2007).

3 Zusammenfassung und Gesamtbeurteilung

Die allgemeine globale Erwärmung ist in Graal-Müritz spürbar. So ist es im Raum Graal-Müritz wärmer geworden. Von 1881 bis 2020 ist das Jahresmittel der Lufttemperatur um ca. 1,1 Kelvin angestiegen. Die Zunahme der Lufttemperatur tritt ganzjährig hervor, wobei die Differenzen in den einzelnen Monaten unterschiedlich ausfallen.

Mit etwa 9 Tagen Wärmebelastung pro Jahr (1971 - 2000) liegt Graal-Müritz deutlich unter dem Grenzwert für Kurorte, der mit 20 Tagen mit Wärmebelastung pro Jahr festgelegt ist. Für den Zeitraum 1981 - 2010 ist im langjährigen Mittel an etwa 7 Tagen pro Jahr mit einer Wärmebelastung zu rechnen. Somit wird auch in diesem Zeitraum der Richtwert von 11 Tagen im Untersuchungsgebiet unterschritten und somit eingehalten. Der Richtwert für die Anzahl der Tage mit Wärmebelastung wird in beiden Bezugszeiträumen damit erfreulicherweise merklich unterschritten.

Ein Vergleich der Anzahl der Tage mit Kältereizen aus den Bezugszeiträumen 1971 - 2000 und 1981 - 2010 ergibt in Graal-Müritz für die Jahreszeiten Sommer und Herbst keine relevanten Veränderungen. In beiden Zeiträumen treten Kältereize im Sommer hinreichend, im Herbst vermehrt auf. Die Anzahl der Tage mit Kältereizen im Frühjahr und Winter hat sich jedoch wegen der globalen Erwärmung, die auch in Norddeutschland spürbar ist, in Graal-Müritz etwas verringert.

Der allgemeine Lufttemperaturanstieg zieht eine Zunahme der Sommertage und Abnahme der Frosttage sowie der mittleren Anzahl der Tage mit einer Schneedecke nach sich. Des Weiteren fallen die Niederschläge in der kalten Jahreszeit öfter in flüssiger Form und die Tauprozesse setzen zwischenzeitlich häufiger und zum Ende des Winters oft früher ein.

Die mittleren Jahressummen der Niederschlagshöhe über einen 30-jährigen Zeitraum haben sich kaum geändert. Die Veränderungen in den einzelnen Monaten und Jahren sind hingegen sehr unterschiedlich.

Mit einer mittleren Sonnenscheindauer von über 1780 Stunden im Jahr wird der empfohlene Mindestwert von 1500 Stunden deutlich überschritten

Die klimatischen Gegebenheiten können im Jahresdurchschnitt, bezogen auf den Strahlungsgenuss als mild eingestuft werden. Dabei ist für den Raum Graal-Müritz ein langjähriges Tagesmittel der Globalstrahlung von rund 2,9 kWh/m² (1991 - 2020) anzunehmen.

Das Gutachten zur Luftqualität im Anhang erbrachte, dass in Graal-Müritz die lufthygienischen Voraussetzungen für das Prädikat „Seeheilbad“ ohne Einschränkungen erfüllt sind.

Aufgrund der Überprüfung der bioklimatisch und lufthygienisch relevanten Einflussfaktoren wird hiermit bestätigt, dass zurzeit im Beurteilungsgebiet von Graal-Müritz die bioklimatischen und lufthygienischen Voraussetzungen für die Bestätigung des Prädikates "Seeheilbad" erfüllt sind. Eine Bestätigung dieses Prädikates kann daher aus bioklimatischer und lufthygienischer Sicht befürwortet werden.

Literaturverzeichnis

- Baua. (2007). Licht und Schatten Schutz vor Sonnenstrahlung für Beschäftigte im Freien. Hrgb.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund.
- Bundesamt für Naturschutz. (2021). Landschaftssteckbriefe. Internetseite des Bundesamtes für Naturschutz, www.bfn.de.
- Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV). (2005). Begriffsbestimmungen - Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte - einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen - sowie für Heilbrunnen und Heilstollen, 12. Auflage. Bonn: Hrsg.: Deutscher Bäderverband e. V. und Deutscher Tourismusverband e. V.
- Deutscher Heilbäderverband e. V. (DHV), Deutscher Tourismusverband e. V. (DTV). (2018). Begriffsbestimmungen / Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte - einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen - sowie für Heilbrunnen und Heilquellen - 13. Auflage - September 2018. Bonn: Hrsg.: Deutscher Bäderverband e. V. und Deutscher Tourismusverband e. V.
- Deutscher Wetterdienst. (1997). Klimaanalyse zur Anerkennung als Seeheilbad für Graal-Müritz.
- Deutscher Wetterdienst. (2008). Beurteilung der Luftqualität in Graal-Müritz, Kreis Bad Doberan.
- Deutscher Wetterdienst. (2008). Kontrollanalyse zur Bestätigung als Seeheilbad für Graal-Müritz (Landkreis Bad Doberan) Klimakontrollanalyse sowie Luftqualitätsgutachten.
- Deutscher Wetterdienst. (2022). Amtliches Gutachten Überprüfung der Luftqualität in Graal-Müritz.
- Fanger, P. (1972). Thermal comfort, analysis and application in environment engineering. New York: McCraw-Hill.
- Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, P. E. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Trans, 92: 709-731.
- Gutenbrunner, C., & Hildebrandt, G. (1998). Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie.
- Höppe, P. (1993). Heat balance modelling experientia, Nr. 49, S. /741-746.
- IPPC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, Switzerland, 151.
- Jendritzky, G. (1984). Die Bewertung der thermischen Reizstärke in Kurorten, Z. phys. Med. Baln. Med. Klim 1.

- Jendritzky, G. et al. . (1998). Medizinische Klimatologie.
- Jendritzky, G., Menz, G., Schmidt-Kessen, W., & Schirmer, H. (1990). Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell) , Beiträge 114. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung.
- Koch et al. (2005). Klimatherapie in Österreich. Broschüre zu den Potentialen der Klimatherapie in Österreich. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- KÖPKE et. al. (2007). Solare UV-Strahlung und ihre Wirkung auf den Menschen. Promet 33, Heft ¾, 95-108.
- Koppe, C. (2005). Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Freiburg.
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. (2021). Jahresbericht zur Luftgüte 2020.
- Matzarakis, A. (2003). Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 73, Nr. 3 S. 115-118.
- Matzarakis, A., & Endler, C. (2010). Adaptaion of thermal bioclimate under climate change conditions – The example of physiologically equivalent temperature in Freiburg, Germany. Int. J. Biometeorol., Nr. 54, S. 479-483.
- Ministerium für Inneres und Europa Mecklenburg-Vorpommern. (2000). Gesetz über die Anerkennung als Kur- und Erholungsort in Mecklenburg-Vorpommern (Kurortgesetz) Fassung der Bekanntmachung vom 29. August 2000, letzte berücksichtigte Änderung: § 5 geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 23. Februar 2010. GVOBl. M-V S. 101, 113.
- MVI. (2012). Städtebauliche Klimafibel, Hinweise für die Bauleitplanung, Druckfrisch Verlag Stuttgart.
- Schuh, A. (1995). Angewandte medizinische Klimatologie. Stuttgart: Sonntag Verlag.
- Staiger et al. (1997). Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. In: Annalen der Meteorologie 33, 100 – 107.
- Staiger et al. (2005). UV Index Forecasting on a global scale. Meteorologische Zeitschrift 14, 259-270.
- Staiger, H., Laschewski, G., & Mazarakis, A. (2019). Selection of appropriate thermal indices für applications in human biometeorological studies. Atmosphere 10, 18, DOI: 10.3390/atmos10010018.
- UNEP. (2006). Handbook for the Montreal Protocol on Substances that deplete the Ozone

Layer – 7th Edition. ISBN: 978-95-807-2770-8.

UV-Schutz-Bündnis. (2017). Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land: Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses.

VDI 3787 Blatt 2. (2008). Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Bioklima und Luftqualität für die Stadt- und Regionalplanung; Teil 1: Klima. Kapitel 4. Berlin: Beuth-Verlag.

Vitt et al. (2020). UV-Index Climatology for Europe Based on Satellite Data. *Atmosphere* 2020 11(7), 727. Von <https://doi.org/10.3390/atmos11070727> abgerufen

WHO et al. (2002). World Health Organization (WHO), World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programm (UNEP), International Commission On Non-ionizing Radiation Protection, Global solar UV index: A practical guide. Hrsg.: WHO. Genf.

Yousef, M. K., Sagawa, S., & Shiraki, K. (1986). Heat stress: A threat to health and Safety. *J. Uoeh*, Nr. 8, S. 355-364.

DWD

**Amtliches Gutachten
zur
Luftqualität
im
Seeheilbad
Graal-Müritz**



Deutscher Wetterdienst

Abteilung
Klima- und Umweltberatung
Freiburg, Februar 2022

Deutscher Wetterdienst
Klima- und Umweltberatung

AMTLICHES GUTACHTEN

Überprüfung der Luftqualität
in

Graal-Müritz

Landkreis Rostock

Auftraggeber: Tourismus und Kur GmbH Graal-Müritz
Verfahrensziel: Bestätigung zum Seeheilbad
Messzeitraum: 17.07.2020 bis 16.07.2021

Freiburg, den 15.02.2022



Dr. Stefan Gilge
Leiter Referat Lufthygiene





Dr. Christina Endler
Gutachterin, Referat Lufthygiene

Die Leistungen dürfen in einer Behörde (Kommunal- oder Landesebene) für deren Aufgabenwahrnehmung genutzt werden. Eine Weitergabe der bereitgestellten Informationen oder daraus abgeleiteter Ergebnisse an Dritte ist ausschließlich zur Vertretung eigener Interessen gestattet. Die Nutzung im Interesse des Dritten ist nicht gestattet. Veröffentlichung ist ausgeschlossen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	3
Zusammenfassung und Entscheidungsvorschlag.....	4
1. Einleitung	5
2. Luftbeimengungen und ihre Beurteilungskriterien.....	6
2.1. Leitsubstanzen	6
2.2. Messverfahren	7
2.3. Messstandorte und Messdauer	7
2.4. Beurteilungskriterien.....	8
2.5. Darstellung der Messergebnisse	9
2.6. Berücksichtigung der Witterung.....	9
3. Bewertung der Luftqualität in Graal-Müritz.....	11
3.1. Stickstoffdioxid	11
3.2. Feinstaub PM _{2,5}	14
3.3. Ruß im Feinstaub PM _{2,5}	15
3.4. Grobstaub (gesamt)	17
3.5. Grobstaub (opak)	20
3.6. Pollen.....	23
4. Vergleich der Luftqualität in Graal-Müritz.....	25
4.1. Stickstoffdioxid	25
4.2. Feinstaub PM _{2,5} und Ruß	25
4.3. Grobstaub	26
5. Vergleich zur vorherigen Messkampagne.....	28
Gesamtbewertung und Schlussfolgerung	30
Literatur.....	32
Anhang.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ausschnitt aus dem Ortsplan von Graal-Müritz mit den Standorten für die Probenahme partikel- und gasförmiger Luftbeimengungen	8
Abbildung 2:	Zeitlicher Verlauf der Stickstoffdioxidkonzentration im Kurgebiet.....	11
Abbildung 3:	Zeitlicher Verlauf der Stickstoffdioxidkonzentration im Verkehrszentrum...	12
Abbildung 4:	Zeitlicher Verlauf der Feinstaubkonzentration im Verkehrszentrum.....	14
Abbildung 5:	Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Ruß im Feinstaub im Verkehrszentrum.....	16
Abbildung 6:	Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (gesamt) im Kurgebiet	18
Abbildung 7:	Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (gesamt) im Verkehrszentrum.....	18
Abbildung 8:	Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (opak) im Kurgebiet ..	20
Abbildung 9:	Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (opak) im Verkehrszentrum.....	21
Abbildung 10:	Größenverteilung von Grobstaub (opak) in Graal-Müritz	22
Abbildung 11:	Zeitlicher Verlauf der Pollenkonzentration	24
Abbildung 12:	Bundesweiter Vergleich der Stickstoffdioxidbelastung von Graal-Müritz....	25
Abbildung 13:	Bundesweiter Vergleich der Feinstaub- und Rußbelastung von Graal-Müritz bezogen auf die Repräsentanz Verkehrszentrum.....	26
Abbildung 14:	Bundesweiter Vergleich der Belastung von Grobstaub (gesamt) von Graal-Müritz	27
Abbildung 15:	Bundesweiter Vergleich der Belastung von Grobstaub (opak) von Graal-Müritz	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kurzzeit- und Langzeit-Richtwerte für die Luftqualität in Heilbädern, Kur- und Erholungsorten mit erhöhten Anforderungen.....	8
Tabelle 2:	Witterungstypen in Mitteleuropa mit ihren jeweiligen Austauschverhältnissen	9
Tabelle 3:	Mittlere Belastungswerte für Stickstoffdioxid im Messzeitraum.....	12
Tabelle 4:	Mittlere Belastungswerte für Stickstoffdioxid im Winter- und Sommerhalbjahr.....	13
Tabelle 5:	Mittlere Belastungswerte für Feinstaub im Messzeitraum.....	15
Tabelle 6:	Mittlere Belastungswerte für Feinstaub im Winter- und Sommerhalbjahr...	15
Tabelle 7:	Mittlere Belastungswerte für Ruß im Feinstaub im Messzeitraum	16
Tabelle 8:	Mittlere Belastungswerte für Ruß im Feinstaub im Winter- und Sommerhalbjahr.....	17
Tabelle 9:	Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (gesamt) im Messzeitraum	19
Tabelle 10:	Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (gesamt) im Winter- und Sommerhalbjahr.....	19
Tabelle 11:	Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (opak) im Messzeitraum.....	21
Tabelle 12:	Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (opak) im Winter- und Sommerhalbjahr.....	23
Tabelle 13:	Zusammenfassende Bewertung der Luftqualität hinsichtlich der Kurzzeit- und Langzeit-Richtwerte.....	31
Tabelle A 1:	Mittlere wöchentliche Konzentration der untersuchten Leitsubstanzen in Graal-Müritz an der Messstelle „Konzertpavillion“ (Repräsentanz Kurgebiet)	33
Tabelle A 2:	Mittlere wöchentliche Konzentration der untersuchten Leitsubstanzen in Graal-Müritz an der Messstelle „Haus des Gastes“ (Repräsentanz Verkehrszentrum).....	35

Zusammenfassung und Entscheidungsvorschlag

Im Rahmen des Bestätigungsverfahrens für das Prädikat Seeheilbad in Graal-Müritz wurden Luftqualitätsmessungen für die Luftbeimengungen Stickstoffdioxid, Feinstaub, Ruß im Feinstaub und Grobstaub (gesamt und opak) durchgeführt.

Die gemessenen Konzentrationen der untersuchten Luftbeimengungen sind sowohl auf natürliche Faktoren (Witterung, Vegetationsentwicklung) als auch auf anthropogene (menschliche) Einflüsse zurückzuführen. Die mittleren Belastungswerte der untersuchten Luftbeimengungen weisen in Graal-Müritz überwiegend eine normale und kurortübliche Belastung auf. An der verkehrsbezogenen Messstelle ist die Belastung durch Stickstoffdioxid und Ruß im Feinstaub sogar gering ausgefallen. Die statistische Wahrscheinlichkeit, dass der jeweilige Langzeit-Richtwert eingehalten wird, liegt für alle Luftbeimengungen bei über 97,5 %.

Im gesamten Messzeitraum kam es lediglich an der Messstelle im Kurgebiet bei Grobstaub (gesamt) zu einer Überschreitung des Kurzzeit-Richtwertes. Bis zu drei Überschreitungen sind gemäß den gültigen Begriffsbestimmungen für jede der untersuchten Luftbeimengungen innerhalb eines Messjahres und an jeder Messstelle erlaubt.

Demnach sind gemäß den Begriffsbestimmungen die lufthygienischen Voraussetzungen für eine Bestätigung als Seeheilbad im Beurteilungsgebiet von Graal-Müritz **ohne Einschränkungen** erfüllt. Eine Bestätigung dieses Prädikates kann aus lufthygienischer Sicht daher befürwortet werden.

Gemäß den Begriffsbestimmungen sind in Graal-Müritz spätestens in 10 Jahren wieder einjährige Luftqualitätsmessungen durchzuführen, sofern es zwischenzeitlich keine Hinweise auf relevante lufthygienische Veränderungen gibt.

1. Einleitung

Die Atmosphäre ist mehr als einfach nur Luft. Sie ist ein Gemisch aus vielen Gasen, hauptsächlich Stickstoff (78,1 %) und Sauerstoff (20,9 %). Viele weitere Gase kommen in so geringen Konzentrationen vor, dass sie Spurengase genannt werden. Diese haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Luftqualität. Neben gasförmigen Molekülen enthält die Atmosphäre auch Aerosole – ein Gemisch von flüssigen und festen Schwebeteilchen.

Je nach Jahreszeit und Wetterlage gelangen Spurengase und Aerosole in unterschiedlichen Konzentrationen vor allem in die unteren bodennahen Schichten der Atmosphäre. Dies geschieht sowohl auf natürliche Weise (zum Beispiel Staubaufwirbelung durch den Wind) als auch durch den Menschen (anthropogen). Zu den Hauptemissionsquellen zählen Industrie, Verkehr und Heizungsanlagen. Je nach Emission (stofflicher Austrag in die Atmosphäre) und Wetterlage kann es zu unterschiedlichen Immissionen (Einwirkung von Stoffen auf Mensch und Umwelt) kommen. Die Beimengungen in der Umgebungsluft belasten zum Teil die menschliche Gesundheit und sind deshalb unerwünscht.

Von Kurorten, Erholungsorten und Heilbädern wird gefordert, dass die lufthygienischen Bedingungen vor Ort für den Gast eine Entlastung von den Immissionsverhältnissen der Großstädte und Ballungsgebiete darstellen. Eine unzureichende Luftqualität darf keinesfalls den Erfolg von Kuranwendungen gefährden. Dazu haben der Deutsche Heilbäderverband e. V. (DHV) und der Deutsche Tourismusverband e. V. (DTV) unter anderem Richtwerte – bezogen auf die jährlichen Mittelwerte einzelner Luftbeimengungen – festgelegt, die unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte liegen (DHV und DTV 2005, Stand: 21.10.2016).

Im Laufe der Jahre können sich, beispielsweise durch Veränderungen in der Infrastruktur oder städtebauliche Maßnahmen, die bioklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in einem staatlich anerkannten Heilbad, Kur- und Erholungsort verändern. Damit der Gast die ortsgebundenen Heilmittel, im Speziellen die Luft, auch weiterhin als „natürliches Heilmittel“ anwenden kann, ist in den jeweiligen Kurortgesetzen bzw. Verordnungen der Länder verankert, wann Luftqualitätsmessungen für die (Re-)Zertifizierung durchzuführen sind und der betreffenden Genehmigungsbehörde ein Gutachten über die Luftqualität vorzulegen ist.

In Graal-Müritz sind Luftqualitätsmessungen zur Bestätigung des Prädikates Seeheilbad letztmalig vom 31.07.2006 bis 12.10.2007 durchgeführt worden. Der Deutsche Wetterdienst wurde beauftragt, die vorgeschriebenen Messungen durchzuführen und ein Luftqualitätsgutachten als Entscheidungsgrundlage für das Bestätigungsverfahren zu erstellen. Dem vorliegenden Gutachten liegt die Luftqualitätsbeurteilung zugrunde.

2. Luftbeimengungen und ihre Beurteilungskriterien

2.1. Leitsubstanzen

Im Rahmen der Bewertung der Luftqualität nach den Begriffsbestimmungen des DHV und DTV zum Zeitpunkt des Auftrags ist die Messung verschiedener partikelförmiger und gasförmiger Leitsubstanzen vorgeschrieben:

- Stickstoffdioxid (NO₂)
- Feinstaub (englisch Particulate Matter, PM_{2.5})
- Ruß im Feinstaub
- Grobstaub (gesamt und opak)

Stickstoffdioxid ist ein Gas mit sowohl natürlichen als auch anthropogenen Quellen. Zu den natürlichen Quellen zählen beispielsweise Blitze, Vulkanausbrüche oder mikrobiologische Reaktionen im Boden. Anthropogene Quellen sind hauptsächlich Kraftfahrzeugverkehr und Heizungsemissionen. Die anthropogenen Quellen überwiegen die natürlichen bei Weitem. NO₂ ist außerdem Vorläufersubstanz bei der Entstehung von Ozon und trägt zur Versauerung (Salpetersäure) und Eutrophierung (übermäßige Nährstoffanreicherung) von Böden und Gewässern bei. Bereits in geringen Konzentrationen kann NO₂ zu Reizungen von Augen und Schleimhäuten und insbesondere Schädigungen des Atemtraktes führen.

Zu **Feinstaub** zählen alle Staubpartikel mit einem Partikeldurchmesser kleiner 2,5 µm (1 µm = 1/1000 mm). Diese Partikel können aufgrund ihrer geringen Größe bis in die Lungenbläschen (Alveolen) gelangen. Von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wird Feinstaub deswegen auch als kritischer Luftschadstoff eingestuft. Zudem kann Feinstaub in Abhängigkeit seiner Zusammensetzung eine kanzerogene (krebserregende) Wirkung entfalten. Eine besondere Bedeutung kommen hierbei den im Feinstaub enthaltenen Rußpartikeln zu, die überwiegend Rückstand von Verbrennungsprozessen sind. Diese Rußpartikel verstärken die kanzerogene Wirkung des Feinstaubes.

Als **Grobstaub** werden im vorliegenden Gutachten alle Partikel mit einem Durchmesser von 2,5 µm bis 40 µm betrachtet. Grobstaubpartikel gelangen teils auf natürliche Weise (vom Wind aufgewirbelte Sandkörner, Mineralstaub, Blütenpollen, Seesalz-Aerosol), teils als anthropogene Luftverunreinigungen (Rußpartikel, Flugasche, Teilchen aus dem Reifenabrieb der Kraftfahrzeuge sowie Straßenasphalt) in die Atmosphäre.

Die Auswertung der Grobstaubpartikel erfolgt getrennt nach ihrer stofflichen Zusammensetzung:

- Grobstaub gesamt: Alle Grobstaubpartikel, ohne Pollen und ohne wasserlösliche Nitrat-, Sulfat- und Natriumchlorid-Partikel.
- Grobstaub opak: Opake (lichtundurchlässige) Grobstaubpartikel, Rückstände aus Verbrennungsprozessen und Abrieb der Reifen von Kraftfahrzeugen (Gummireste) sowie Abrieb des Straßenasphalts.
- Pollen: Alle Pollenarten mit einem Durchmesser zwischen 20 µm und 60 µm.

2.2. Messverfahren

Die Probenahme von NO₂ in der Außenluft erfolgte mittels Passivsammler nach DIN EN 16339:2013. Dieses Verfahren eignet sich für die Messung von über längere Zeiträume gemittelten Konzentrationen. In Hinblick auf die Äquivalenz zur Referenzmethode (siehe DIN EN 14211:2012) erfüllt dieses Verfahren das Datenqualitätsziel einer erweiterten Unsicherheit von 15 %.

Die Probenahme von PM_{2,5} ist eine aktive gravimetrische Probenahme und wurde mit einem Mini-Volumensammler durchgeführt. Dieses Verfahren ist an die DIN EN 12341:2014 sowie an die VDI-Richtlinien 2463 Blatt 1 und 3787 Blatt 10 angelehnt.

Die Probenahme von Grobstaub erfolgte nach den VDI-Richtlinien 3787 Blatt 10 sowie 2119. Für die Sammlung von NO₂- und Grobstaubproben kamen passive Probensammler vom Typ Sigma-2 zum Einsatz.

Die Luftproben wurden beim DWD, im Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung in Freiburg, hinsichtlich der Konzentrationen von NO₂, PM_{2,5}, Ruß im PM_{2,5}, Grobstaub inklusive seines opaken Anteils und Anzahl der Pollen analysiert und ausgewertet.

2.3. Messstandorte und Messdauer

Stickstoffdioxid und Grobstaub wurden an zwei unterschiedlichen Repräsentanzen gemessen: Im Kurgebiet (KG) zur Bestimmung der Hintergrundbelastung und an einem verkehrsreichen Standort im Ortszentrum (VZ) zur Bestimmung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung. Feinstaub und Ruß im Feinstaub wurden nur am verkehrsbezogenen Standort gemessen, denn Feinstaubpartikel haben eine lange Lebensdauer in der Luft, verteilen sich homogener und können über größere Distanzen verfrachtet werden. Daher ist eine Messung im Verkehrszentrum ausreichend, da hier die höchsten Konzentrationen zu erwarten sind. Wenn an diesem Standort die Richtwerte eingehalten werden, so wahrscheinlich auch im Kurgebiet. Die Messdauer betrug für alle Luftbeimengungen ein Jahr, die Exposition einer Probe jeweils eine Woche.

Das Beurteilungsgebiet umfasst die Gemeinde von Graal-Müritz. Es wurden für die beiden Repräsentanzen Kurgebiet und Verkehrszentrum folgende Probenahmestellen eingerichtet:

- Kurgebiet: **Konzertpavillion**, im Rhododendronpark
- Verkehrszentrum: **Haus des Gastes**, Standort in der Rostocker Str. 3

Während der Messkampagne 2006/2007 befanden sich die Messgeräte der Repräsentanz Verkehrszentrum annähernd an demselben Standort. Die Messstelle für die Repräsentanz Kurgebiet war während der Messkampagne 2006/2007 am Aquadrom gelegen, ca. 1,5 km nordöstlich vom jetzigen Standort entfernt. Darüber hinaus gab es damals eine weitere obligatorische Messstelle mit der Repräsentanz Ortszentrum (OZ alt). Die Messstelle charakterisierte die örtliche Zusatzbelastung ohne unmittelbare Einwirkung verkehrsbedingter Emissionen und befand sich in der Berliner Straße bei der Kurverwaltung. Die Standorte der Messgeräte sind in einem Ausschnitt des Ortsplans von Graal-Müritz in der Abbildung 1 auf der nachfolgenden Seite eingetragen und entsprechend mit Namen (KG, VZ sowie KG alt und OZ alt) gekennzeichnet.



Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Ortsplan von Graal-Müritz mit den Standorten für die Probenahme partikel- und gasförmiger Luftbeimengungen
© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2022, Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf, ergänzt mit den Messstationen

2.4. Beurteilungskriterien

Im Rahmen des Prädikatisierungsverfahrens sind für die gemessenen Leitsubstanzen entsprechende Kurzzeit- und Langzeit-Richtwerte für das Kurgebiet und das Verkehrszentrum einzuhalten (Tabelle 1). Die Kurzzeit-Richtwerte geben hierbei die zulässige Belastung in Form der wöchentlichen Konzentration an, die Langzeit-Richtwerte die zulässige Belastung als die mittlere Konzentration bezogen auf den gesamten Messzeitraum.

Tabelle 1: Kurzzeit- und Langzeit-Richtwerte für die Luftqualität in Heilbädern, Kur- und Erholungsorten mit erhöhten Anforderungen

Richtwert	Kurzzeit-Richtwert		Langzeit-Richtwert	
	Kurgebiet	Verkehrszentrum	Kurgebiet	Verkehrszentrum
Stickstoffdioxid in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30	40	16	28
Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		30		16
Ruß im Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		2,0		1,4
Grobstaub (gesamt) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25	45	12	22
Grobstaub (opak) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3,0	9,0	1,2	4,5

Die Kurzzeit-Richtwerte dürfen für jede Komponente während des gesamten Messzeitraums nicht mehr als dreimal überschritten werden. Die Langzeit-Richtwerte dürfen jeweils bis zu 100 % ausgeschöpft werden.

Graal-Müritz beabsichtigt, sich das Prädikat Seeheilbad bestätigen zu lassen. Damit gelten erhöhte Anforderungen an die Luftqualität (Tabelle 1; siehe auch Begriffsbestimmungen).

2.5. Darstellung der Messergebnisse

Aus den wöchentlichen Einzelproben wurden für jeden Messstandort und jede gemessene Leitsubstanz die Überschreitungshäufigkeit in Hinblick auf den Kurzzeit-Richtwert sowie die mittlere Konzentration in Hinblick auf den Langzeit-Richtwert berechnet.

Die Messreihe wurde vorab auf Plausibilität und Ausreißer verdächtige Messwerte geprüft (siehe Begriffsbestimmungen). Die Messdaten der wöchentlichen Einzelproben sind in Tabelle A 1 und Tabelle A 2 im Anhang aufgeführt. Messwerte, die unterhalb der Nachweisgrenze liegen, wurden auf die halbe Nachweisgrenze gesetzt und in den Messwertetabellen entsprechend gekennzeichnet. Ausreißer oder Datenlücken aufgrund von nicht auswertbaren Probenahmen sind ebenfalls in den Messwertetabellen entsprechend gekennzeichnet.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt für jede Luftschadstoffkomponente einzeln in Kapitel 3. Dabei liegt der Fokus auf der Richtwerteinhaltung sowie auf dem Einfluss der Witterung auf die jeweilige Schadstoffkomponente (siehe Kapitel 2.6).

2.6. Berücksichtigung der Witterung

Die Konzentration von Luftbeimengungen am Messort hängt wesentlich von den atmosphärischen Austauschbedingungen sowie Transport- und Umwandlungsprozessen ab. Da die Messwerte eine zeitliche Auflösung von einer Woche aufweisen, ist eine genaue Zuordnung der meteorologischen Bedingungen relativ schwer. Es lässt sich aber aus den großräumigen Wetterlagen im Mittelungszeitraum der vorherrschende Witterungstyp ableiten. Es werden fünf Witterungstypen unterschieden: Nordwestlage, Ostlage, Südlage, Südwestlage und Hochdruckwetterlage (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Witterungstypen in Mitteleuropa mit ihren jeweiligen Austauschverhältnissen

Witterungstyp	Großräumige Luftzufuhr aus Windrichtungssektor	Typische Austauschverhältnisse	
		Herbst / Winter	Frühjahr / Sommer
N = Nordwestlage	285° - 015°	sehr gut	sehr gut
E = Ostlage	015° - 135°	eingeschränkt	gut
S = Südlage	135° - 195°	eingeschränkt	ausreichend
W = Südwestlage	195° - 285°	gut	sehr gut
H = Hochdruckwetterlage	ohne vorherrschende Windrichtung	stark eingeschränkt	ausreichend

Wie gut die Luft durchmischt wird, hängt auch davon ab, in welcher Jahreszeit der jeweilige Witterungstyp auftritt. Nordwest- und Südwestlagen weisen in der Regel ganzjährig gute Austauschbedingungen auf. Bei winterlichen Hochdruckwetter- und Ostlagen, bei denen häufig so genannte Inversionswetterlagen (Temperaturzunahme mit der Höhe) auftreten, können sich aufgrund des eingeschränkten Luftaustauschs in Bodennähe vermehrt Schadstoffe ansammeln. Im Sommerhalbjahr führen jene Wetterlagen zu einer Abtrocknung der Bodenoberfläche, wodurch die Aufwirbelung von Staubpartikeln begünstigt wird.

Bei der Bewertung der Luftqualität wurde die mittlere Immissionsbelastung entsprechend für das Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März) und das Sommerhalbjahr (1. April bis 30. September) sowie für die witterungsbezogenen Teilkollektive getrennt berechnet, d. h. für alle Wetterlagen und für die Hochdruckwetter- und Ostlagen.

Bei der Interpretation des Witterungseinflusses auf die örtliche Immissionsbelastung ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die großräumig vorherrschende Windrichtung, die den Witterungstypen zugeordnet wird, besonders in topografisch gegliedertem und in bebautem Gelände erheblich von den tatsächlichen Strömungsverhältnissen in unmittelbarer Nähe der Messstandorte abweichen kann. Diese sind besonders beim Grobstaub entscheidend, da die Partikel wegen ihres Verhältnisses von Masse zur Größe rasch zu Boden sinken und daher in der Regel nur kurze Strecken in der Luft zurücklegen.

Darüber hinaus treten die einzelnen Witterungstypen nicht jedes Jahr gleich häufig auf. So können beispielsweise in einem Jahr überdurchschnittlich viele Wetterlagen mit sehr guten Durchmischungsverhältnissen vorkommen, in einem anderen Jahr überdurchschnittlich viele Hochdruckwetterlagen. Im ungünstigsten Fall könnten durch solch außergewöhnliche Witterungsperioden Richtwerte überschritten werden. Um derartige Witterungsanomalien zu berücksichtigen, werden die mittleren Belastungen in Abhängigkeit des jeweiligen Witterungstyps mit denen eines durchschnittlichen Jahres ins Verhältnis gesetzt. Die mittlere Belastung eines durchschnittlichen Jahres errechnet sich, indem zunächst die Häufigkeit der einzelnen Witterungstypen über einen 30-jährigen Zeitraum (1991 – 2020) bestimmt wird. Anschließend wird die pro Witterungstyp gemessene mittlere Belastung mit der durchschnittlichen Häufigkeit des entsprechenden Witterungstyps gewichtet. Das Verhältnis zwischen aktueller und durchschnittlicher mittlerer Belastung gibt eine positive oder negative Abweichung an, d. h. bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen wäre die über den gesamten Messzeitraum gemittelte Schadstoffbelastung höher oder niedriger ausgefallen.

3. Bewertung der Luftqualität in Graal-Müritz

Die Messergebnisse spiegeln die örtlichen Belastungsverhältnisse im Messzeitraum vom 17.07.2020 bis 16.07.2021 wider. Die an einem Standort gemessene Luftverunreinigung wird in erster Linie bestimmt durch die Lage, Anzahl, Art und Intensität der in der Umgebung vorhandenen Schadstoffquellen. Deren Wirksamkeit wird beeinflusst von den lokalen Durchluftungsverhältnissen. Diese sind abhängig von der örtlichen Topografie sowie von der Landnutzung (Bebauung, Bewuchs) und der Witterung. Insbesondere bei gasförmigen Luftbeimengungen sowie bei Feinstaub $PM_{2.5}$ können auch entferntere Emissionsquellen zur örtlichen Immissionsbelastung beitragen, indem die Schadstoffe über größere Entfernungen herangeführt werden (Ferntransport). Aussagen über die Auswirkungen der bundesweiten Corona-Maßnahmen auf die Luftqualität in Graal-Müritz lassen sich anhand der vorhandenen Daten nicht treffen.

3.1. Stickstoffdioxid

Jahresverlauf und Überschreitungshäufigkeit des Kurzzeit-Richtwertes

In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist der zeitliche Verlauf der Stickstoffdioxidkonzentration an der Messstelle im Kurgebiet und im Verkehrszentrum abgebildet. Der charakteristische Jahresgang ist nur schwach ausgeprägt: höhere Belastungswerte traten infolge verstärkter Heizungsemissionen und eingeschränkter Luftaustauschbedingungen in den Wintermonaten und zeitweise im Spätherbst auf. Im Sommer war die Belastung tendenziell geringer, zudem wird in dieser Zeit NO_2 schneller durch fotochemische Prozesse abgebaut. Im Verkehrszentrum ist der Jahresgang aufgrund der ganzjährig höheren verkehrsbedingten Immissionen etwas weniger stark ausgeprägt als im Kurgebiet.

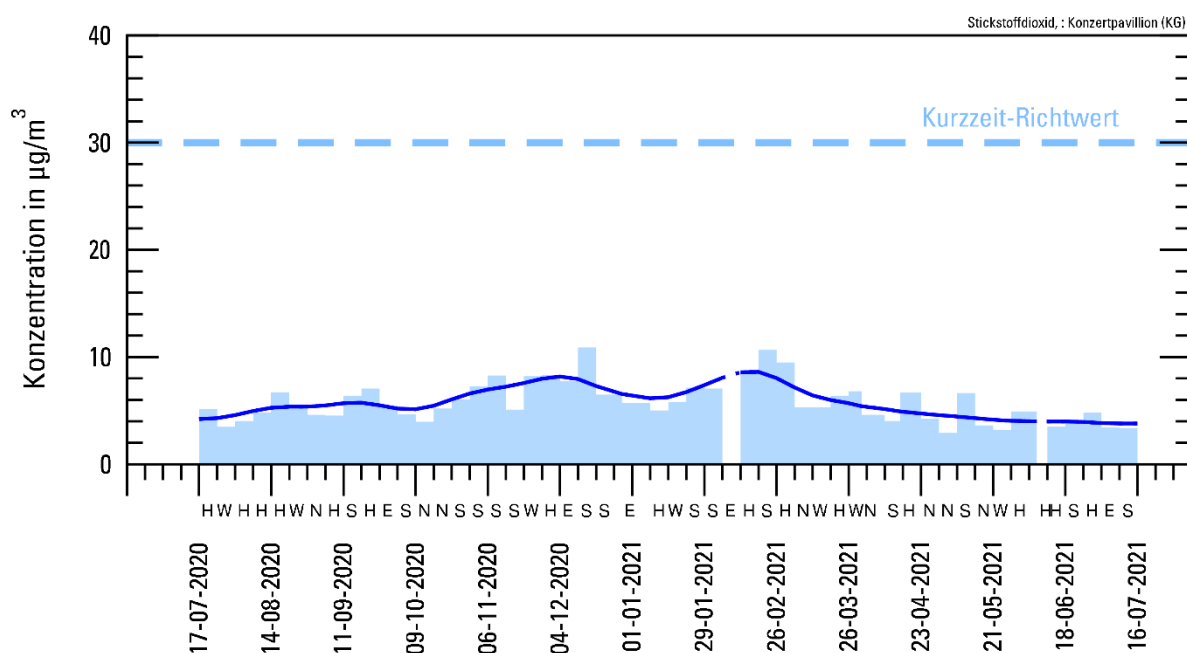


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Stickstoffdioxidkonzentration im Kurgebiet

Anmerkung zu den Abbildungen: Die Höhe der Balken gibt die mittlere wöchentliche Konzentration wieder. Eventuelle Datenlücken kennzeichnen nicht verwertbare Probenahmen. Zusätzlich ist der in der Probenahme-woche vorherrschende Witterungstyp gemäß Tabelle 2 auf der waagerechten Achse angegeben. Die gestrichelte horizontale Linie kennzeichnet den jeweils geltenden Kurzzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1. Die wöchentlichen Messwerte werden durch Tiefpassfilterung geglättet (dunkelblaue Linie), wodurch kurzzeitige Schwankungen der Schadstoffkonzentration ausgeglichen werden. Dadurch lassen sich die jahreszeitlichen Schwankungen der Luftschadstoffbelastung besser erkennen.

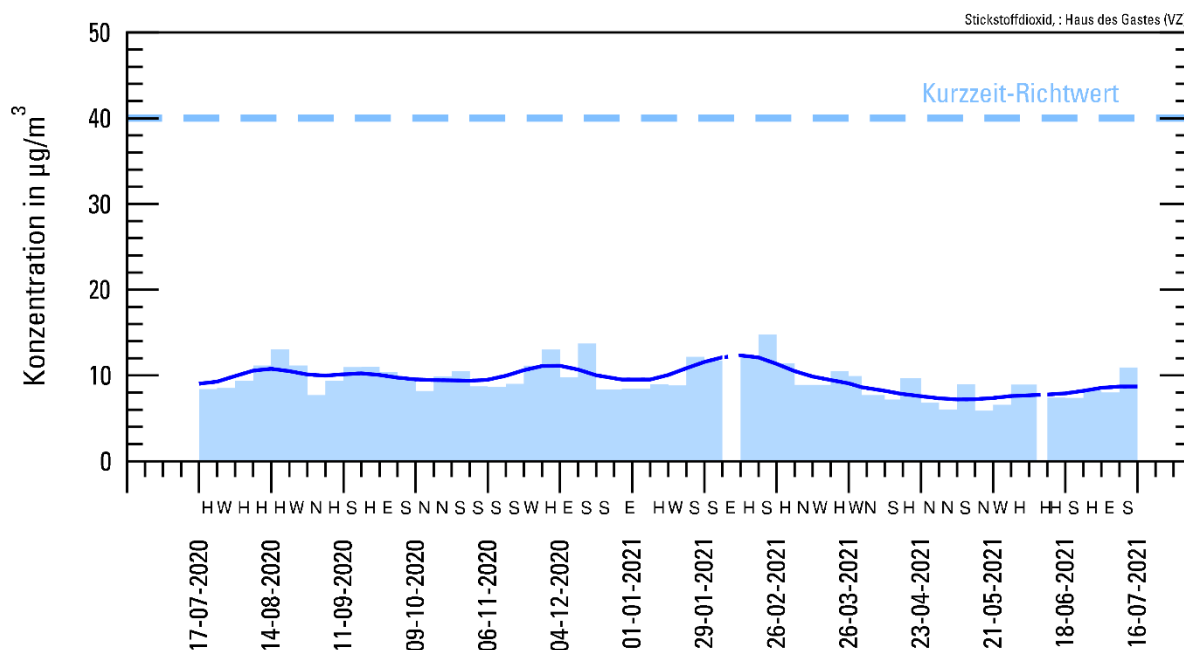


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Stickstoffdioxidkonzentration im Verkehrszentrum

An beiden Messstellen kam es im Messzeitraum zu keiner Überschreitung des jeweiligen Kurzzeit-Richtwertes.

Mittlere Belastung und Bezug zum Langzeit-Richtwert

Die mittlere Stickstoffdioxidbelastung lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei 9,6 µg/m³ und im Kurgebiet bei 5,8 µg/m³ (Tabelle 3). Mit diesen Belastungswerten wurde der jeweilige Langzeit-Richtwert zu 34 % (VZ) bzw. 36 % (KG) ausgeschöpft.

Tabelle 3: Mittlere Belastungswerte für Stickstoffdioxid im Messzeitraum

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, 95 %-VI = 95 %-Vertrauensintervall, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1

Probenahmestellen	PZ	MW (µg/m ³)	σ (µg/m ³)	95 %-VI (µg/m ³)	AG (%)
Konzertpavillion (KG)	49	5,8	± 1,9	± 0,6	36
Haus des Gastes (VZ)	49	9,6	± 2,0	± 0,6	34

Die Ergebnisse einer einjährigen Messreihe stellen lediglich eine Stichprobe dar. Um statistisch belastbare Aussagen über die Einhaltung der Langzeit-Richtwerte treffen zu können, wird zusätzlich zum Mittelwert das 95 %-Vertrauensintervall angegeben. Das heißt, mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Mittelwert an der Messstelle „Konzertpavillion“ im Bereich von $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($5,8 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). An der Messstelle „Haus des Gastes“ liegt der wahre Mittelwert zwischen $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($9,6 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Damit liegt an beiden Messstellen der Bereich des Vertrauensintervalls unterhalb des jeweiligen Langzeit-Richtwertes. Eine Einhaltung des Richtwertes kann demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von über 97,5 % angenommen werden.

Einfluss der Witterung

In Tabelle 4 ist die mittlere Stickstoffdioxidbelastung für das Winter- und Sommerhalbjahr aufgeführt. Dabei werden alle Wetterlagen sowie auch nur Wochen, in denen Hochdruckwetterlagen und Ostlagen vorherrschten, unterschieden.

Tabelle 4: Mittlere Belastungswerte für Stickstoffdioxid im Winter- und Sommerhalbjahr

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1 in Prozent

Probenahmestellen	Alle Wetterlagen			Hochdruck- und Ostlagen		
	PZ	MW	AG	PZ	MW	AG
	Winterhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	25	6,8	43	7	7,4	46
Haus des Gastes (VZ)	25	10,2	36	7	10,6	38
	Sommerhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	24	4,7	29	12	5,1	32
Haus des Gastes (VZ)	24	8,9	32	12	9,6	34

Die Konzentration war im Winterhalbjahr im Kurgebiet um ca. 45 %, im Verkehrszentrum nur um ca. 15 % höher als im Sommerhalbjahr. Austauscharme Wetterlagen (d. h. Hochdruckwetter- und Ostlagen), die für gewöhnlich eine Schadstoffanreicherung in bodennahen Luftschichten begünstigen, traten im Winterhalbjahr vergleichsweise selten auf. Während dieser austauscharmen Wetterlagen war die Konzentration geringfügig höher verglichen zu allen Wetterlagen.

Aufgrund der topografischen Lage von Graal-Müritz ist nicht auszuschließen, dass lokale Windsysteme (Land-Seewind) für eine gewisse Durchmischung der Luft sorgen und einer Schadstoffanreicherung entgegenwirken. Im Sommer ist dieser Effekt stärker ausgeprägt. Zudem ist im Sommer der fotochemische Abbau ausgeprägter, sodass auch die Belastung im Sommerhalbjahr während austauscharmer Wetterlagen ebenfalls ähnlich hoch ist verglichen zu allen Wetterlagen.

Insgesamt waren die Belastungsunterschiede während der einzelnen Witterungstypen vergleichsweise gering. Eine tendenziell höhere Belastung wurde bei vorherrschenden Süd- und Hochdruckwetterlagen gemessen. Es ist nicht auszuschließen, dass umliegende und auch

entferntere Quellen, die südlich von Graal-Müritz liegen, einen gewissen Einfluss auf die örtliche Belastung haben. Am geringsten belastet waren Probenahmeperioden mit vorherrschenden Nordwestlagen (nicht abgebildet). Bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen (siehe Kapitel 2.6) wäre die über den gesamten Messzeitraum gemittelte NO_2 -Konzentration um ca. 3 bis 4 % niedriger ausgefallen.

3.2. Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$

Jahresverlauf und Überschreitungshäufigkeit des Kurzzeit-Richtwertes

In Abbildung 4 ist der zeitliche Verlauf der Feinstaubkonzentration an der verkehrsbezogenen Messstelle dargestellt. Der Verlauf weist einen typischen Jahresgang auf: Höhere Belastungswerte wurden infolge verstärkter Heizungsemissionen und eingeschränkterer Austauschbedingungen vor allem im Spätherbst und Winter gemessen. Niedriger war die Belastung im späten Frühjahr, Sommer und Herbst.

Der Kurzzeit-Richtwert wurde im gesamten Messzeitraum nicht überschritten.

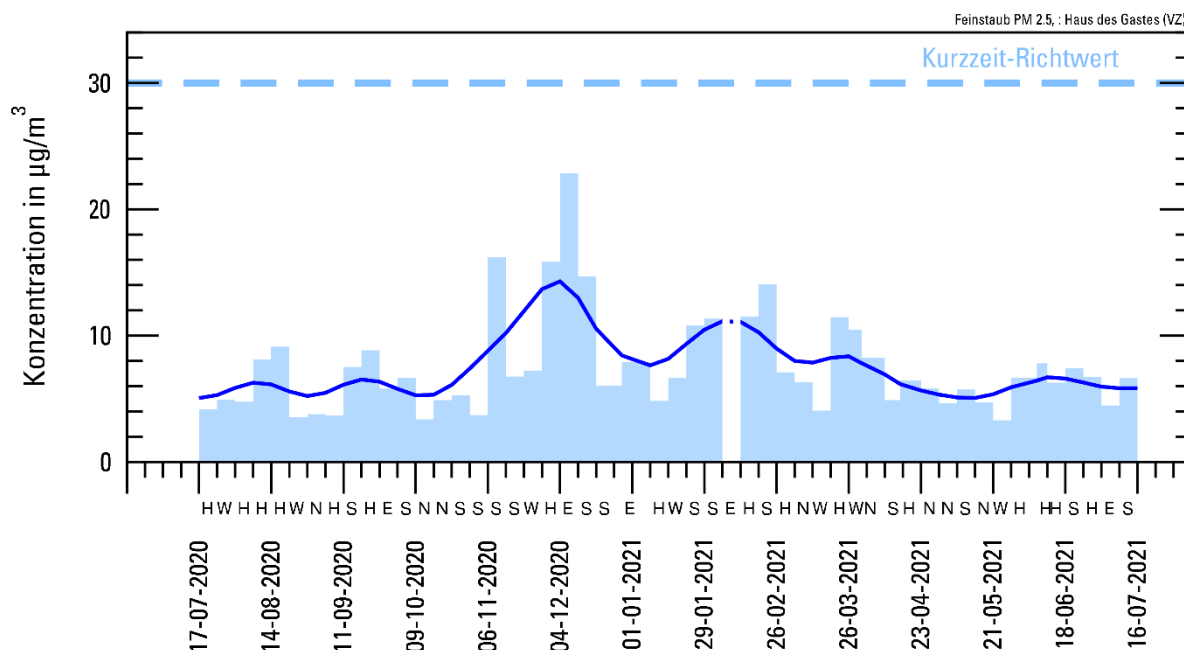


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Feinstaubkonzentration im Verkehrszentrum

Mittlere Belastung und Bezug zum Langzeit-Richtwert

Die mittlere Feinstaubbelastung lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 5, Seite 15). Damit wurde der Langzeit-Richtwert zu 47 % ausgeschöpft.

Die Ergebnisse einer einjährigen Messreihe stellen lediglich eine Stichprobe dar (weitere Erläuterungen auf Seite 12 ff.). An der verkehrsbezogenen Messstelle „Haus des Gastes“ liegt der wahre Mittelwert im Bereich von $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($7,5 \pm 1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Damit liegt der Bereich des Vertrauensintervalls unterhalb des Langzeit-Richtwertes. Eine Einhaltung des Richtwertes kann demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von über 97,5 % angenommen werden.

Tabelle 5: *Mittlere Belastungswerte für Feinstaub im Messzeitraum*

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, 95 %-VI = 95 %-Vertrauensintervall, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1

Probenahmestelle	PZ	MW ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	σ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95 %-VI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AG (%)
Haus des Gastes (VZ)	50	7,5	$\pm 3,9$	$\pm 1,1$	47

Einfluss der Witterung

In Tabelle 6 ist die mittlere Feinstaubbelastung für das Winter- und Sommerhalbjahr aufgeführt. Dabei werden alle Wetterlagen sowie auch nur Wochen, in denen Hochdruckwetterlagen und Ostlagen vorherrschten, unterschieden.

Tabelle 6: *Mittlere Belastungswerte für Feinstaub im Winter- und Sommerhalbjahr*

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1 in Prozent

Probenahmestelle	Alle Wetterlagen			Hochdruck- und Ostlagen		
	PZ	MW	AG	PZ	MW	AG
	Winterhalbjahr					
Haus des Gastes (VZ)	25	9,1	57	7	11,6	73
	Sommerhalbjahr					
Haus des Gastes (VZ)	25	5,8	36	13	6,4	40

Die Konzentration war im Winterhalbjahr um ca. 50 % höher als im Sommerhalbjahr. Austauscharme Wetterlagen (d. h. Hochdruckwetter- und Ostlagen), die für gewöhnlich eine Schadstoffanreicherung in bodennahen Luftschichten begünstigen, traten im Winterhalbjahr vergleichsweise selten auf. Während dieser austauscharmen Wetterlagen war die Konzentration um knapp 30 % höher verglichen zu allen Wetterlagen.

Insgesamt wurde eine vergleichsweise hohe Belastung bei vorherrschenden Ostlagen gemessen. Tendenziell höher war die Belastung auch bei vorherrschenden Süd- und Hochdruckwetterlagen. Es ist nicht auszuschließen, dass umliegende und auch entferntere Quellen, die im südlichen und östlichen Windsektor liegen, einen stärkeren Einfluss auf die örtliche Belastung haben. Allerdings dominierten Ostlagen lediglich in vier Probenahmeperioden, sodass ihre statistische Aussagekraft begrenzt ist (nicht abgebildet). Bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen (siehe Kapitel 2.6) wäre die über den gesamten Messzeitraum gemittelte Feinstaubkonzentration um 5 % niedriger ausgefallen.

3.3. Ruß im Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$

Jahresverlauf und Überschreitungshäufigkeit des Kurzzeit-Richtwertes

In Abbildung 5 (Seite 16) ist der zeitliche Verlauf der Konzentration von Ruß im Feinstaub an der verkehrsbezogenen Messstelle dargestellt. Das Konzentrationsniveau ist im Allgemeinen

niedrig, dennoch ist ein typischer Jahresgang erkennbar: Vergleichsweise hohe Konzentrationen traten vor allem im Spätherbst und Winter auf, die auf Heizungsemissionen und eingeschränktere Austauschbedingungen zurückgeführt werden können.

Der Kurzzeit-Richtwert wurde im gesamten Messzeitraum nicht überschritten.

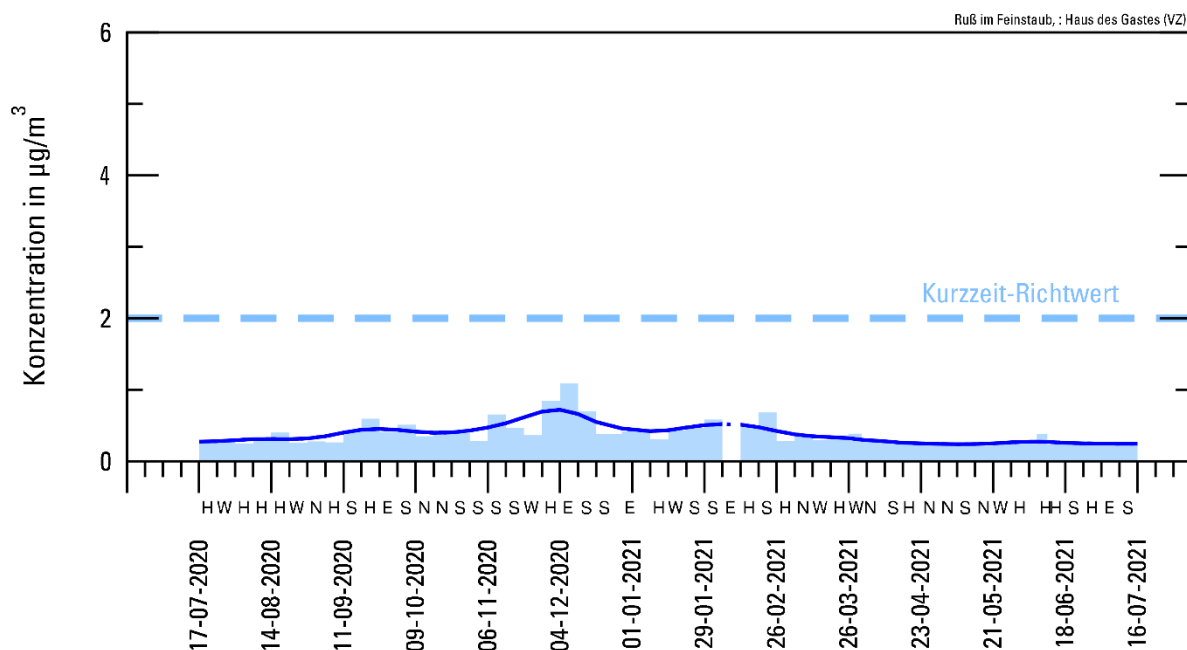


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Ruß im Feinstaub im Verkehrszentrum

Mittlere Belastung und Bezug zum Langzeit-Richtwert

Die mittlere Belastung von Ruß im Feinstaub lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei 0,38 µg/m³ (Tabelle 7). Damit wurde der Langzeit-Richtwert zu 27 % ausgeschöpft.

Tabelle 7: Mittlere Belastungswerte für Ruß im Feinstaub im Messzeitraum

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, 95 %-VI = 95 %-Vertrauensintervall, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1

Probenahmestelle	PZ	MW (µg/m ³)	σ (µg/m ³)	95 %-VI (µg/m ³)	AG (%)
Haus des Gastes (VZ)	50	0,38	± 0,17	± 0,05	27

Die Ergebnisse einer einjährigen Messreihe stellen lediglich eine Stichprobe dar (weitere Erläuterungen auf Seite 12 ff.). An der verkehrsbezogenen Messstelle „Haus des Gastes“ liegt der wahre Mittelwert im Bereich von 0,33 µg/m³ bis 0,43 µg/m³ (0,38 ± 0,05 µg/m³). Damit liegt der Bereich des Vertrauensintervalls unterhalb des Langzeit-Richtwertes. Eine Einhaltung des Richtwertes kann demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von über 97,5 % angenommen werden.

Einfluss der Witterung

In Tabelle 8 ist die mittlere Belastung von Ruß im Feinstaub für das Winter- und Sommerhalbjahr aufgeführt. Dabei werden alle Wetterlagen sowie auch nur Wochen, in denen Hochdruckwetterlagen und Ostlagen vorherrschten, unterschieden.

Tabelle 8: Mittlere Belastungswerte für Ruß im Feinstaub im Winter- und Sommerhalbjahr

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1 in Prozent

Probenahmestelle	Alle Wetterlagen			Hochdruck- und Ostlagen		
	PZ	MW	AG	PZ	MW	AG
	Winterhalbjahr					
Haus des Gastes (VZ)	25	0,47	34	7	0,54	39
	Sommerhalbjahr					
Haus des Gastes (VZ)	35	0,29	21	13	0,32	23

Die Konzentration war im Winterhalbjahr ungefähr um 60 % höher als im Sommerhalbjahr. Austauscharme Wetterlagen (d. h. Hochdruckwetter- und Ostlagen), die für gewöhnlich eine Schadstoffanreicherung in bodennahen Luftschichten begünstigen, traten im Winterhalbjahr vergleichsweise selten auf. Während dieser austauscharmen Wetterlagen war die Konzentration um 15 % höher verglichen zu allen Wetterlagen.

Eine vergleichsweise hohe Belastung wurde insgesamt – wie bei Feinstaub – bei vorherrschenden Ostlagen gemessen, ferner auch bei Süd- und Hochdruckwetterlagen. Es ist nicht auszuschließen, dass umliegende und auch entferntere Quellen, die in den östlichen und südlichen Windsektoren liegen, einen stärkeren Einfluss auf die örtliche Belastung haben. Allerdings dominierten Ostlagen lediglich in vier Probenahmewochen, sodass ihre statistische Aussagekraft begrenzt ist (nicht abgebildet). Bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen (siehe Kapitel 2.6) wäre die über den gesamten Messzeitraum gemittelte Konzentration von Ruß im Feinstaub um ca. 3 % niedriger ausgefallen.

3.4. Grobstaub (gesamt)

Jahresverlauf und Überschreitungshäufigkeit des Kurzzeit-Richtwertes

In Abbildung 6 und Abbildung 7 (Seite 18) ist der zeitliche Verlauf der Grobstaub-(gesamt)-Konzentration an der Messstelle im Kurgebiet und im Verkehrszentrum abgebildet. An beiden Messstellen konnte ein charakteristischer Jahresgang beobachtet werden. Höhere Grobstaubkonzentrationen wurden meist während Perioden trocken-warmer Witterung beobachtet, die die Staubentwicklung und Staubaufwirbelung begünstigen, wie zum Beispiel zu Beginn und gegen Ende der Messreihe. In den Wintermonaten war die natürliche Staubentwicklung wegen der meist feuchten und/oder zeitweise schneebedeckten Bodenoberfläche überwiegend gering. Auch allgemein unbeständiges und mit Niederschlägen verbundenes Wetter führt in der Regel zu einem Rückgang der Konzentration.

An der Messstelle „Konzertpavillion“ (KG) kam es Mitte Juni 2021 zu einer Überschreitung des Kurzzeit-Richtwertes.

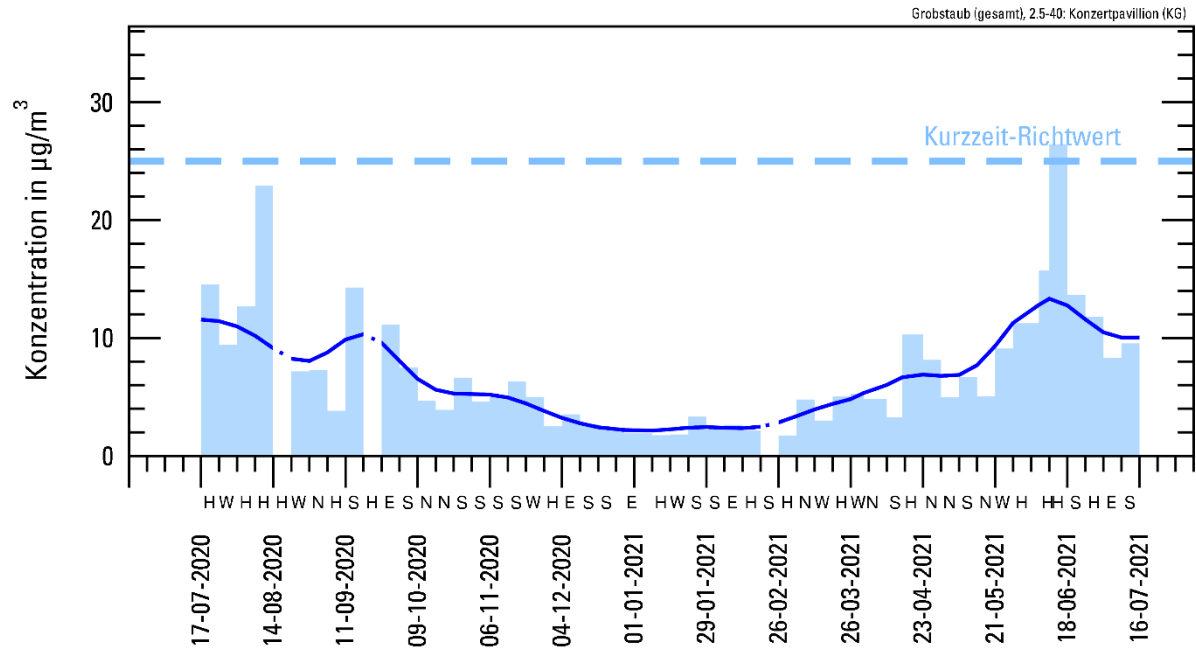


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (gesamt) im Kurgebiet

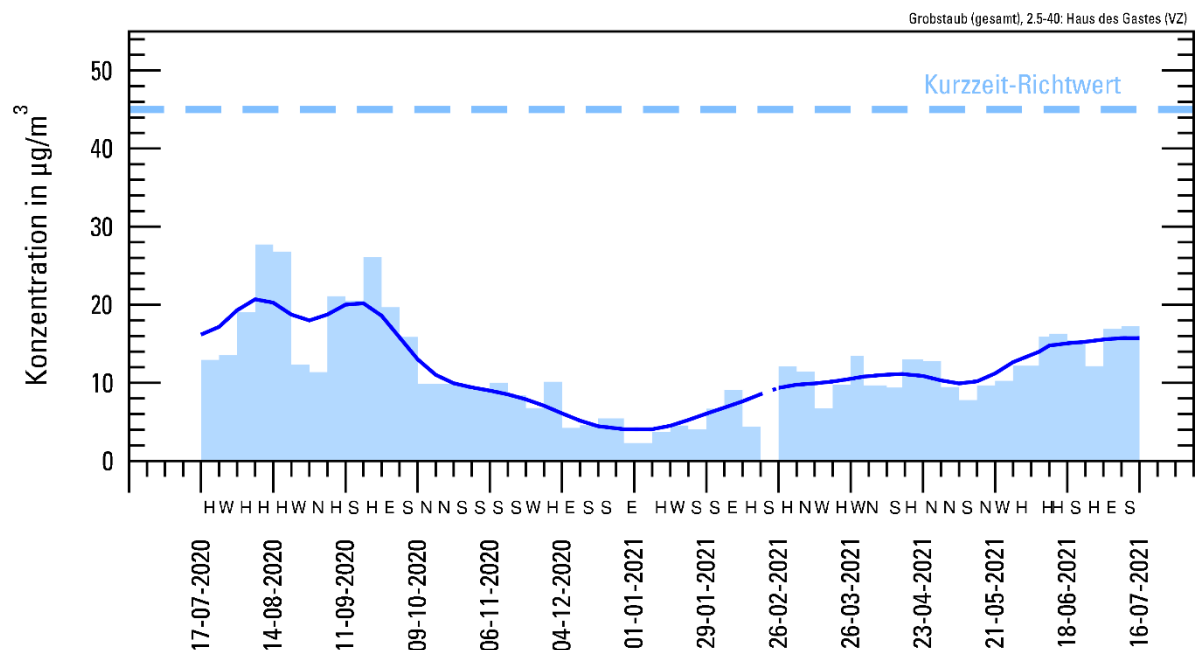


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (gesamt) im Verkehrszentrum

Mittlere Belastung und Bezug zum Langzeit-Richtwert

Die mittlere Belastung von Grobstaub (gesamt) lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei $11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und im Kurgebiet bei $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 9). Mit diesen Belastungswerten wurde der jeweilige Langzeit-Richtwert zu 54 % (VZ) bzw. 59 % (KG) ausgeschöpft.

Tabelle 9: Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (gesamt) im Messzeitraum

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, 95 %-VI = 95 %-Vertrauensintervall, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1

Probenahmestellen	PZ	MW ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	σ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95 %-VI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AG (%)
Konzertpavillion (KG)	48	7,1	$\pm 5,3$	$\pm 1,6$	59
Haus des Gastes (VZ)	50	11,8	$\pm 6,0$	$\pm 1,7$	54

Die Ergebnisse einer einjährigen Messreihe stellen lediglich eine Stichprobe dar (weitere Erläuterungen auf Seite 12 ff.). An der Messstelle „Konzertpavillion“ (KG) liegt der wahre Mittelwert im Bereich von $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($7,1 \pm 1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und an der Messstelle „Haus des Gastes“ (VZ) zwischen $10,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($11,8 \pm 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Damit liegt an beiden Messstellen der Bereich des Vertrauensintervalls unterhalb des jeweiligen Langzeit-Richtwertes. Eine Einhaltung des Richtwertes kann demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von über 97,5 % angenommen werden.

Einfluss der Witterung

In Tabelle 10 ist die mittlere Belastung von Grobstaub (gesamt) für das Winter- und Sommerhalbjahr aufgeführt. Dabei werden alle Wetterlagen sowie auch nur Wochen, in denen Hochdruckwetterlagen und Ostlagen vorherrschten, unterschieden.

Tabelle 10: Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (gesamt) im Winter- und Sommerhalbjahr

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1 in Prozent

Probenahmestellen	Alle Wetterlagen			Hochdruck- und Ostlagen		
	PZ	MW	AG	PZ	MW	AG
	Winterhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	25	3,8	32	8	2,7	22
Haus des Gastes (VZ)	25	8,1	37	8	7,0	32
	Sommerhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	23	10,8	90	11	13,5	113
Haus des Gastes (VZ)	25	15,6	71	13	18,4	84

Die Konzentration war im Sommerhalbjahr im Verkehrszentrum nahezu doppelt so hoch wie im Winterhalbjahr, im Kurgebiet sogar fast dreifach. Sommerliche Hochdruckwetter- und Ostlagen, die für gewöhnlich die Mobilisierung von Staubpartikeln begünstigen, traten im Sommerhalbjahr vergleichsweise häufig auf. Während dieser Wetterlagen war die Konzentration etwa um 20 bis 25 % höher verglichen zu allen Wetterlagen.

Insgesamt wurde bei vorherrschenden Hochdruckwetterlagen mit Abstand die höchste mittlere Belastung gemessen, während der übrigen Witterungstypen war die mittlere Belastung relativ ähnlich (nicht abgebildet). Bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen (siehe

Kapitel 2.6) wären die über den gesamten Messzeitraum gemittelten Konzentrationen von Grobstaub (gesamt) um ca. 4 bis 5 % niedriger ausgefallen.

3.5. Grobstaub (opak)

Jahresverlauf und Überschreitungshäufigkeit des Kurzzeit-Richtwertes

In Abbildung 8 und Abbildung 9 ist der zeitliche Verlauf der Konzentration von Grobstaub (opak) an der Messstelle im Kurgebiet und im Verkehrszentrum abgebildet. Der Jahresgang verläuft ähnlich wie bei Grobstaub (gesamt) (siehe Kapitel 3.4): Höhere Konzentrationen von Grobstaub (opak) wurden vor allem im Sommer und Frühherbst, ferner auch im Frühjahr gemessen. In den Wintermonaten war die Konzentration vergleichsweise gering.

An beiden Messstellen kam es im Messzeitraum zu keiner Überschreitung des jeweiligen Kurzzeit-Richtwertes.

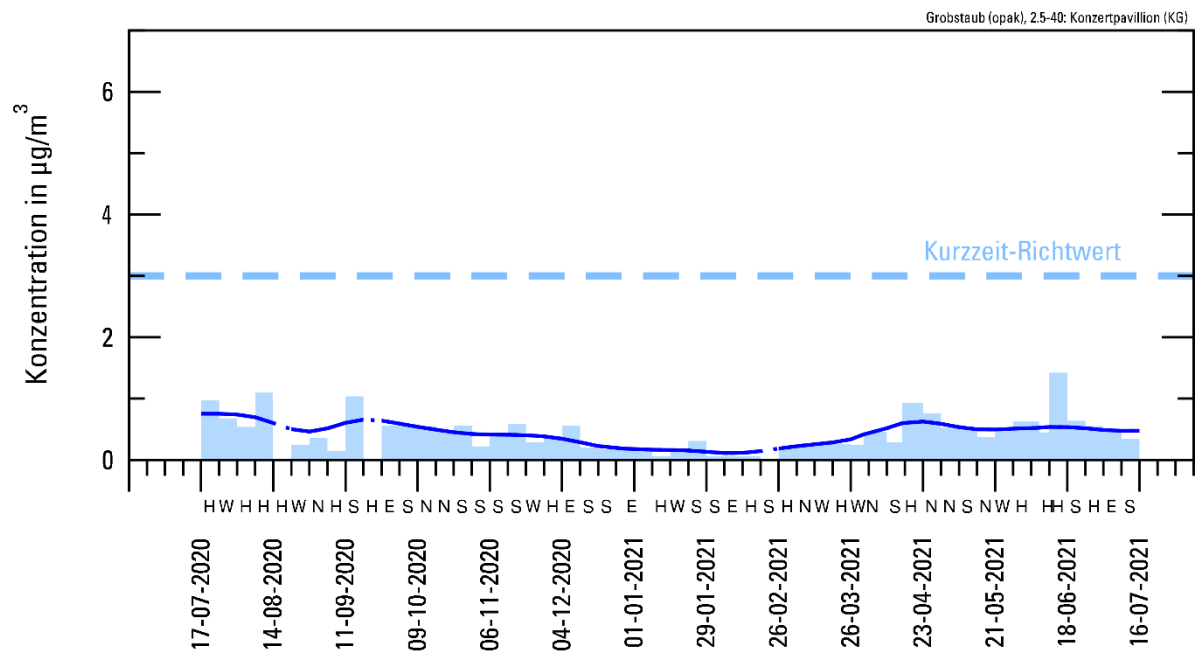


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (opak) im Kurgebiet

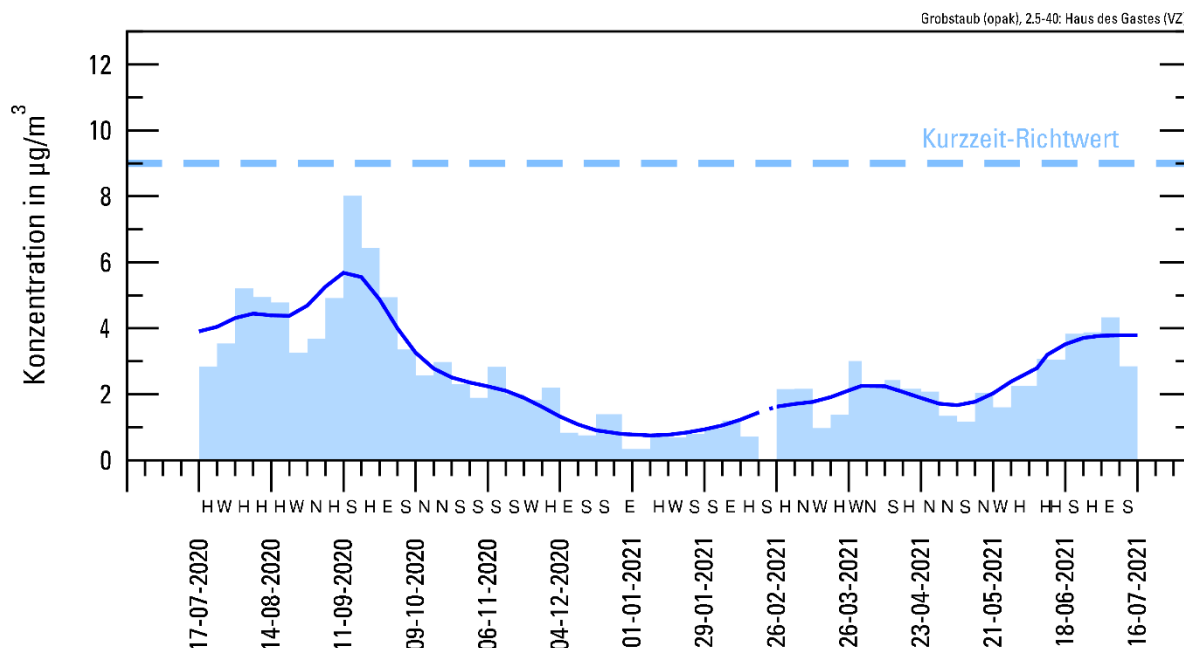


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Grobstaub (opak) im Verkehrszentrum

Mittlere Belastung und Bezug zum Langzeit-Richtwert

Die mittlere Belastung von Grobstaub (opak) lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei $2,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und im Kurgebiet bei $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 11). Mit diesen Belastungswerten wurde der jeweilige Langzeit-Richtwert zu 58 % (VZ) bzw. 37 % (KG) ausgeschöpft.

Tabelle 11: Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (opak) im Messzeitraum

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, 95 %-VI = 95 %-Vertrauensintervall, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1

Probenahmestellen	PZ	MW ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	σ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95 %-VI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AG (%)
Konzertpavillion (KG)	48	0,45	$\pm 0,29$	$\pm 0,08$	37
Haus des Gastes (VZ)	50	2,62	$\pm 1,60$	$\pm 0,46$	58

Die Ergebnisse einer einjährigen Messreihe stellen lediglich eine Stichprobe dar (weitere Erläuterungen auf Seite 12 ff.). An der Messstelle „Konzertpavillion“ (KG) liegt der wahre Mittelwert im Bereich von $0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $0,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,45 \pm 0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und an der Messstelle „Haus des Gastes“ (VZ) zwischen $2,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $3,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($2,62 \pm 0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Damit liegt an beiden Messstellen der Bereich des Vertrauensintervalls unterhalb des jeweiligen Langzeit-Richtwertes. Eine Einhaltung des Richtwertes kann demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von über 97,5 % angenommen werden.

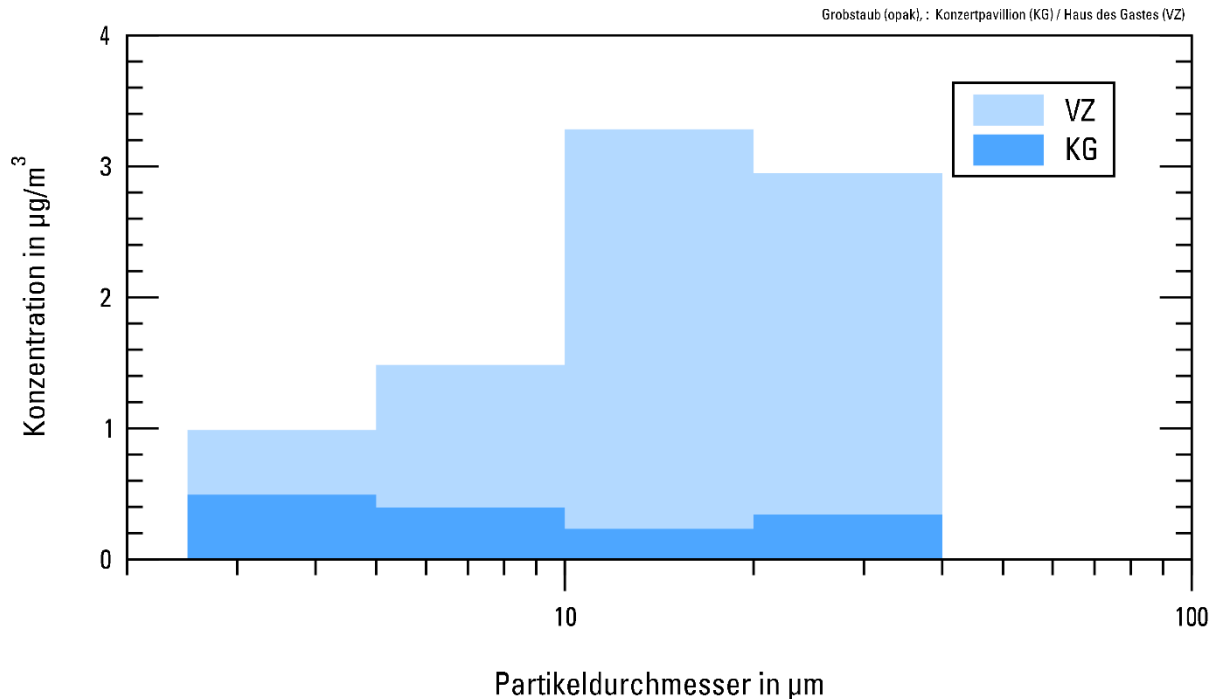


Abbildung 10: Größenverteilung von Grobstaub (opak) in Graal-Müritz

In Abbildung 10 ist die Größenverteilung der opaken Grobstaubpartikel an den beiden Standorten „Konzertpavillon“ (KG) und „Haus des Gastes“ (VZ) dargestellt. Die Partikeldurchmesser auf der waagerechten Achse sind im logarithmischen Maßstab aufgetragen.

Die charakteristischen Unterschiede sind deutlich zu erkennen: Ein ausgeprägtes Konzentrationsmaximum liegt am verkehrsbezogenen Standort bei einem Partikeldurchmesser von 10 μm bis 20 μm . Dieser Größenbereich ist typisch für Teilchen, die durch Reifen- und Straßenabrieb entstehen. An der Messstelle „Konzertpavillon“ (KG) ist das Konzentrationsniveau erwartungsgemäß deutlich niedriger. Das Maximum liegt hier bei einem Partikeldurchmesser kleiner 5 μm . Diese Partikel stammen überwiegend aus Heizungsemissionen. Ein sekundäres Maximum konnte hier bei einem Partikeldurchmesser von 20 bis 40 μm beobachtet werden, was auf einen gewissen Verkehrseinfluss hindeutet.

Einfluss der Witterung

In Tabelle 12 (Seite 23) ist die mittlere Belastung von Grobstaub (opak) für das Winter- und Sommerhalbjahr aufgeführt. Dabei werden alle Wetterlagen sowie auch nur Wochen, in denen Hochdruckwetterlagen und Ostlagen vorherrschten, unterschieden.

Die Konzentration war im Sommerhalbjahr etwa doppelt so hoch wie im Winterhalbjahr. Sommerliche Hochdruckwetter- und Ostlagen, die für gewöhnlich die Mobilisierung von Staubpartikeln begünstigen, traten im Sommerhalbjahr vergleichsweise häufig auf. Während dieser Wetterlagen war die Konzentration um 15 % höher verglichen zu allen Wetterlagen.

Tabelle 12: Mittlere Belastungswerte für Grobstaub (opak) im Winter- und Sommerhalbjahr

Anmerkung zur Tabelle: PZ = Anzahl der Proben, MW = Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AG = Ausschöpfungsgrad bezogen auf den Langzeit-Richtwert gemäß Tabelle 1 in Prozent

Probenahmestellen	Alle Wetterlagen			Hochdruck- und Ostlagen		
	PZ	MW	AG	PZ	MW	AG
	Winterhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	25	0,30	25	8	0,22	18
Haus des Gastes (VZ)	25	1,69	38	8	1,20	27
	Sommerhalbjahr					
Konzertpavillion (KG)	23	0,61	51	11	0,70	59
Haus des Gastes (VZ)	25	3,54	79	13	4,06	90

Insgesamt wurde eine vergleichsweise hohe Belastung bei vorherrschenden Hochdruckwetterlagen gemessen (nicht abgebildet). Bei einer durchschnittlichen Häufigkeit der Witterungstypen (siehe Kapitel 2.6) wären die über den gesamten Messzeitraum gemittelten Konzentrationen von Grobstaub (opak) um ca. 3 bis 4 % niedriger ausgefallen.

3.6. Pollen

Die überwiegende Mehrzahl (ca. 240.000 weltweit) der Pflanzen sind Samenpflanzen, d. h. sie alle produzieren Pollen. Allergologisch bedeutsam sind vor allem jene Pollen, die durch Wind verbreitet werden und die von so genannten anemophilen (windblütigen) Pflanzen stammen. Merkmal dieser Windblütler sind ihre meist unscheinbaren Blüten, die große Mengen an Blütenstaub (Pollen) freisetzen können. Eine optimale Verteilung der Pollen in die Atmosphäre wird dadurch gewährleistet, dass die Blütezeit vielfach vor der Blattentfaltung einsetzt. Ihre Pollen sind klein, leicht und können weit transportiert werden.

In Deutschland zählen die Pollen von Hasel, Erle, Birke, Esche, Gräser, Roggen, Beifuß und Ambrosia zu den Hauptauslösern einer Pollenallergie. Birke und Gräser weisen derzeit von diesen Pollen mit jeweils nahezu 38 % die höchsten Sensibilisierungsraten auf (Burbach et al. 2009). Häufig können auch Kreuzreaktionen innerhalb der Pflanzenfamilie und mit Nahrungsmitteln auftreten.

In Abbildung 11 (Seite 24) ist der Verlauf der Pollenkonzentration während der Messkampagne dargestellt. Dabei wurden die Ergebnisse der wöchentlichen Probenahme über beide Standorte zusammengefasst und gemittelt. Es wurden alle Pollen mit einem Durchmesser von 20 μm bis 60 μm unabhängig ihrer allergenen Wirkung erfasst, da eine weitere Differenzierung der einzelnen Pollenarten noch nicht automatisiert erfolgt. Die oben genannten Allergien auslösenden Pflanzen stehen somit stellvertretend für alle in der jeweiligen Jahreszeit blühenden Pflanzen. Neben der jahreszeitlichen Pflanzenentwicklung ist der Pollenflug auch abhängig von der Witterung und vom aktuellen Wetter.

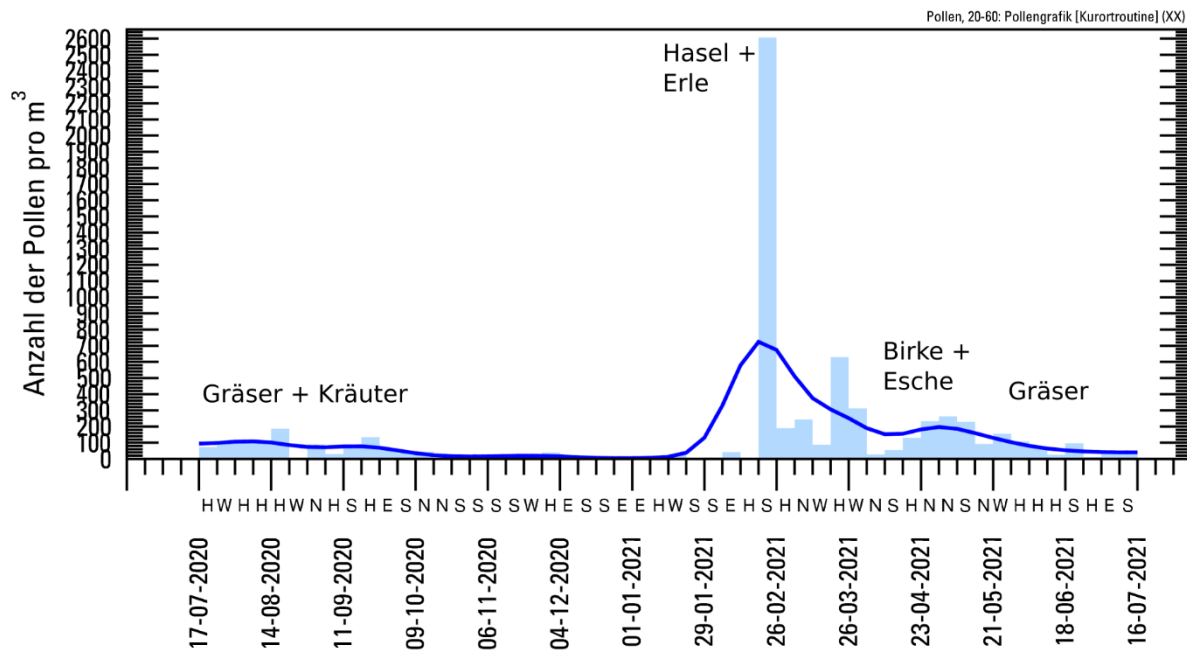


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Pollenkonzentration

Zu Messbeginn war die Pollenkonzentration vergleichsweise niedrig. Es handelte sich dabei um Gräser- und Kräuterpollen (zum Beispiel Beifuß), ansonsten überwiegend um „alte“ Pollen, die zum wiederholten Mal vom Boden oder von der Vegetationsdecke aufgewirbelt wurden. In den Wintermonaten wurden kaum Pollen beobachtet. Im Februar 2021 setzte die Hasel- und Erlenblüte ein, Ende März 2021 begannen allmählich die Eschen zu blühen, im April 2021 zusätzlich die Birken. Im Laufe des Mai 2021 setzte zunehmend die Gräserblüte ein.

4. Vergleich der Luftqualität in Graal-Müritz

Wie gut die Luftqualität in Graal-Müritz bezogen auf die mittlere Belastung der gemessenen Luftbeimengungen im Vergleich zu anderen Kurorten ist, wird im Folgenden dargestellt. Dafür werden die Ergebnisse einjähriger Luftqualitätsmessungen von ca. 150 Kurorten aller Prädikate herangezogen, die im Rahmen des Kurortklimadienstes durch den Deutschen Wetterdienst im Zeitraum von 2015 bis 2019 durchgeführt wurden. Dabei wird die Belastungssituation – in Abhängigkeit der Repräsentanz – aufsteigend sortiert.

4.1. Stickstoffdioxid

In Abbildung 12 ist der Vergleich der mittleren Stickstoffdioxidbelastung im Kurggebiet (in hellblau) und im Verkehrszentrum (in dunkelblau) dargestellt. Im Vergleich zu den anderen Kurorten zählt Graal-Müritz zu den besten 20 % bzw. besten 10 % in der Repräsentanz Kurggebiet bzw. in der Repräsentanz Verkehrszentrum.

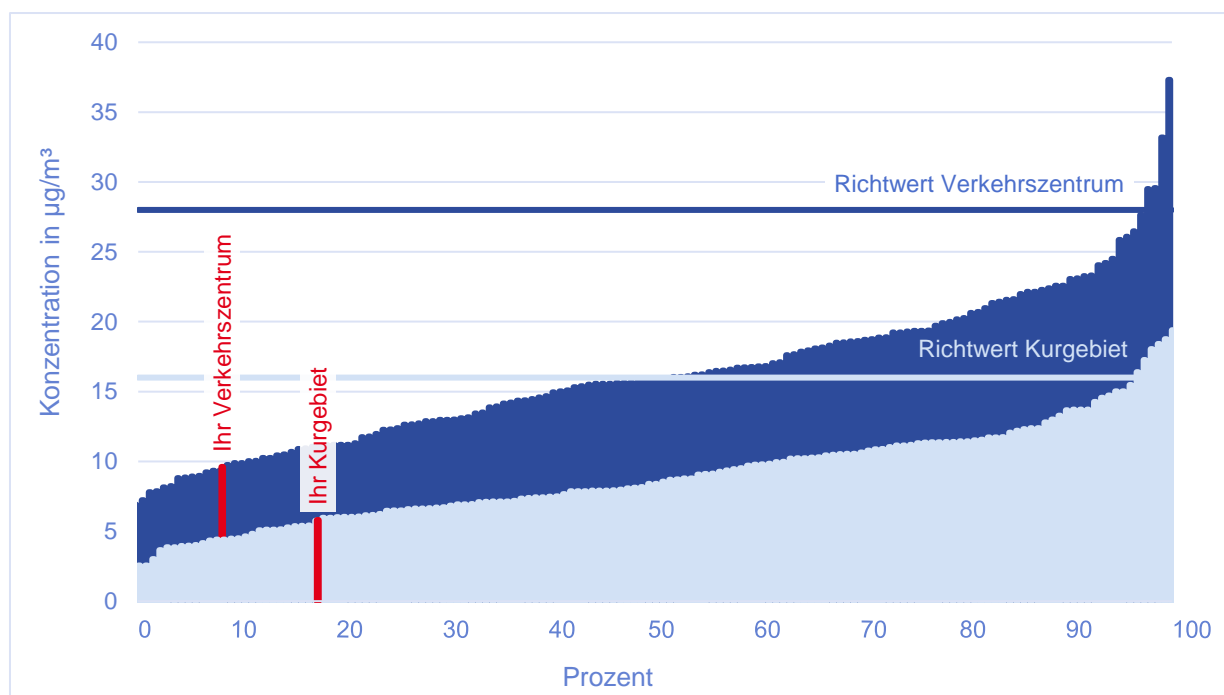


Abbildung 12: Bundesweiter Vergleich der Stickstoffdioxidbelastung von Graal-Müritz bezogen auf die Repräsentanz Verkehrszentrum (dunkelblau) und Kurggebiet (hellblau). In Rot hervorgehoben ist die jeweilige Position von Graal-Müritz

4.2. Feinstaub PM_{2.5} und Ruß

In Abbildung 13 ist der Vergleich der mittleren Belastung von Feinstaub (in dunkelblau) und Ruß (in hellblau) an der verkehrsbezogenen Messstelle dargestellt. Im Vergleich zu den anderen Kurorten zählt Graal-Müritz zu den besten 15 % bezogen auf die Feinstaubbelastung und zu den besten 10 % bezogen auf die Rußbelastung.

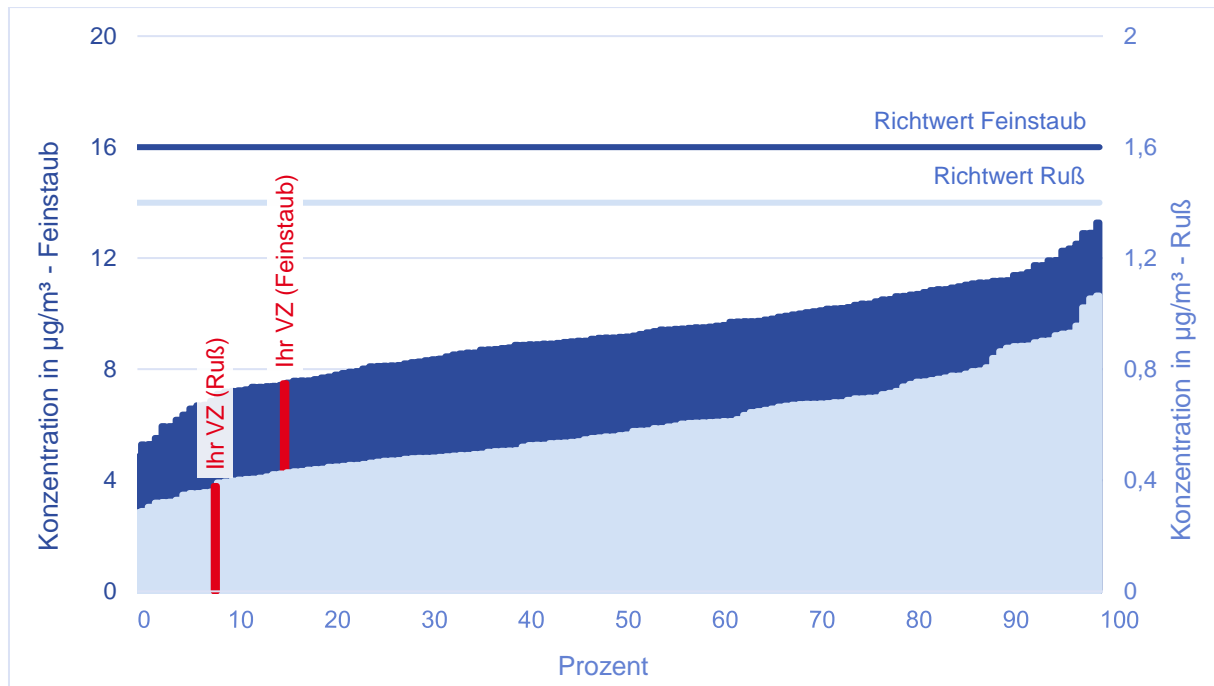


Abbildung 13: Bundesweiter Vergleich der Feinstaub- und Rußbelastung von Graal-Müritz bezogen auf die Repräsentanz Verkehrszentrum. In Rot hervorgehoben ist die jeweilige Position von Graal-Müritz

4.3. Grobstaub

In Abbildung 14 bzw. Abbildung 15 ist der Vergleich der mittleren Belastung von Grobstaub (gesamt) bzw. Grobstaub (opak) im Kurgebiet (in hellblau) und im Verkehrszentrum (in dunkelblau) dargestellt. Hinsichtlich der Grobstaub-(gesamt)-Belastung nimmt Graal-Müritz in beiden Repräsentanzen einen Platz im letzten Drittel ein. In Hinblick auf die Grobstaub-(opak)-Belastung gehört Graal-Müritz zu den besten 15 % aller Kurorte in der Repräsentanz Kurgebiet. In Hinblick auf das Verkehrszentrum nimmt Graal-Müritz einen Platz im vorderen Bereich des letzten Drittels ein.

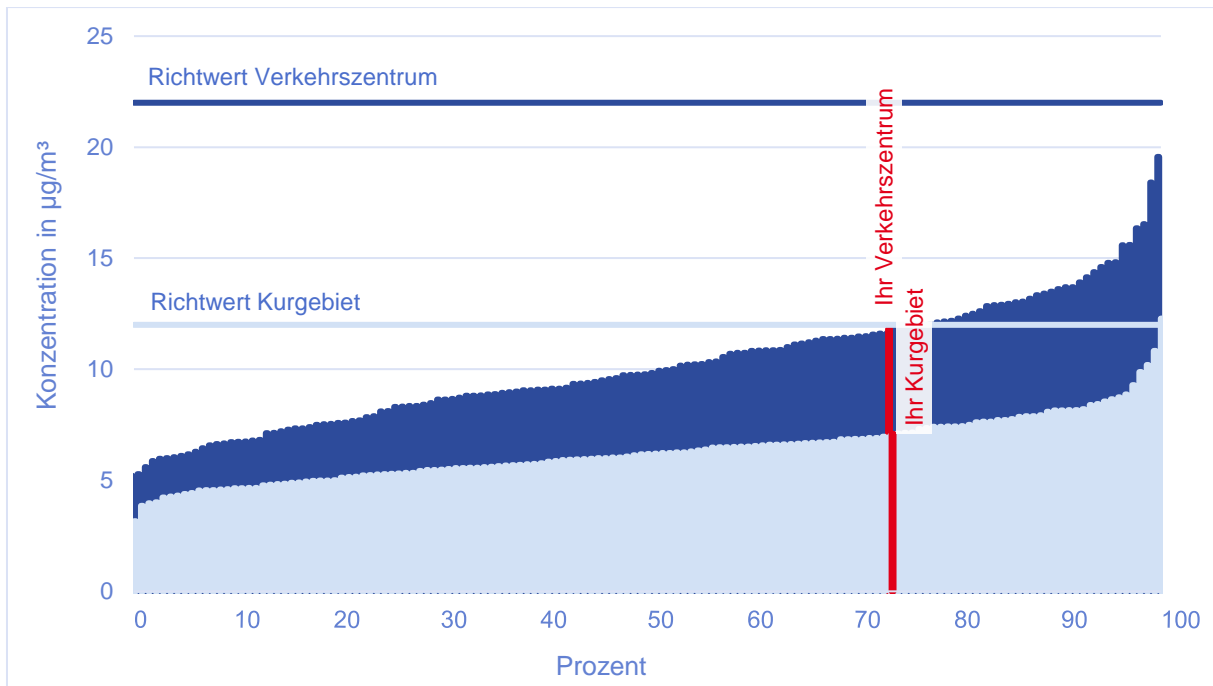


Abbildung 14: Bundesweiter Vergleich der Belastung von Grobstaub (gesamt) von Graal-Müritz bezogen auf die Repräsentanz Verkehrszentrum (dunkelblau) und Kurgebiet (hellblau). In Rot hervorgehoben ist die jeweilige Position von Graal-Müritz

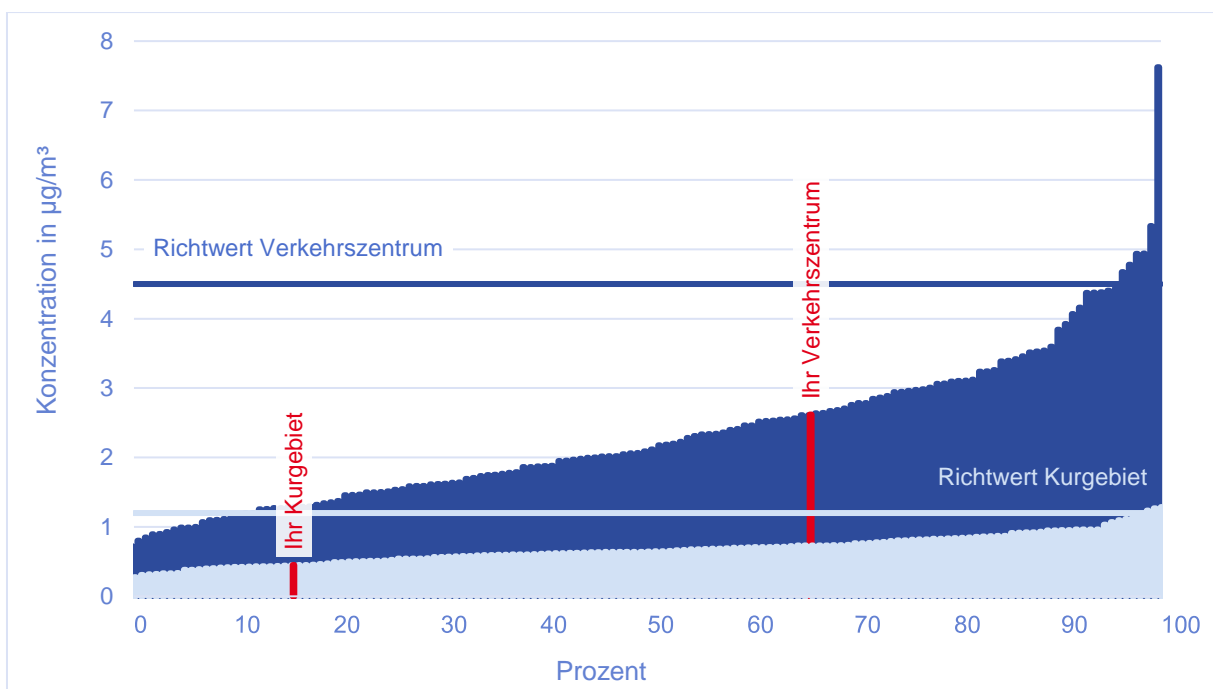


Abbildung 15: Bundesweiter Vergleich der Belastung von Grobstaub (opak) von Graal-Müritz bezogen auf die Repräsentanz Verkehrszentrum (dunkelblau) und Kurgebiet (hellblau). In Rot hervorgehoben ist die jeweilige Position von Graal-Müritz

5. Vergleich zur vorherigen Messkampagne

In Tabelle 13 sind die mittleren Konzentrationen des Grobstaubs (gesamt und opak) und des Stickstoffdioxids während der beiden Messkampagnen 2006/2007 und 2020/2021 einander gegenübergestellt. Feinstaub und Ruß im Feinstaub wurden während 2006/2007 im Rahmen der Projektes INMEKO-II „Integrierende Messverfahren in Kurorten“ gemessen und werden hier mit aufgeführt. Die Probenahmegeräte für die Repräsentanz Verkehrszentrum befanden sich während beider Messkampagnen nahezu an demselben Standort (siehe Kapitel 2.3), sodass die Ergebnisse gut miteinander vergleichbar sind. Für die Repräsentanz Kurgebiet hingegen war der Standort verschieden. Damit sind die Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar.

Für den Vergleich von Grobstaub (gesamt und opak) wurden die Daten der vorherigen Messkampagne für den Größenbereich 2,5 µm bis 40 µm neu ausgewertet, da nach den damals gültigen Begriffsbestimmungen die Auswertung der Grobstaubpartikel für den Größenbereich 3 µm bis 48 µm erfolgte.

Der Vergleich der mittleren Belastungssituation während der beiden Messkampagnen zeigt, dass die Luftschadstoffbelastung insgesamt abgenommen hat, mit Ausnahme von Grobstaub (opak) an der verkehrsbezogenen Messstelle. Hier konnte eine Zunahme von 14 % beobachtet werden.

Tabelle 13: Vergleich der mittleren Belastungswerte der untersuchten Luftbeimengungen während der beiden Messkampagnen 2006/2007 und 2020/2021

	Kurgebiet			Verkehrszentrum		
	2006/2007 [µg/m³]	2020/2021 [µg/m³]	Veränderung [%]	2006/2007 [µg/m³]	2020/2021 [µg/m³]	Veränderung [%]
Stickstoffdioxid	8,6	5,8	-33	13,9	9,6	-31
Grobstaub (gesamt)	9,1	7,1	-22	13,9	11,8	-15
Grobstaub (opak)	0,53	0,45	-15	2,30	2,62	14
Feinstaub	10,0	keine Erhebung		11,7	7,5	-36
Ruß im Feinstaub	0,44	keine Erhebung		0,69	0,38	-45

Einfluss der großräumigen Wetterlage

Inwieweit die Witterung für diese Trends ursächlich ist, soll anhand eines Vergleichs der Häufigkeit der Großwetterlagen untersucht werden. Dazu wird die Anzahl der täglich im jeweiligen Messzeitraum aufgetretenen Wetterlagen errechnet und einander gegenübergestellt. Die Wetterlagen werden eingeteilt in lufthygienisch günstig und lufthygienisch ungünstig:

- Lufthygienisch günstige (austauschreiche) Wetterlagen sind Nordwest- und Südwestlagen.
- Lufthygienisch ungünstige (austauscharme) Wetterlagen sind Hochdruckwetter- und Ostlagen.

Die Auswertung erfolgt zudem getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr, da die Belastung durch Grobstaub (gesamt und opak) vor allem von den Witterungsbedingungen im Sommerhalbjahr, die Belastung durch Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ruß im Feinstaub vor allem durch die Witterungsbedingungen im Winterhalbjahr bestimmt wird. So fördern winterliche Hochdruckwetter- und Ostlagen aufgrund ihrer eingeschränkten Austauschbedingungen eine Anreicherung von Luftschadstoffen in bodennahen Luftschichten (hier Stickstoffdioxid), während sommerliche Hochdruckwetter- und Ostlagen zu einer stärkeren Mobilisierung und Anreicherung von Grobstaubpartikeln führen. Südwest- und Nordwestlagen hingegen sind in der Regel ganzjährig für gute bis sehr gute Durchmischungsverhältnisse der bodennahen Luft charakteristisch.

Witterungseinfluss im Sommerhalbjahr

Während der Messkampagne 2006/2007 traten im Sommerhalbjahr an 80 Messtagen lufthygienisch ungünstige und an 104 Tagen lufthygienisch günstige Wetterlagen auf. Während der Messkampagne 2020/2021 gab es 79 Messtage mit lufthygienisch ungünstigen und 67 Messtage mit lufthygienisch günstigen Wetterlagen. Das Häufigkeitsverhältnis von lufthygienisch ungünstigen zu lufthygienisch günstigen Großwetterlagen beträgt für die

- Messkampagne 2006/2007 0,77
- Messkampagne 2020/2021 1,18.

Demnach war die Witterung im Sommerhalbjahr während der Messkampagne 2020/2021 lufthygienisch ungünstiger als 2006/2007. Somit kann lediglich die an der verkehrsbezogenen Messstelle beobachtete Zunahme der Grobstaub-(opak)-Belastung witterungsbedingt erklärt werden.

Witterungseinfluss im Winterhalbjahr

Während der Messkampagne 2006/2007 traten im Winterhalbjahr an 50 Messtagen lufthygienisch ungünstige und an 97 Tagen lufthygienisch günstige Wetterlagen auf. Während der Messkampagne 2020/2021 gab es 64 Messtage mit lufthygienisch ungünstigen und 50 Messtage mit lufthygienisch günstigen Wetterlagen. Das Häufigkeitsverhältnis von lufthygienisch ungünstigen zu lufthygienisch günstigen Großwetterlagen beträgt für die

- Messkampagne 2006/2007 0,52
- Messkampagne 2020/2021 1,28.

Während des Winterhalbjahres 2020/2021 waren die Austauschbedingungen lufthygienisch ungünstiger als 2006/2007, sodass der Rückgang der Belastung durch Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ruß witterungsbedingt nicht erklärt werden kann.

Nach Angaben des Umweltbundesamtes dürfte der allgemein beobachtete Rückgang mitunter auf die Flottenmodernisierung sowie auf lokale Maßnahmen zurückzuführen sein. Auch die bundesweiten Corona-Maßnahmen könnten einen gewissen Einfluss auf den Rückgang der Schadstoffbelastung gehabt haben.

Gesamtbewertung und Schlussfolgerung

Das Belastungsniveau der untersuchten Luftbeimengungen war in Graal-Müritz insgesamt kurz-ortüblich. Es ließen sich zum Teil typische Unterschiede im Jahresverlauf der partikel- und gasförmigen Luftbeimengungen feststellen, die sowohl auf anthropogene als auch meteorologische Ursachen zurückzuführen sind: Bei Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ruß im Feinstaub wurden höhere Konzentrationen vor allem im Spätherbst und Winter und bei austauschärmeren Wetterlagen gemessen. Bei Grobstaub traten vor allem im späten Frühjahr, Sommer und Frühherbst vergleichsweise hohe Konzentrationen auf.

Grobstaub (opak), der primär auf den Verkehr (Reifen- und Bremsabrieb) zurückgeführt werden kann, wies eine normale Konzentration auf. Der Anteil opaker Partikel an der Grobstaub-(gesamt)-Konzentration lag an der verkehrsbezogenen Messstelle bei ca. 20 %. Im Kurgebiet lag der Anteil opaker Partikel unter 10 %, was auf einen geringen, aber dennoch vorhandenen Verkehrseinfluss hindeutet.

Insgesamt war die Luftschadstoffbelastung bei dominierenden Hochdruckwetterlagen tendenziell am größten, bei Feinstaub und Ruß im Feinstaub während vorherrschender Ostlagen. Ferner wurde auch bei Südlagen eine tendenziell höhere Belastung von Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ruß beobachtet. Verkehrsbedingte Emissionen von der süd- und östlich von Graal-Müritz verlaufenden Bundesstraße B 105 sowie Emissionen aus dem Rostocker Raum können einen gewissen Einfluss auf die Immissionsbelastung in Graal-Müritz haben. Prinzipiell ist aber die Luftschadstoffbelastung primär auf die örtlichen Emittenten, insbesondere den Verkehr und im Winterhalbjahr zusätzlich Heizungen zurückzuführen. Zusätzlich können auch lokale Windsysteme (Land-Seewind) positiv auf die Luftqualität wirken.

In Tabelle 14 (Seite 31) sind für alle untersuchten Luftbeimengungen je Messstelle die Überschreitungshäufigkeiten der Kurzzeit-Richtwerte sowie die Ausschöpfung der Langzeit-Richtwerte (Tabelle 1) zusammengefasst und bewertet. Die Bewertung der Luftqualität bezogen auf den Ausschöpfungsgrad erfolgt in sechs Stufen, von äußerst gering (Ausschöpfung ≤ 25 %) bis unzulässig hoch (Ausschöpfung > 100 %).

Im gesamten Messzeitraum trat lediglich bei Grobstaub (gesamt) an der Messstelle im Kurgebiet eine Überschreitung des Kurzzeit-Richtwertes auf. Bis zu drei Überschreitungen sind für jede der untersuchten Luftbeimengungen und Messstellen erlaubt.

Die mittleren Belastungswerte haben den jeweiligen Langzeit-Richtwert bei Weitem nicht erreicht. Im Kurgebiet ist die Luftschadstoffbelastung normal ausgefallen. Ebenfalls normal fiel an der verkehrsbezogenen Messstelle die Belastung von Grobstaub (gesamt und opak) sowie Feinstaub aus. Die Belastung von Stickstoffdioxid und Ruß konnte hier als gering eingestuft werden.

Tabelle 14: Zusammenfassende Bewertung der Luftqualität hinsichtlich der Kurzzeit- und Langzeit-Richtwerte

Anzahl der Kurzzeit-Richtwert-Überschreitungen		
Messtellenbezeichnung	Konzertpavillion	Haus des Gastes
Repräsentanz	KG	VZ
Stickstoffdioxid	0	0
Feinstaub	keine Erhebung	0
Ruß im Feinstaub	keine Erhebung	0
Grobstaub gesamt	1	0
Grobstaub opak	0	0
Auschöpfung der Langzeit-Richtwerte in Prozent (%)		
Messtellenbezeichnung	Konzertpavillion	Haus des Gastes
Repräsentanz	KG	VZ
Stickstoffdioxid	36	34
Feinstaub	keine Erhebung	47
Ruß im Feinstaub	keine Erhebung	27
Grobstaub gesamt	59	54
Grobstaub opak	37	58

Anzahl Überschreitungen

≤ 3	erlaubt
> 3	unzulässig

Bewertungskala

≤ 25 %	äußerst gering
> 25 bis 35 %	gering
> 35 bis 65 %	normal
> 65 bis 80 %	leicht erhöht
> 80 bis 100 %	deutlich erhöht
> 100 %	unzulässig hoch

Maßnahmen zur nachhaltigen Qualitätssicherung

Gegenwärtig werden die Anforderungen an ein Seeheilbad in Graal-Müritz eingehalten und zum Teil deutlich unterschritten. Um die gute Luftqualität weiterhin gewährleisten zu können, sollte – auch vor dem Hintergrund des insgesamt zunehmenden Verkehrs – darauf geachtet werden, dass die Verkehrslenkungsmaßnahmen diesem angepasst sind. Darüber hinaus können auch folgende Maßnahmen nachhaltig für die Qualitätssicherung sein:

- Bürgerinformation und Aufklärung zum Thema Energieeinsparung im Alltag (Tipps und Informationen finden Sie z. B. auf www.umweltbundesamt.de)
- Regelmäßige Überprüfung der Heizungsanlagen der Gewerbebetriebe und privaten Haushalte (auch die Zusatz- bzw. Komfortheizungen wie Kaminöfen) auf Stickoxid-, Feinstaub- und Ruß-Emissionen. Bei Neubauten und/oder Modernisierungsmaßnahmen sollte auf emissionsärmere Anlagen geachtet werden.

Literatur

Burbach et al. (2009): GA²LEN skin test study II: clinical relevance of inhalant allergen sensitizations in Europe. *Allergy* 64 (10), 1507-1515, <http://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2009.02089.x>

DHV und DTV (2005): Begriffsbestimmungen / Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte – einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen – sowie für Heilbrunnen und Heilquellen, 12. Auflage vom April 2005, Stand: 21.10.2016, Hrsg. Deutscher Heilbäderverband e. V. und Deutscher Tourismusverband e. V.

DIN EN 12341: Außenluft – Gravimetrisches Standardverfahren für die Bestimmung der PM₁₀- oder PM_{2,5}-Massenkonzentration des Schwebstaubes; Deutsche Fassung EN 12341:2014-08, Norm. Beuth Verlag GmbH Berlin, <https://dx.doi.org/10.31030/2076304>

DIN EN 14211: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14211:2012-11, Norm. Beuth Verlag GmbH Berlin, <https://dx.doi.org/10.31030/1852617>

DIN EN 16339: Außenluft – Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler; Deutsche Fassung EN 16339:2013-11, Norm. Beuth Verlag GmbH Berlin, <https://dx.doi.org/10.31030/1947371>

VDI 2119: Messen von Immissionen – Probenahme von atmosphärischen Partikeln > 2,5 µm auf einer Akzeptorfläche mit dem Passivsammler Sigma-2 – Lichtmikroskopische Charakterisierung sowie Berechnung der Anzahl sedimentationsrate und der Massenkonzentration, Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 2013-06

VDI 2463 Blatt 1: Messen von Partikeln – Gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft - Grundlagen, Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 1999-11

VDI 3787 Blatt 10: Umweltmeteorologie – Human-biometeorologische Anforderungen im Bereich Erholung, Prävention, Heilung und Rehabilitation, Technische Regel. Beuth Verlag GmbH Berlin, 2010-03

Anhang

Tabelle A 1: Mittlere wöchentliche Konzentration der untersuchten Leitsubstanzen in Graal-Müritz an der Messstelle „Konzertpavillion“ (Repräsentanz Kurgel)

Anmerkung zur Tabelle: WT = Witterungstyp (siehe Tabelle 2), Wert mit „A“ = Ausreißer; fehlender Wert = keine auswertbare Probe; Wert mit „N“ = Messwert unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) = ½ NWG-Wert

Messzeitraum	WT	Stickstoffdi-oxid in µg/m ³	Grobstaub (gesamt) in µg/m ³	Grobstaub (opak) in µg/m ³
17.07.20-24.07.20	H	5,15	14,56	0,97
24.07.20-31.07.20	W	3,48	9,43	0,68
31.07.20-07.08.20	H	4,02	12,69	0,54
07.08.20-14.08.20	H	4,81	22,93	1,10
14.08.20-21.08.20	H	6,70	19,17 A	1,78 A
21.08.20-28.08.20	W	5,57	7,16	0,24
28.08.20-04.09.20	N	4,61	7,27	0,36
04.09.20-11.09.20	H	4,53	3,82	0,14
11.09.20-18.09.20	S	6,39	14,28	1,03
18.09.20-25.09.20	H	7,06	21,26 A	1,79 A
25.09.20-02.10.20	E	5,46	11,15	0,56
02.10.20-09.10.20	S	4,66	7,51	0,58
09.10.20-16.10.20	N	3,96	4,68	0,55
16.10.20-23.10.20	N	5,18	3,90	0,47
23.10.20-30.10.20	S	6,04	6,64	0,56
30.10.20-06.11.20	S	7,27	4,60	0,22
06.11.20-13.11.20	S	8,27	4,97	0,40
13.11.20-20.11.20	S	5,07	6,32	0,58
20.11.20-27.11.20	W	8,21	5,01	0,29
27.11.20-04.12.20	H	8,32	2,51	0,36
04.12.20-11.12.20	E	7,73	3,52	0,56
11.12.20-18.12.20	S	10,90	2,69	0,20
18.12.20-28.12.20	S	6,49	2,37	0,17
28.12.20-08.01.21	E	5,73	1,91	0,20
08.01.21-15.01.21	H	5,01	1,75	0,06 N
15.01.21-22.01.21	W	5,80	1,82	0,17
22.01.21-29.01.21	S	7,12	3,32	0,31
29.01.21-05.02.21	S	7,05	2,25	0,06 N
05.02.21-12.02.21	E	3,60 A	2,63	0,06 N
12.02.21-19.02.21	H	8,78	2,15	0,06 N

Messzeitraum	WT	Stickstoffdi-oxid in µg/m ³	Grobstaub (gesamt) in µg/m ³	Grobstaub (opak) in µg/m ³
19.02.21-26.02.21	S	10,66	14,62 A	0,55 A
26.02.21-05.03.21	H	9,48	1,74	0,21
05.03.21-12.03.21	N	5,31	4,78	0,24
12.03.21-19.03.21	W	5,29	3,00	0,28
19.03.21-26.03.21	H	6,39	5,04	0,26
26.03.21-31.03.21	W	6,80	5,26	0,24
31.03.21-09.04.21	N	4,61	4,81	0,46
09.04.21-15.04.21	S	4,04	3,27	0,29
15.04.21-23.04.21	H	6,68	10,30	0,93
23.04.21-30.04.21	N	4,24	8,15	0,76
30.04.21-07.05.21	N	2,92	4,98	0,52
07.05.21-14.05.21	S	6,63	6,67	0,53
14.05.21-21.05.21	N	3,61	5,02	0,37
21.05.21-28.05.21	W	3,21	9,11	0,47
28.05.21-07.06.21	H	4,91	11,25	0,63
07.06.21-11.06.21	H	17,26 A	15,72	0,45
11.06.21-18.06.21	H	3,50	26,42	1,42
18.06.21-25.06.21	S	3,98	13,65	0,63
25.06.21-02.07.21	H	4,82	11,79	0,55
02.07.21-09.07.21	E	3,43	8,29	0,48
09.07.21-16.07.21	S	3,38	9,54	0,34

Tabelle A 2: Mittlere wöchentliche Konzentration der untersuchten Leitsubstanzen in Graal-Müritz an der Messstelle „Haus des Gastes“ (Repräsentanz Verkehrszentrum)

Anmerkung zur Tabelle: WT = Witterungstyp (siehe Tabelle 2); Wert mit „A“ = Ausreißer; fehlender Wert = keine auswertbare Probe; Wert mit „N“ = Messwert unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) = ½ NWG-Wert

Messzeitraum	WT	Stickstoffdi-oxid in µg/m ³	Feinstaub PM _{2.5} in µg/m ³	Ruß im Feinstaub in µg/m ³	Grobstaub (gesamt) in µg/m ³	Grobstaub (opak) in µg/m ³
17.07.20-24.07.20	H	8,41	4,16	0,25	12,93	2,84
24.07.20-31.07.20	W	8,54	4,89	0,29	13,54	3,54
31.07.20-07.08.20	H	9,40	4,76	0,25	19,05	5,21
07.08.20-14.08.20	H	11,15	8,12	0,33	27,70	4,95
14.08.20-21.08.20	H	13,05	9,11	0,40	26,80	4,78
21.08.20-28.08.20	W	11,14	3,54	0,26	12,36	3,26
28.08.20-04.09.20	N	7,71	3,77	0,28	11,37	3,68
04.09.20-11.09.20	H	9,37	3,65	0,26	21,08	4,92
11.09.20-18.09.20	S	10,97	7,51	0,42	20,53	8,02
18.09.20-25.09.20	H	11,00	8,83	0,59	26,12	6,43
25.09.20-02.10.20	E	10,42	5,80	0,40	19,67	4,94
02.10.20-09.10.20	S	9,55	6,65	0,51	15,87	3,36
09.10.20-16.10.20	N	8,19	3,36	0,35	9,87	2,57
16.10.20-23.10.20	N	9,87	4,89	0,39	9,87	2,97
23.10.20-30.10.20	S	10,52	5,26	0,39	9,66	2,31
30.10.20-06.11.20	S	8,72	3,70	0,28	9,07	1,89
06.11.20-13.11.20	S	8,65	16,22	0,65	10,00	2,83
13.11.20-20.11.20	S	9,02	6,75	0,46	8,39	2,00
20.11.20-27.11.20	W	11,12	7,23	0,36	6,75	1,82
27.11.20-04.12.20	H	13,02	15,84	0,84	10,13	2,20
04.12.20-11.12.20	E	9,77	22,85	1,09	4,22	0,83
11.12.20-18.12.20	S	13,72	14,68	0,70	4,56	0,75
18.12.20-28.12.20	S	8,35	6,02	0,38	5,44	1,39
28.12.20-08.01.21	E	8,46	7,89	0,41	2,28	0,34
08.01.21-15.01.21	H	9,00	4,82	0,31	3,72	0,75
15.01.21-22.01.21	W	8,83	6,67	0,43	4,53	0,69
22.01.21-29.01.21	S	12,17	10,81	0,47	4,04	0,80
29.01.21-05.02.21	S	11,74	11,34	0,58	6,67	0,95
05.02.21-12.02.21	E	3,10 A	3,60 A	0,27 A	9,08	1,21
12.02.21-19.02.21	H	12,28	11,51	0,48	4,35	0,71
19.02.21-26.02.21	S	14,77	14,05	0,68	34,39 A	3,06 A
26.02.21-05.03.21	H	11,39	7,09	0,29	12,09	2,16
05.03.21-12.03.21	N	8,88	6,31	0,36	11,44	2,16

Messzeitraum	WT	Stickstoffdi-oxid in µg/m ³	Feinstaub PM _{2.5} in µg/m ³	Ruß im Feinstaub in µg/m ³	Grobstaub (gesamt) in µg/m ³	Grobstaub (opak) in µg/m ³
12.03.21-19.03.21	W	8,89	4,06	0,30	6,73	0,97
19.03.21-26.03.21	H	10,52	11,46	0,36	9,75	1,38
26.03.21-31.03.21	W	9,93	10,44	0,38	13,42	3,00
31.03.21-09.04.21	N	7,71	8,23	0,28	9,65	2,25
09.04.21-15.04.21	S	7,19	4,89	0,24	9,39	2,42
15.04.21-23.04.21	H	9,66	6,43	0,27	13,02	2,16
23.04.21-30.04.21	N	6,82	5,81	0,25	12,79	2,08
30.04.21-07.05.21	N	6,02	4,63	0,24	9,45	1,34
07.05.21-14.05.21	S	9,00	5,73	0,23	7,78	1,17
14.05.21-21.05.21	N	5,88	4,70	0,21	9,66	2,04
21.05.21-28.05.21	W	6,58	3,29	0,24	10,24	1,60
28.05.21-07.06.21	H	8,93	6,67	0,24	12,19	2,25
07.06.21-11.06.21	H	18,68 A	7,80	0,38	15,90	3,06
11.06.21-18.06.21	H	7,40	6,27	0,24	16,27	3,04
18.06.21-25.06.21	S	7,37	7,40	0,24	15,45	3,83
25.06.21-02.07.21	H	8,21	6,73	0,24	12,12	3,88
02.07.21-09.07.21	E	8,02	4,46	0,25	16,89	4,33
09.07.21-16.07.21	S	10,92	6,62	0,24	17,25	2,84
17.07.20-24.07.20	H	8,41	4,16	0,25	12,93	2,84
24.07.20-31.07.20	W	8,54	4,89	0,29	13,54	3,54
31.07.20-07.08.20	H	9,40	4,76	0,25	19,05	5,21