



Richter & Röckle
Immissionen
Meteorologie
Akustik

Messstelle § 29b
BImSchG
Akkreditiert für
Immissionsprognosen
nach TA Luft

Auftraggeber: iqony GmbH
Rüttenscheider Straße 1-3
45128 Essen

Lokalklimatische Auswirkungen der Zellenkühler und Gebäude der geplanten GuD-Anlage in Bergkamen

Projekt-Nr.: 23-07-01-S-II
Bericht-Nr.: 1.0
Umfang: 32 Seiten
Datum: 28. November 2024
Bearbeiter: Dr. Markus Hasel
Dr. Jost Nielinger
(Anerkannter beratender Meteorologe der DMG. e.V.)

iMA - Immissionen · Meteorologie · Akustik
Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Hauptstraße 54
D-70839 Gerlingen
Tel. 07156 / 4389 16
Fax: 07156 / 5026 18
E-Mail: hasel@ima-umwelt.de
Internet: ima-umwelt.de

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	3
2	Vorgehensweise	3
3	Beurteilungsgrundlagen	3
4	Standort und örtliche Gegebenheiten	4
5	Beschreibung des betrachteten Falles	7
6	Verschattungsanalyse	8
6.1	Methodik	8
6.2	Eingangsdaten	9
6.3	Schwadenberechnung	9
6.3.1	Schwadenarten	9
6.3.2	Rechenmodell	10
6.4	Untersuchungsgebiet	12
6.5	Ergebnisse	13
7	Meteorologische Auswirkungen	18
7.1	Lufttemperatur	18
7.2	Luftfeuchte	19
7.3	Nebel	20
7.4	Tau, Reif, Glatteis	21
7.5	Niederschlag	22
7.6	Bewölkung	23
8	Zusammenfassung	24
	Literatur	26
Anhang 1	Eingangsdaten Zellenkühler	27
Anhang 2	Eingangsdaten Meteorologie	28
	Windverhältnisse	28
	Temperatur- und Feuchteverhältnisse	29
	Sonnenscheindauer	30
	Solare Einstrahlung	31

1 Situation und Aufgabenstellung

Die iqony GmbH plant den Neubau einer Gas- und Dampfturbinenanlage (im Folgenden auch als GuD-Anlage bezeichnet) am Kraftwerksstandort Bergkamen durch. Die GuD-Anlage besteht im Wesentlichen aus einer Gasturbine, einem Abhitzedampferzeuger zur Erzeugung von Dampf aus dem Abgas der Gasturbine und einer Dampfturbine. Die Anlage dient zur reinen Stromerzeugung und hat eine jährliche Betriebszeit von 4.000 h/a.

Die anfallende Abwärme des GuD-Kraftwerks soll über zwölf baugleiche Zellenkühler abgeleitet werden.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens werden die Auswirkungen des Vorhabens auf die lokalklimatischen Verhältnisse betrachtet.

Besonderes Augenmerk gilt bei der Betrachtung lokalklimatischer Auswirkungen der Verschattung. Eine zusätzliche Verschattungswirkung durch das Vorhaben kann durch die vorgesehenen Gebäude und durch eine Wasserdampfschwaden-Bildung der Abluft aus den geplanten Zellenkühlern verursacht werden.

Ergänzend wird in diesem Bericht auf Punkte wie Nebel-, Reif- und Eisbildung durch den Wasserdampfeintrag und durch Tröpfchenauswurf eingegangen.

2 Vorgehensweise

Die Auswirkungen auf die Verschattung werden explizit modelliert, so dass flächendeckende Informationen ausgewiesen werden können. Dabei werden die Zellenkühler und die größeren, für die Schattenbildung relevanten Bauwerke berücksichtigt. Für jede Stunde eines zehnjährigen Zeitraums wird der sichtbare Teil der Abluffahnen aus den Zellenkühlern auf Basis der meteorologischen Verhältnisse modelliert. Die Verschattungs-/Besonnungszeiten errechnen sich, indem geprüft wird, ob die Sonnenbahn während der jeweils betrachteten Stunde vom Schwaden abgedeckt wird. Für die Verschattungsanalyse werden nur die Tagstunden mit tatsächlich registrierter Sonnenscheindauer (keine vollständige Bedeckung des Himmels durch natürliche Bewölkung) betrachtet.

3 Beurteilungsgrundlagen

Rechtlich festgelegte Beurteilungsgrundlagen für Wasser- und Wasserdampfemissionen liegen nicht vor. Dies gilt auch für die Nebel-, Reif- und Eisbildung sowie Verschattung und Strahlungsminderung durch Wasserdampfschwaden aus Kühltürmen.

Gebäude und sichtbare Schwaden reduzieren die Anzahl der Sonnenscheinstunden örtlich je nach den Wetterbedingungen. Als Grundlage zur Einordnung der zusätzlichen Verschattung wird die Verschattungszeit dargestellt und in Relation zur natürlichen Variation gesetzt. Diese liegt für die Anzahl der Sonnenscheinstunden im Bereich bis über 20% (siehe Anhang 2 - Sonnenscheindauer).

4 Standort und örtliche Gegebenheiten

Die geplante GuD-Anlage der iqony GmbH wird östlich des bestehenden Steinkohlekraftwerks der STEAG Power GmbH am Kraftwerksstandort Bergkamen errichtet.

Die Lage des Vorhabenstandorts innerhalb des Gebiets der Stadt Bergkamen und die im Umfeld gelegenen Städte und Gemeinden sind aus Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zu ersehen, Abbildung 4-3 zeigt die vorgesehene Anordnungsplanung des GuD-Kraftwerkes.

Nördlich des geplanten Standorts in einer Entfernung von ca. 200 m von den geplanten Zellenkühlern befindet sich die Ökologiestation des Kreises Unna. Die nächstgelegene Wohnbebauung in Landwehr ist mit etwa 900 m weiter entfernt. Im Norden liegt in einem Abstand von ebenfalls ca. 200 m von den Zellenkühlern die L736. Die Umgebung wird größtenteils landwirtschaftlich genutzt.

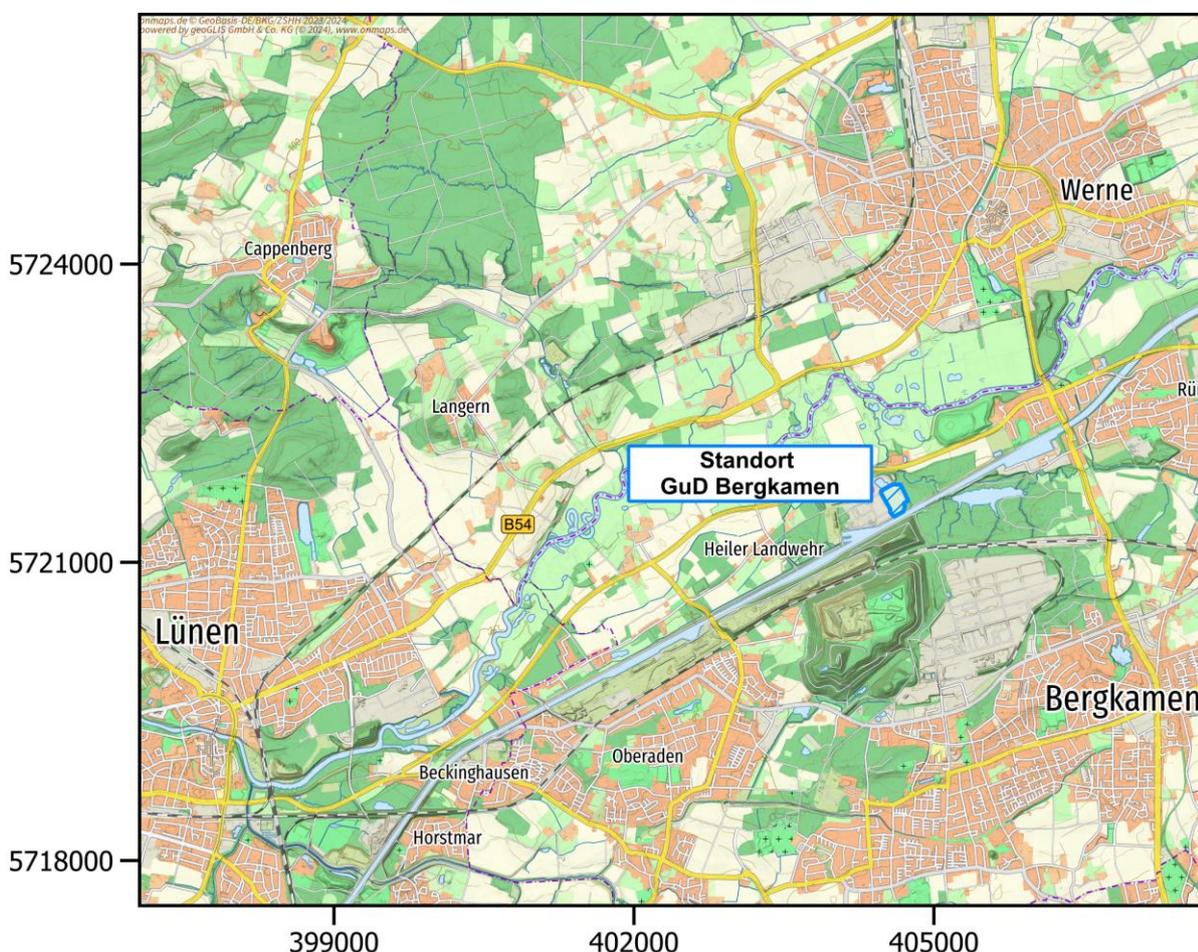


Abbildung 4-1: Städte und Gemeinden im Umfeld des Kraftwerkstandorts (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

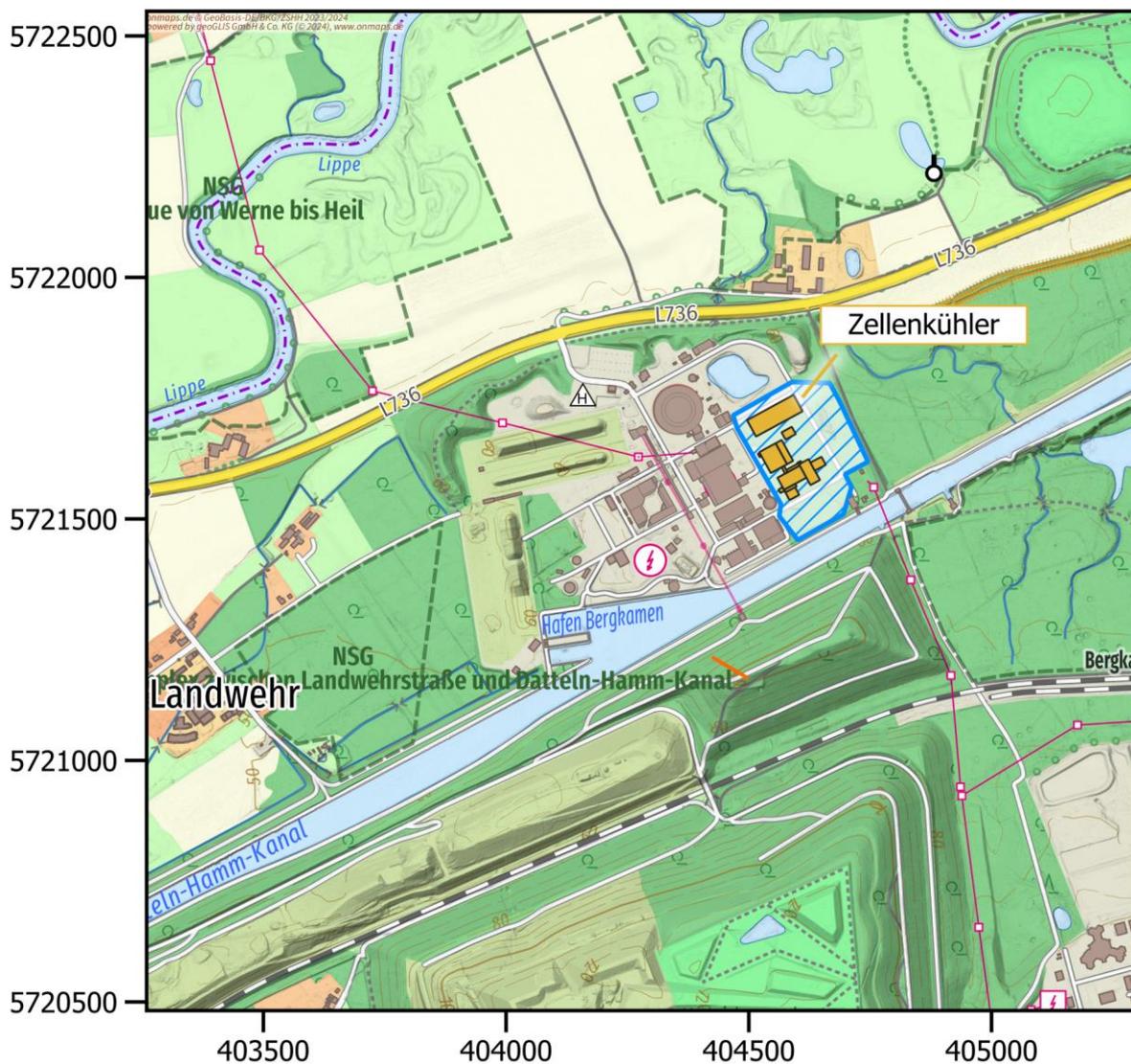


Abbildung 4-2: Nähere Umgebung der geplanten GuD-Anlage (Gelb) und der Standort der Zellenkühler auf dem Betriebsgelände. (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

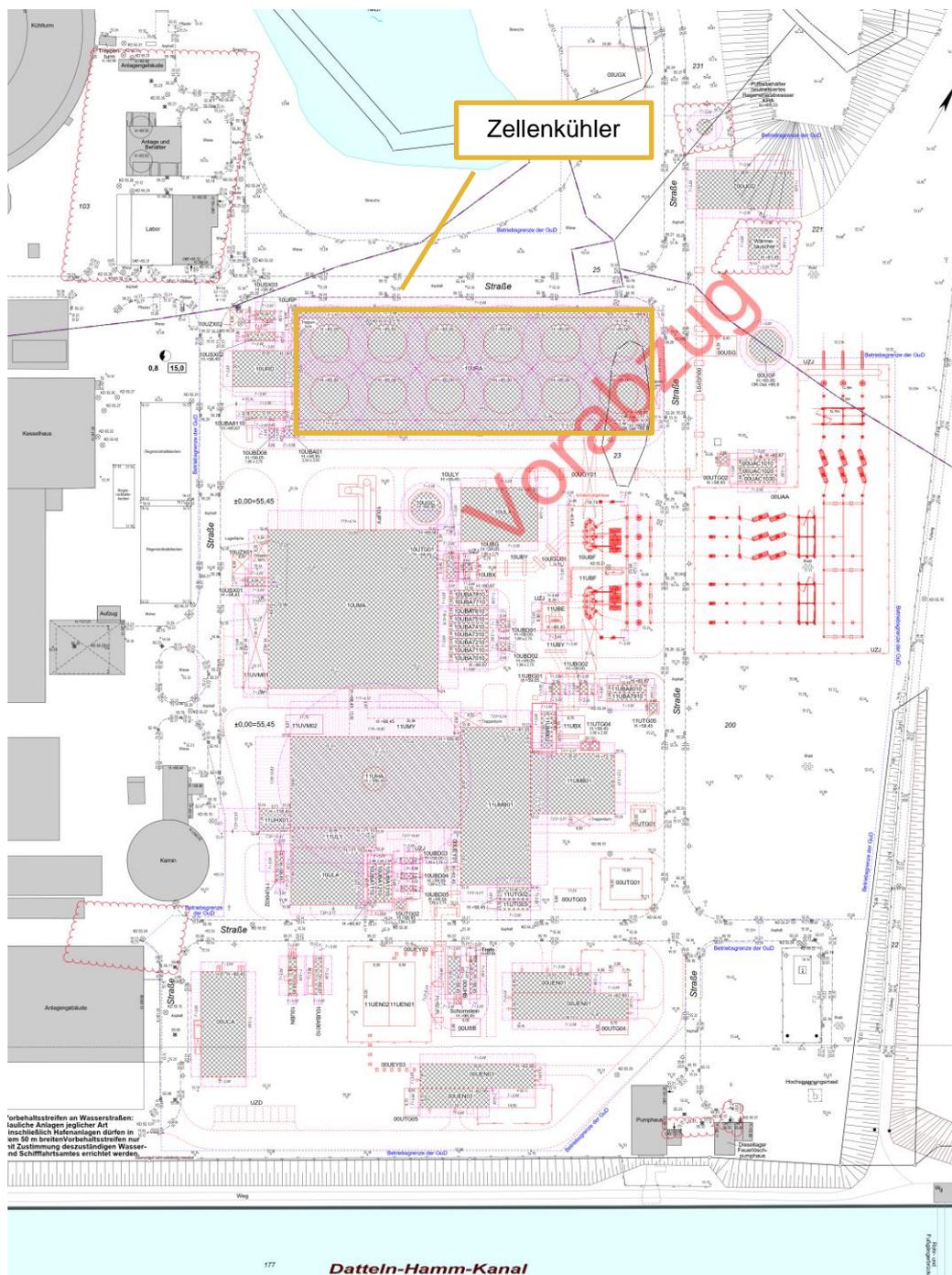


Abbildung 4-3: Lageplan (Quelle: iqony GmbH) der geplanten GuD-Anlage (Stand 12.08.2024). Links Gebäude des bestehenden Steinkohlekraftwerks der STEAG Power GmbH.

5 Beschreibung des betrachteten Falles

Die maximalen Betriebsstunden pro Jahr betragen 4.000 h (ca. 45 % der Jahresstunden). Als Betriebszustand wurde ein ganzjähriger Volllastbetrieb aller Zellenkühler der GuD-Anlage zugrunde gelegt. Damit werden alle meteorologischen Situationen, die im Jahresverlauf auftreten können, berücksichtigt. Durch die real geringere Anzahl der Betriebsstunden ist auch die zusätzliche Verschattung mit hoher Wahrscheinlichkeit geringer als die hier berechnete.

Große Gebäude der geplanten GuD-Anlage wurden bei der Verschattungsberechnung berücksichtigt (Abbildung 5-1). Die technischen Daten der betrachteten Zellenkühler sind in Anhang 1 dokumentiert.

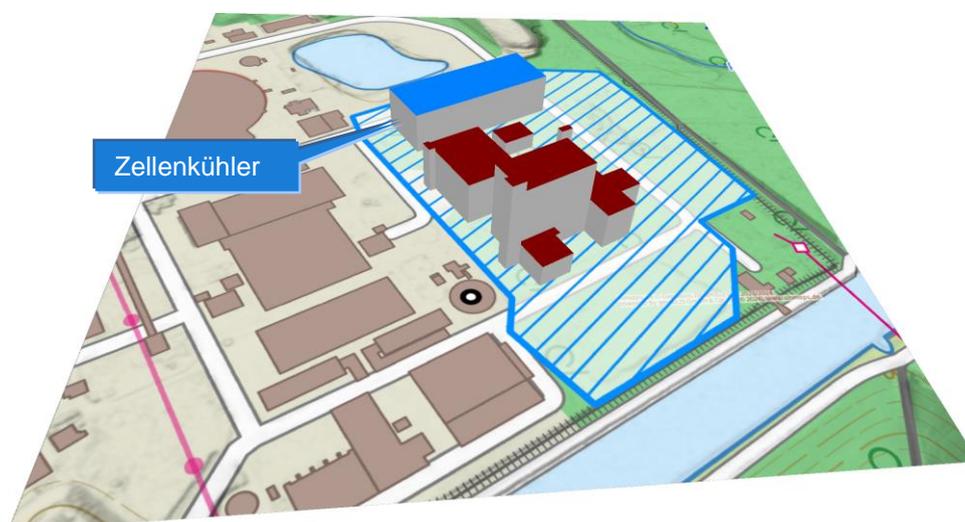


Abbildung 5-1: Schematisierte Darstellung der bei der Verschattungsberechnung berücksichtigten Bauwerke der geplanten GuD-Anlage.

6 Verschattungsanalyse

Die Bebauung sowie die Zellenkühler-Schwaden werfen bei Sonnenschein einen Schatten. Dieser wandert mit dem Sonnenstand, wobei der Sonnenstand jahres- und tageszeitliche Änderungen aufweist. Die Ausbildung des Schwadens selbst hängt von einer Vielzahl meteorologischer Parameter ab. So sind bei kühlem und feuchtem Wetter häufig längere Schwaden anzutreffen, während sich der Schwaden bei trockenen und warmen Bedingungen bereits kurz hinter der Kühlermündung auflöst. Bei geringen Windgeschwindigkeiten steigt der Schwaden steil auf, bei hohen Windgeschwindigkeiten erfolgt der Aufstieg sehr viel flacher.

Um bei diesen komplexen Wechselwirkungen eine quantitative Abschätzung des Planfalls zu erhalten, wurden flächendeckende numerische Berechnungen der Schwadenbildung, der Verschattung sowie der Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt durchgeführt.

6.1 Methodik

Die Sonnenstrahlung ist von der geographischen Breite, der Höhe über dem Meeresspiegel, der Orientierung und Neigung der betrachteten Oberfläche, dem Bedeckungsgrad und der Trübung der Atmosphäre abhängig. Hindernisse (z.B. Topographie, Gebäude, Wolken) führen zu einer Einschränkung des sichtbaren Himmelsgewölbes. Wenn die Sonnenscheibe selbst verdeckt wird (Verschattung), entfällt der Anteil der direkten Sonnenstrahlung.

Gebäude stellen zeitlich unveränderliche Silhouetten dar. Ihre Horizonteinschränkung ist konstant, d.h. sie werfen bei gleichen Sonnenständen immer den gleichen Schatten.

Im vorliegenden Fall sind zudem sichtbare Wasserdampfschwaden zu berücksichtigen, deren Lage und Ausdehnung nicht nur von den Wasserdampf-Emissionen der Zellenkühler, sondern auch von den folgenden meteorologischen Parametern der Umgebungsluft abhängt:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung

Temperatur und Feuchte bestimmen dabei das Sättigungsdefizit der Umgebungsluft. Bei vorhandenem Defizit trocknet ein Schwaden mit kondensierten Tröpfchen nach und nach ab und wird somit unsichtbar, d.h. er löst sich optisch auf.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit bestimmen die Lage des Schwadens.

Aufgrund der großen zeitlichen Variabilität der einzelnen Größen ist eine Abschätzung oder Pauschalierung des Schwadens nicht möglich. Es wurden daher stundenfeine, computergestützte Berechnungen der Schwaden und der durch sie bedingten Verschattung durchgeführt. Die Schwaden werden dabei als lichtundurchlässig betrachtet. Dies ist ein sehr konservativer Ansatz, da bei hochstehender Sonne noch bis ca. 40% der direkten Sonnenstrahlung durch den Schwaden hindurch dringt.

Um die durch die Gebäude und die Schwaden verursachte Verschattung zu berechnen, wurde das Modellsystem SUN verwendet, das auf der Basis der VDI-Richtlinie 3789, Blatt 2 (1994) die relevanten Größen für vorgegebene Aufpunkte berechnet.

Die Berechnung des Achsenverlaufs und der Ausdehnung des sichtbaren Schwadens erfolgt für die Zellenkühler mit dem Modell PLURIS (Janicke & Janicke (2001)) in der Umsetzung IBJpluris (Ingenieurbüro Janicke (2021)) für alle Tagstunden mit Sonnenschein (gemessene Sonnenscheindauer > 0). Das Modell PLURIS wurde durch Wassertank-, Windkanal- und Feldexperimente (Schornsteine und Kühltürme) validiert und ist Bestandteil der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 3 (2019) zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung. Das Modell PLURIS berechnet z.B. auch die Abgasfahnenüberhöhung im Ausbreitungsmodell nach Anhang 2, Nr. 7 der TA Luft (2021). Eine Modellsimulation liefert die Lage der Fahnenachse und den Radius des sichtbaren Teils des Schwadens bei einer vorgegebenen meteorologischen Situation.

Die Verschattungs-/Besonnungszeiten errechnen sich, indem geprüft wird, ob die Sonnenbahn während der jeweils betrachteten Stunde vom Schwaden oder von Gebäuden abgedeckt wird. Hierbei werden alle astronomischen und geometrischen Bedingungen berücksichtigt.

6.2 Eingangsdaten

Zur Berechnung der Schwaden werden die technischen Eingangsdaten der Zellenkühler (Anhang 1) verwendet. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurde ein ganzjähriger, durchgehender Volllastbetrieb angenommen, der alle meteorologischen Situationen berücksichtigt.

In die Berechnungen fließen ferner folgende meteorologische Daten ein:

- Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung aus den HOSTRADA Datensatz (DWD (2024a)),
- die Vertikalprofile meteorologischer Größen aus den Re-Analysedaten des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Copernicus Climate Change Service (2018)), sowie ergänzend
- die Zeitreihe der Sonnenscheindauer der DWD-Station Werl.

Die meteorologischen Parameter sind in Anhang 2 dokumentiert. Die Berechnungen wurden für den Zeitraum 2010 bis 2019 vorgenommen. Aufgrund der Dauer von 10 Jahren und des gewählten Zeitraums sind eine zeitliche Repräsentanz und die Aktualität des Datensatzes gegeben.

In die Verschattungsanalyse gehen ferner die geographische Breite und Länge des Standorts ein.

6.3 Schwadenberechnung

6.3.1 Schwadenarten

Folgende Schwadenarten lassen sich unterscheiden:

- **Nicht sichtbare Schwaden**

Jede Art von Wasserdampfemission führt zu einer Art Schwaden, der solange unsichtbar bleibt, solange die Sättigung, d.h. das Aufnahmevermögen der Luft für gasförmiges Wasser, noch

nicht erreicht ist. Nicht sichtbare Schwaden sind vergleichbar mit lokal begrenzten Schwankungen der Luftfeuchte. Ihre Wirkung auf das einfallende Licht unterscheidet sich nicht von der Wirkung feuchter, aber wolkenfreier Luftmassen bei maritim geprägten Wetterlagen. Deshalb liegen hier keine relevanten Einflüsse auf die Sonnenscheindauer vor.

- **Sichtbare Schwaden**

Ist die Luft im Schwaden mit Wasserdampf gesättigt, beginnt bei weiterer Zufuhr von Wasserdampf bzw. bei Abkühlung des Schwadens die Kondensation kleinster Tropfen, die aufgrund ihrer Anzahl je Volumen und wegen ihrer optischen Eigenschaften den Schwaden sichtbar machen.

- **Schwaden aus Zellenkühlern und Auflösung der Schwaden**

Zellenkühler emittieren i.A. sichtbare Schwaden, deren Volumen, Aufstiegshöhe und Länge von den meteorologischen Umgebungsbedingungen bestimmt werden. Der im Schwaden enthaltene Wasserdampf vermischt sich entlang des Transportwegs mit der Umgebungsluft. Dadurch trocknen die im sichtbaren Schwaden enthaltenen Tröpfchen ab. Hierdurch löst sich der sichtbare Schwaden - in Abhängigkeit von den meteorologischen Umgebungsbedingungen – kraftwerksnäher oder kraftwerksferner auf und ist nicht mehr sichtbar.

- **Sekundärschwaden**

Sekundärschwaden können bei geringem Wind über dem Kraftwerk oder maximal in wenigen Kilometern Entfernung und meist in größerer Höhe auftreten. Auch wenn der Schwaden zunächst nicht sichtbar ist, entweder seit der Mündung oder nachdem er abgetrocknet ist, kann er je nach meteorologischen Umgebungsbedingungen in Bereiche gelangen, in denen kein Sättigungsdefizit vorhanden ist. Die dort auftretende Kondensation und Tropfenbildung kann wolkenähnliche Strukturen bilden. Da der Strahlcharakter des Schwadens dann weitgehend abgeklungen ist, nennt man diese Ansammlung von Kondensationstropfen „Sekundärschwaden“. Diese Art Schwaden wird in der Literatur im Regelfall den hohen Naturzug-Nasskühltürmen zugeschrieben, sein Auftreten ist bei Zellenkühlern hingegen kaum zu erwarten.

6.3.2 Rechenmodell

Das Modell berechnet, abhängig von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, atmosphärischer Schichtung, Lufttemperatur, Luftfeuchte sowie den Emissionsdaten (Austrittstemperatur, Austrittsfeuchte, Austrittsgeschwindigkeit, Mündungsdurchmesser, Mündungshöhe) die Form des sichtbaren Wasserdampfschwadens.

In der Zeitreihe werden die zu untersuchenden Termine zwischen astronomischem Sonnenaufgang und Sonnenuntergang identifiziert. Schließt man die Stunden, in denen kein Schattenwurf stattfinden kann (Nachtstunden und Stunden ohne Sonnenschein aufgrund von Wolkenbedeckung) aus, so verbleiben im untersuchten 10-jährigen Zeitraum 27 161 zu betrachtende Stunden. Die Verteilung auf die einzelnen Monate ist in Tab. 6-1 aufgeführt. Aufgrund der größeren Tageslänge im Sommer und dem geringeren Anteil an Stunden mit vollständig bedecktem Himmel gehen in den Sommermonaten mehr Stunden in die Schwadenberechnung ein.

Tab. 6-1: Anteil der untersuchten Stunden/Monat bzw. Zahl der untersuchten Tagesstunden.

Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2010	66	76	203	328	227	393	389	283	209	184	52	66	2476
2011	97	109	243	316	384	372	264	353	261	234	181	63	2877
2012	101	125	207	250	336	285	341	353	247	209	107	113	2674
2013	42	77	181	248	260	308	372	352	206	198	83	110	2437
2014	140	181	261	248	291	362	337	328	222	198	146	45	2759
2015	85	167	202	312	345	359	366	325	258	162	129	134	2844
2016	95	138	180	311	336	305	354	323	307	158	123	121	2751
2017	141	124	227	286	331	351	324	292	237	184	97	43	2637
2018	79	198	201	311	382	325	409	344	278	216	142	74	2959
2019	81	179	190	280	277	410	342	345	248	193	106	96	2747
Mittel	93	137	210	289	317	347	350	330	247	194	117	87	2716

Für die in Tab. 6-1 genannten und für die Verschattungsbewertung relevanten Stunden wird die Bildung sichtbarer Schwaden aus den Zellenkühlern der geplanten GuD-Anlage simuliert. Die 12 Zellenkühler liegen in einer Doppel-Reihe, so dass sich die Kühlerfahnen je nach Windrichtung und Entfernung überlappen können. Für die Berechnung wurde eine vollständige Vermischung angenommen. Dazu werden die 12 Zellenkühler als ein effektiver Gesamtkühler mit 12-facher Austrittsfläche und gleichen Austrittsparametern (Temperatur, Geschwindigkeit, Feuchte) wie ein Einzel-Kühler behandelt. Dies führt zu einer verstärkten Sichtbarkeit im Vergleich zu separat berechneten Einzelfahnen, da die breitere Gesamtfahne während des Transportes nicht so schnell mit der wasserdampf-ärmeren Umgebungsluft verdünnt wird.

Durch die zeitliche Variabilität der meteorologischen Eingangsdaten ergibt sich für nahezu jede Stunde ein anders geformter Schwaden. In den Sommermonaten (Juni bis August) findet man häufig kurze Schwaden. Längere Schwaden erscheinen vor allem in den kühlen Morgenstunden. In den Wintermonaten (Dezember bis Februar) wird eine erhöhte Zahl von langen Schwaden vom Rechenmodell ausgewiesen.

Der Übergang zur realen Schattenhäufigkeit erfolgt durch Einbindung der realen Sonnenscheindauer. Schattenbildung durch Gebäude oder Schwaden kann es nur bei Sonne geben. Ist der Himmel mit natürlicher Bewölkung bedeckt, wird kein Schatten berechnet.

In die Verschattungsberechnung gehen nur die Gebäude der GuD-Anlage und der Schattenwurf durch die entstehenden sichtbaren Wasserdampf-Schwaden ein. Bestehende Gebäude, Vegetation oder die Topographie wurden nicht berücksichtigt. Dies stellte eine konservative Betrachtung dar, da ein zu einem Zeitpunkt durch ein bestehendes Objekt verschatteter Ort nicht stärker betroffen wird, wenn nun ein zweites Objekt (geplantes Kraftwerk) hier zum gleichen Zeitpunkt die Sonne abschirmt.

6.4 Untersuchungsgebiet

Das für die Verschattungsanalyse herangezogene Untersuchungsgebiet erstreckt sich über 6 km x 5 km um den Standort mit einer räumlichen Auflösung von 20 m (Abbildung 6-1).

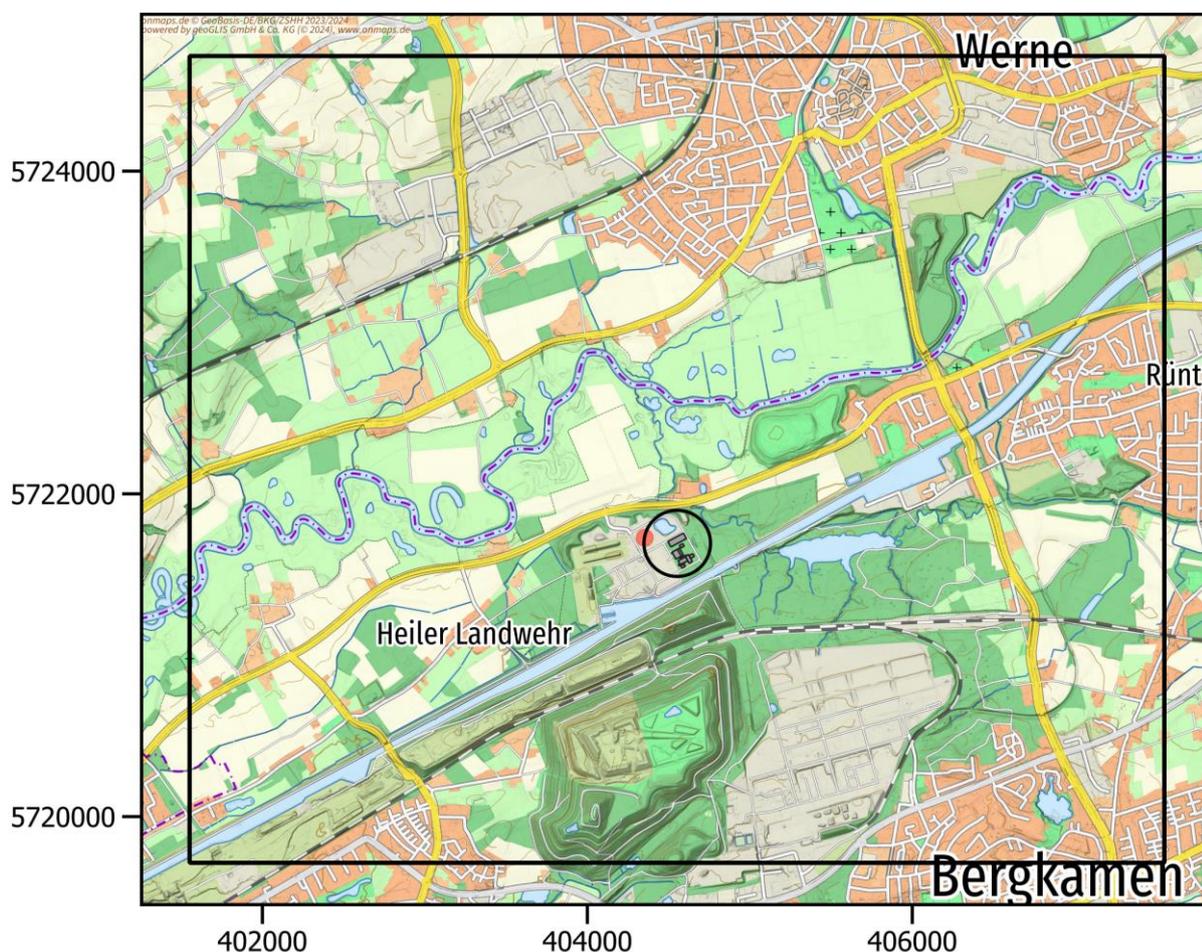


Abbildung 6-1: Untersuchungsgebiet (schwarzes Rechteck) mit dem Standort der geplanten GuD-Anlage Bergkamen (schwarzer Kreis). Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024.

Zur Berechnung wird an jedem Gitterpunkt des Untersuchungsgebietes für jede Stunde des Jahres aufgezeichnet, ob und wenn ja, wie lange die Sonne vom jeweiligen Schwaden bzw. durch Gebäude verdeckt wird.

6.5 Ergebnisse

Die in den folgenden Abbildungen farblich dargestellten Isolinien zeigt die durchschnittliche Veränderung der Sonnenscheindauer durch die Verschattung der Gebäude der GuD-Anlage (Abbildung 6-2) und die zusätzliche Verschattung durch die Schwaden der Zellenkühler (Abbildung 6-3).

Die Verschattung durch sichtbare Schwaden aus den Zellenkühlern und durch Bauwerke der GuD-Anlage wird auf die durchschnittliche Jahressumme der Sonnenscheindauer im Zeitraum 2010 bis 2019 bezogen. Die berücksichtigten Bauwerke der geplanten GuD-Anlage sind in den Ergebniskarten als graue Flächen dargestellt.

Im direkten Umfeld der GuD-Anlage kommt es anlagennah zu einer Zunahme der Verschattung, vor allem bedingt durch den Einfluss der Gebäude (Abbildung 6-2). Hiervon sind primär das Betriebsgelände der GuD-Anlage selbst, das Kraftwerksgelände im Westen sowie unmittelbar benachbarte Flächen im Osten betroffen.

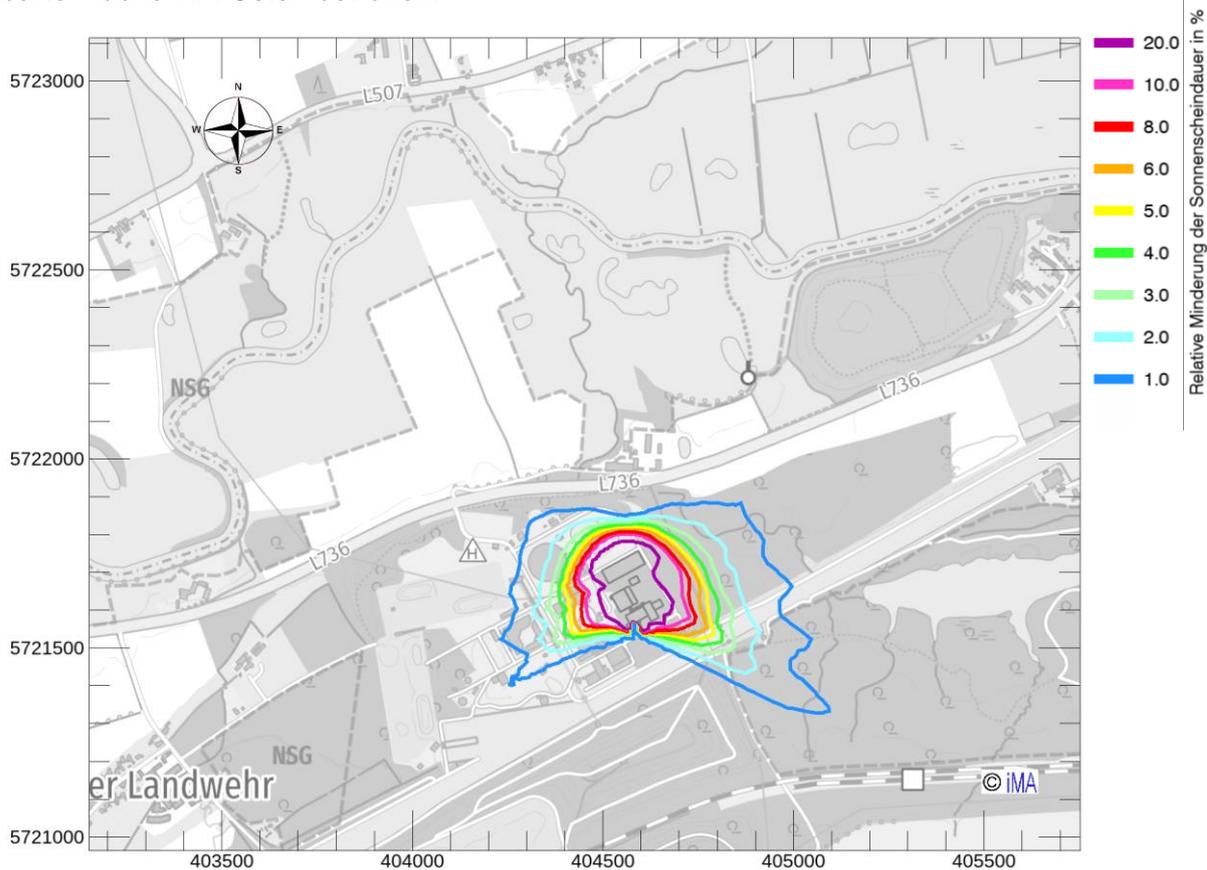


Abbildung 6-2: Durchschnittliche Minderung der jährlichen Sonnenscheindauer bezogen auf die mittlere Sonnenscheindauer im Zeitraum 2010 bis 2019, bedingt durch **Verschattung verursacht durch die geplanten Gebäude der GuD-Anlage** (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

Die Reichweite der zu erwartenden Verschattung durch die Wasserdampfschwaden der Zellenkühler ist größer (Abbildung 6-3). Dabei ist die Fernwirkung Richtung Westen größer als Richtung Osten. Eine Ursache hierfür liegt in den im Mittel niedrigeren Temperaturen und entsprechend höheren relativen Feuchten am Morgen. Vorzugsweise in den Morgenstunden bilden sich so längere Schwaden aus. Dadurch führt die im Osten aufgehende und damit tiefstehende Sonne zu Verschattungen durch den Schwaden vor allem im Westen. Die nordöstlich gelegenen Bereiche sind dagegen aufgrund des hohen Sonnenstands (geringere Länge der Schatten) und der im Mittel trockeneren Luft über die Nachmittagsstunden weniger betroffen. Direkt südlich der geplanten Anlage sind Verschattungen durch die Kühlturmschwaden nur sehr selten zu erwarten.

Im vorliegenden Fall sinkt die zu erwartende Zunahme der Verschattung bereits nach etwa 200 Metern unter 5 % durchschnittliche Jahressumme der Sonnenscheindauer ab. Betroffen ist vor allem das Anlagen- und Kraftwerksgelände.

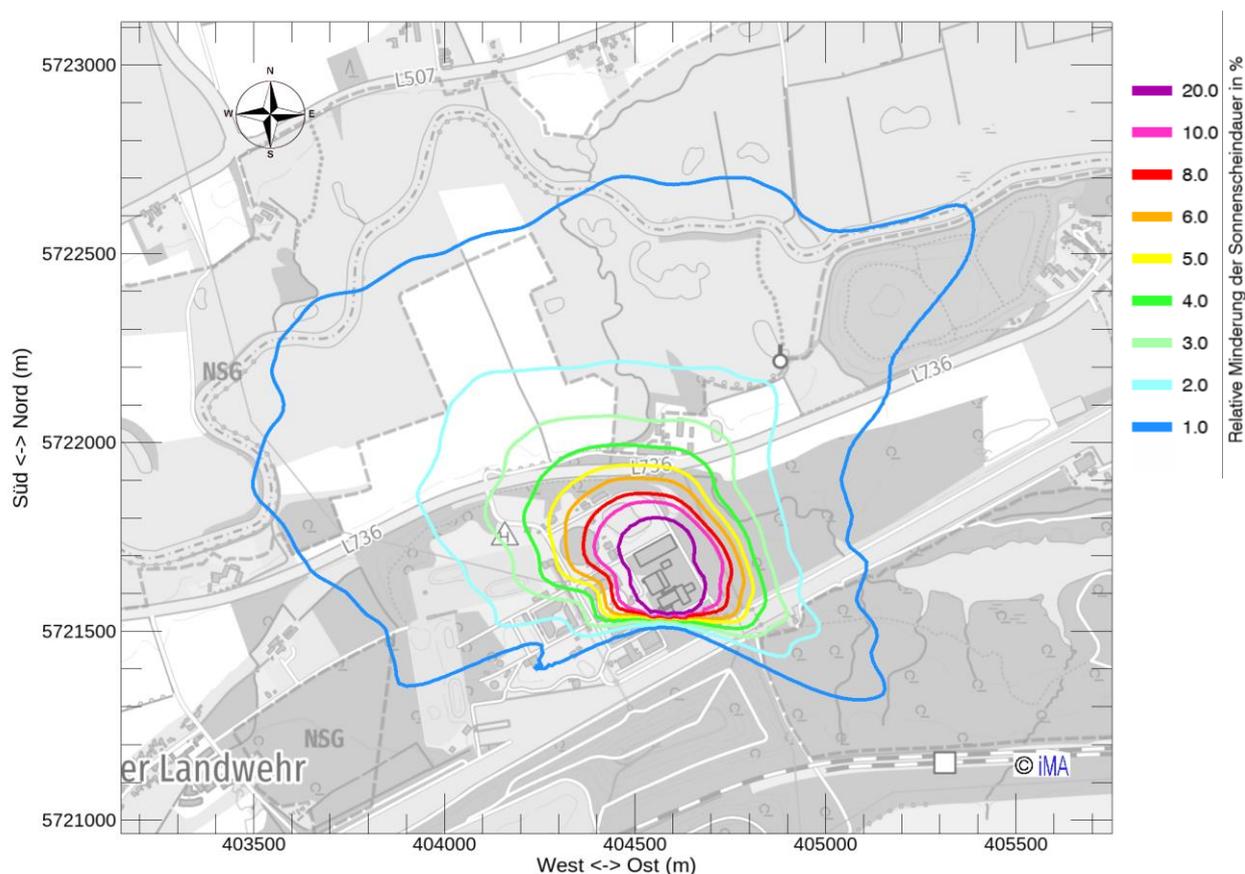


Abbildung 6-3: Durchschnittliche Minderung der jährlichen Sonnenscheindauer bezogen auf die mittlere Sonnenscheindauer im Zeitraum 2010 bis 2019, bedingt durch **Verschattung verursacht durch die Gebäude der GuD-Anlage und Schwaden der geplanten Zellenkühler** (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

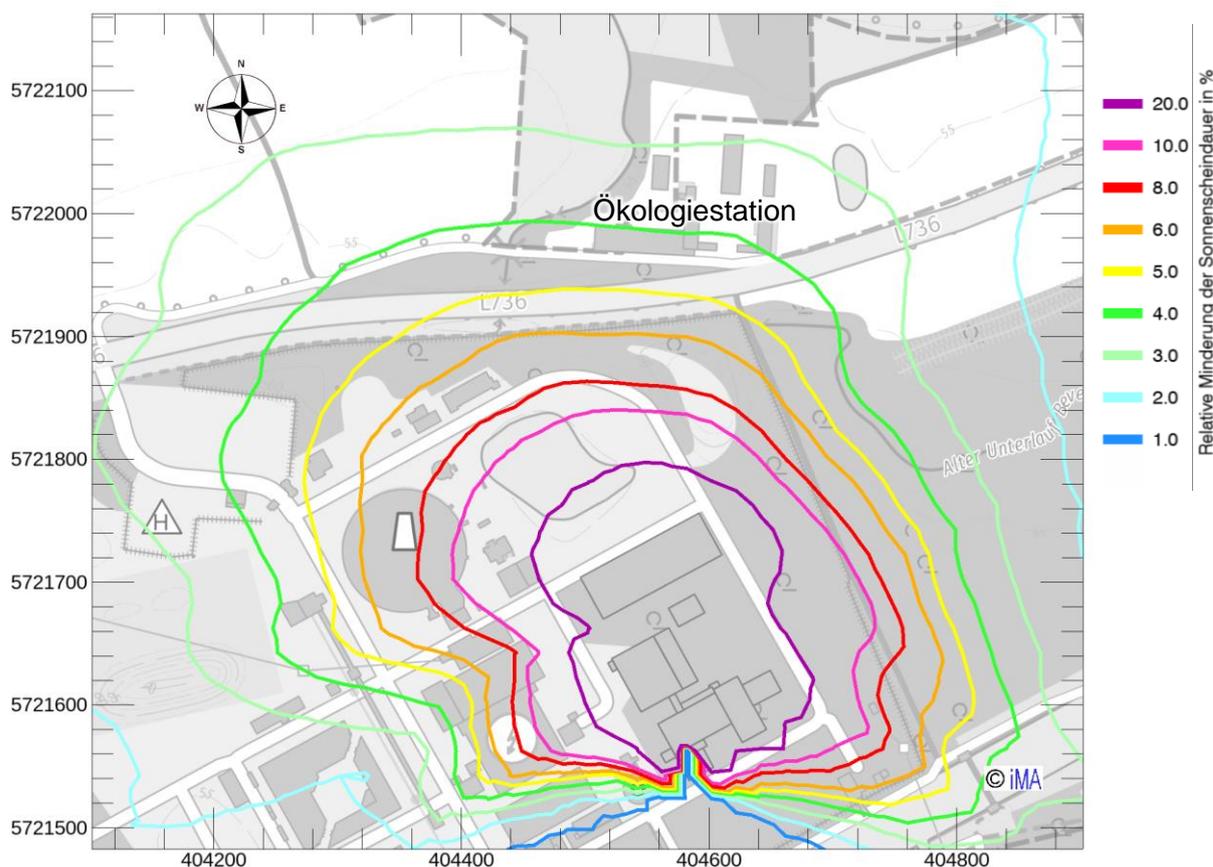


Abbildung 6-4: Durchschnittliche Minderung der jährlichen Sonnenscheindauer bezogen auf die mittlere Sonnenscheindauer im Zeitraum 2010 bis 2019 im **Nahbereich** um die geplante GuD-Anlage, bedingt durch **Verschattung verursacht durch die Gebäude der GuD-Anlage und Schwaden der geplanten Zellenkühler** (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

Mit zunehmender Entfernung nimmt die Auswirkung der Schwaden schnell ab. In den Bereichen mit Wohnbebauung im weiteren Umfeld der Anlage liegt die berechnete mittlere Abnahme der Sonnenscheindauer bei unter 1 Prozent. Nördlich der L736 liegt die Ökologiestation des Kreises Unna. Dort wird eine mittlere Minderung der Sonnenscheindauer von 3 % bis 4 % berechnet (Abbildung 6-4).

Die mittlere natürliche Variation der letzten Jahre für die Anzahl der Sonnenscheinstunden liegt im Bereich von $\pm 11\%$ um den Mittelwert, Einzeljahre weichen auch schon einmal um -11% bzw. $+24\%$ ab (siehe Anhang 2). Die natürliche Schwankungsbreite ist damit deutlich größer als die vorhabensbedingte Änderung. Eine Veränderung der Verschattung bzw. der jährlichen Sonnenscheinstunden von wenigen Prozent liegt auch in der Größenordnung der Variation durch jahreszeitliche Änderung der Belaubung von Bäumen. Auch ein kleinräumiger Ortswechsel verursacht bereits größere Veränderungen.

Bei der Minderung der solaren Einstrahlung zeigen sich die gleichen Effekte wie bei der Verschattung. Dadurch beschränkt sich die Minderung im Wesentlichen auf die nördliche Umgebung des Kraftwerks (Abbildung 6-5). Die relative Minderung der direkten solaren Einstrahlung fällt aber geringer aus als die der Sonnenscheindauer. Dies liegt unter anderem daran, dass wie oben ausgeführt in den Mittagsstunden oft kleinere Schwaden vorliegen. Da in dieser Zeit die größte Einstrahlung auftritt, fällt die relative Minderung auf den Tag bezogen geringer aus als bei der Sonnenscheindauer.

In den Bereichen mit Wohnbebauung im weiteren Umfeld der Anlage liegt die berechnete mittlere Abnahme der solaren Strahlung (Globalstrahlung) bei unter 1 Prozent. An der Ökologiestation des Kreises Unna wird eine mittlere Minderung der Globalstrahlung von 2 % bis 3 % berechnet (Abbildung 6-6). Im Vergleich mit der natürlichen Variation liegt auch hier die Auswirkung des Vorhabens unter der natürlichen Schwankungsbreite von $\pm 5\%$ (Einzeljahre -5% bzw. $+11\%$, siehe Anhang 2).

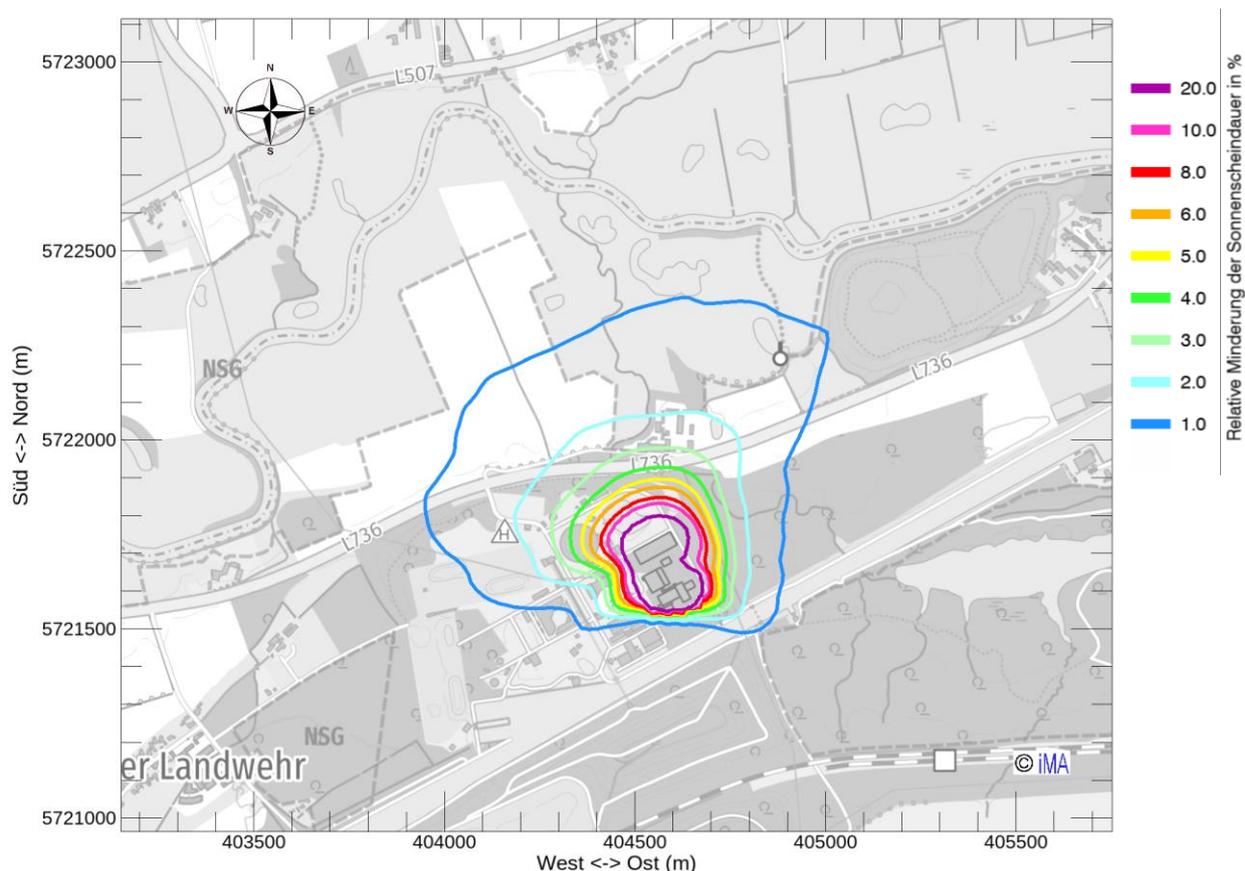


Abbildung 6-5: **Durchschnittliche Minderung der jährlichen solaren Einstrahlung (Globalstrahlung) bezogen auf die mittleren Verhältnisse im Zeitraum 2010 bis 2019, bedingt durch Verschattung verursacht durch die Gebäude der GuD-Anlage und Schwaden der geplanten Zellenkühler** (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

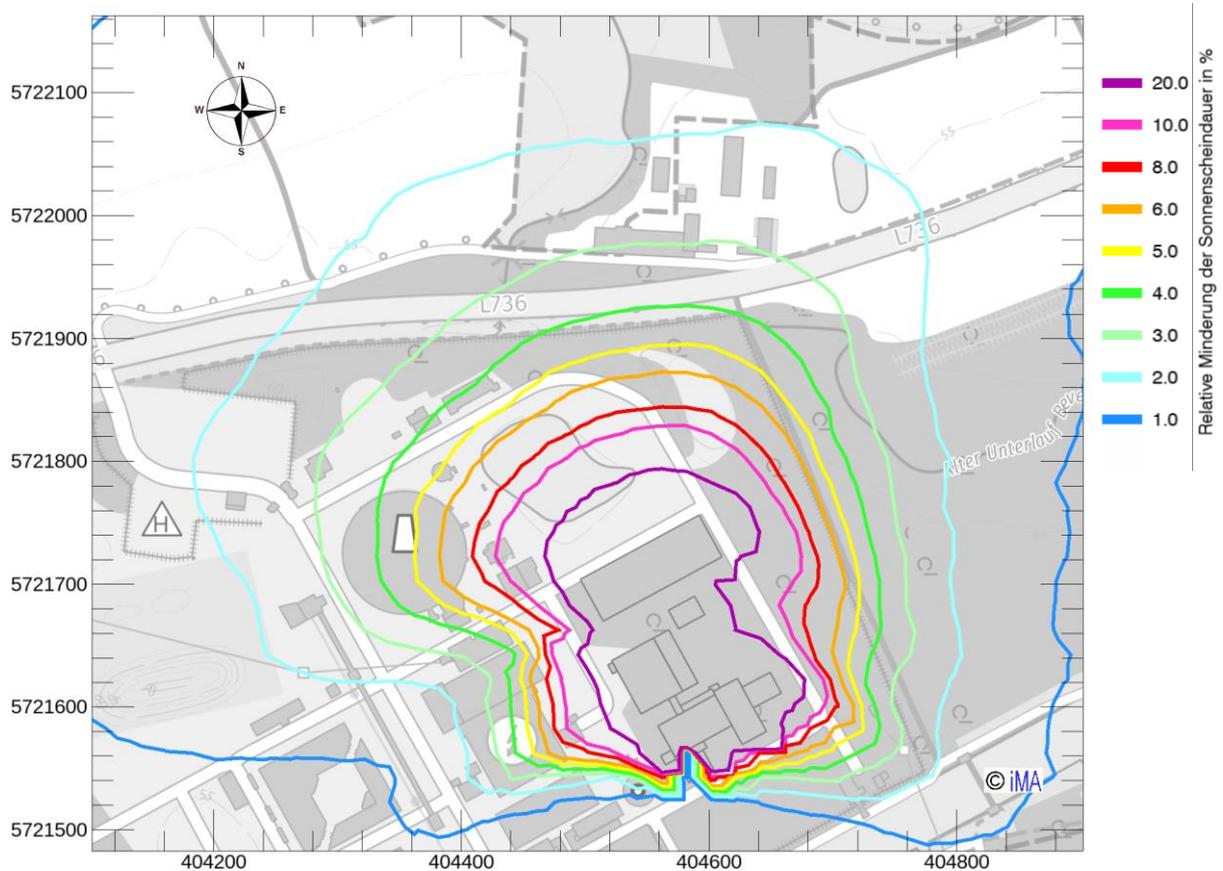


Abbildung 6-6: Durchschnittliche **Minderung der jährlichen solaren Einstrahlung** (Globalstrahlung) bezogen auf die mittleren Verhältnisse im Zeitraum 2010 bis 2019 im **Nahbereich** um die geplante GuD-Anlage, bedingt durch Verschattung **verursacht durch die Gebäude der GuD-Anlage und Schwaden der geplanten Zellenkühler** (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

7 Meteorologische Auswirkungen

Die Emission von erwärmter Luft, Wasserdampf und Wassertröpfchen hat einen lokal begrenzten Einfluss auf die meteorologischen Verhältnisse. So werden die thermischen, hygrischen¹ und aktinischen² Bedingungen im Bereich eines Schwadens aus den Zellenkühlern geändert.

Meteorologische Auswirkungen auf die bodennahe Luft können hauptsächlich durch den Einfluss des Schwadens auf den Strahlungshaushalt am Boden verursacht werden. In Einzelfällen kann es, abhängig von den meteorologischen Bedingungen, auch zu direkten Einwirkungen des Schwadens am Boden kommen.

Bei Schikarski, Beck, & Deutschland (1983) und der VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986) sind die Erkenntnisse zusammengestellt, auf die im Folgenden Bezug genommen wird.

7.1 Lufttemperatur

Am Zellenkühler-Austritt ist die Temperatur des Schwadens gegenüber der Umgebungsluft zumeist noch deutlich erhöht. Sie liegt, in Abhängigkeit von den Eigenschaften der einströmenden Luft und der Jahreszeit, meist sogar deutlich über der Umgebungstemperatur. Infolge der Einmischung von Umgebungsluft nimmt die Temperatur im Schwaden ab, so dass in Abhängigkeit von den Windverhältnissen nach einigen hundert Metern die Temperaturerhöhung auf der Schwadenachse weniger als 1 K beträgt.

Eine Veränderung der Lufttemperatur in Bodennähe kann durch den Zellenkühler-Betrieb auf folgende Weisen verursacht werden

- Eine Erwärmung kann sich durch turbulenten Transport von erwärmter Luft aus dem Schwaden (Herabmischen durch intensive Vertikalbewegungen, hauptsächlich bei labilen thermischen Schichtungen) sowie durch langwellige Wärmestrahlung des Schwadens ergeben.
- Eine Abkühlung kann aufgrund von Verschattungen durch den Schwaden oder durch das Verdunsten ausgeworfener Tröpfchen bewirkt werden.

In Abhängigkeit dieser verschiedenen Effekte kann es in Bodennähe vorübergehend zu geringen Erhöhungen oder Verminderungen der Lufttemperatur kommen, die in Einzelfällen bis etwa 1 K betragen können. Dieser Wert liegt weit unter dem Tagesgang der Temperatur, der im Sommer leicht 20 K, selbst im Winter oft noch 5 K und mehr beträgt. Ein Einfluss auf langzeitige Mittelwerte ist aufgrund der wechselnden abkühlenden und erwärmenden Effekte sowie der räumlichen und zeitlichen Schwankungen des Schwadens nicht zu erwarten.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass es zu keinen dauerhaften, signifikanten oder in gemessenen Mittelwerten nachweisbaren Abkühlungen oder Erwärmungen in der Umgebung kommt.

¹ Die Luftfeuchte betreffend.

² Auswirkungen auf die solare Strahlung.

7.2 Luftfeuchte

Innerhalb des Schwadens ist die spezifische Feuchte, d.h. der Anteil des Wasserdampfes in g pro kg feuchter Luft, i. A. gegenüber der Feuchte in der Umgebungsluft erhöht. Die Feuchte der Umgebungsluft hängt stark von den Witterungsbedingungen ab.

In Bodennähe kann kurzzeitig ein leichter Anstieg der Feuchtigkeit durch turbulenten Transport aus der Feuchtefahne oder durch Verdunstung ausgeworfener Tropfen bewirkt werden. Die Reichweite dieser Effekte ist auf den Nahbereich bis 1 km um den Zellenkühler beschränkt³ (VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986)). Dies zeigt sich auch im vorliegenden Fall. Die mittlere relative Feuchte liegt bei 75 % im Jahresmittel (DWD (2024a)). Abbildung 7-1 zeigt die zu erwartende Zunahme der relativen Feuchtigkeit im Umfeld der Anlage, basierend auf einer Ausbreitungsrechnung für den aus den Zellenkühlern freigesetzten Wasserdampf für das repräsentative Jahr 2019. Die Zunahme liegt im Jahresmittel bei bis zu 1 %, beschränkt auf den östlichen Nachbereich bis etwa 200 m Entfernung.

³ Die VDI-Richtlinie 3784 Bl. 1 bezieht sich auf Naturzugnasskühltürme mit Höhen ab ca. 80 m und einer Abwärmeleistung von 1000 MW bis 2500 MW. Im vorliegenden Fall beträgt die Höhe der Zellenkühler 28 m. Die Kühlleistung liegt bei max. 426 MW und damit unter 1000 MW. Eine eigenständige Richtlinie für Zellenkühlersysteme gibt es nicht. Daher wird die VDI 3784 Bl. 1 hier antizipierend angewendet.

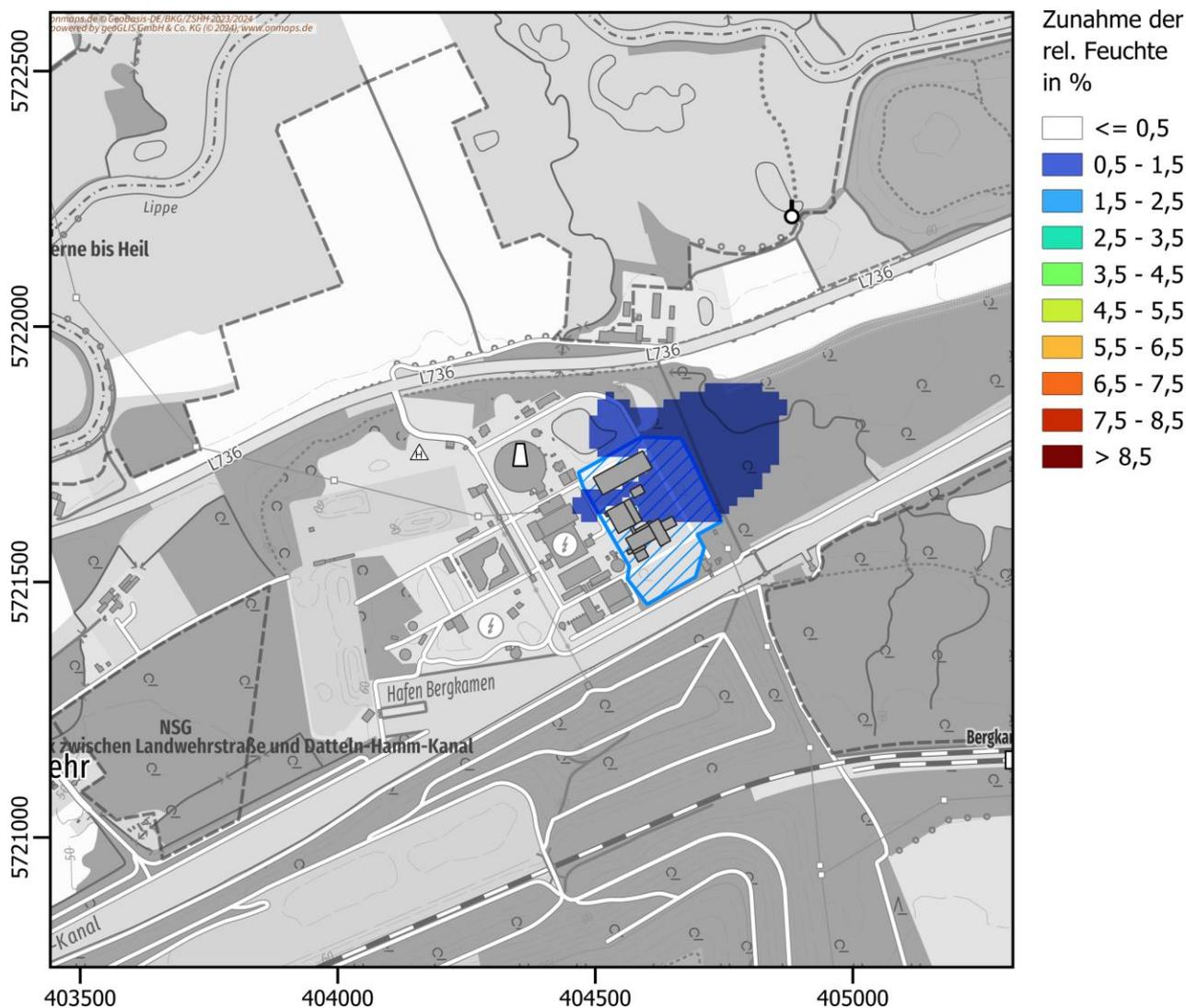


Abbildung 7-1: Änderung des Jahresmittelwerts der relativen Feuchte im Umfeld des Betriebsgeländes durch die Wasserdampfemissionen der Zellenkühler. (Kartengrundlage: onmaps.de © GeoBasis-DE/BKG 2024).

Insbesondere bei hohen Windgeschwindigkeiten können Teile des (vom Wind zerrissenen) Schwadens in Bodennähe gelangen und zu einer kurzzeitigen und lokal rasch wechselnden Erhöhung der bodennahen Feuchte führen.

Ein Einfluss auf langzeitige Mittelwerte ist aufgrund der allenfalls kurzzeitig auftretenden Effekte sowie der räumlichen und zeitlichen Schwankungen nicht zu erwarten. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass es zu keiner dauerhaften, signifikanten oder in gemessenen Mittelwerten nachweisbaren Erhöhung der Feuchteverhältnisse in der Umgebung kommt.

7.3 Nebel

Nebel ist kondensierter Wasserdampf in der bodennahen Luftschicht. Es handelt sich dabei um mikroskopisch kleine Wassertropfchen, die die Sicht stark vermindern. In der Meteorologie wird von Nebel gesprochen, wenn die horizontale Sichtweite unter 1 km beträgt.

Bodennebel entsteht im Binnenland bei windschwachen und wolkenarmen Verhältnissen durch nächtliche Ausstrahlung des Erdbodens und der damit verbundenen Abkühlung der bodennahen Luft. Die in Verbindung mit der Lufttemperatur mögliche Änderung der Luftfeuchte, verursacht durch Zellenkühler-Schwaden (siehe voriges Kapitel), kann nur in Einzelfällen zur Bildung von Bodennebel führen.

Der Zellenkühler-Schwaden kann durch seine langwellige Abstrahlung und aufgrund des dadurch lokal geringfügig höheren Temperaturniveaus eine leichte Verzögerung der Nebelbildung bewirken. Bei Tag kann es bei Abschattungen durch den Schwaden kurzzeitig zu einer verzögerten Auflösung eines Bodennebels kommen, wenn die meteorologischen Bedingungen einen relativ kompakten und nahezu ortsfesten Schwaden zulassen.

Beide Effekte sind aber räumlich eng begrenzt und quantitativ kaum erfassbar.

Hochnebel, d.h. nicht am Boden aufliegender Nebel, kann durch Kühlturmschwaden verstärkt werden. Bei Hochnebel ist der Himmel jedoch in der Regel vollständig bedeckt, so dass der Kühlturmschwaden nicht zu zusätzlichen Verschattungseffekten führt.

7.4 Tau, Reif, Glatteis

Bei wolkenarmen und windschwachen Verhältnissen kühlen Oberflächen nachts stark ab, so dass es bei hoher bodennaher Luftfeuchte auf diesen Flächen zur Tau- oder Reifbildung kommt. Dieser Bildungsprozess kann durch einen abgehobenen vorhandenen Zellenkühler-Schwaden kaum direkt beeinflusst werden. Eine Erhöhung der Luftfeuchte in Bodennähe (siehe Kap. 7.2) kann in Einzelfällen zu einer Übersättigung und zur Bildung von Bodennebel (siehe Kap. 7.3) führen, dessen Tröpfchen wiederum den Boden benässen können. Dadurch erreichbare Niederschlagsintensitäten oder die verstärkte Tau- bzw. Reifbildung sind aber sehr gering (VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986)).

Analog zu den Effekten bei Bodennebel verzögert der Schwaden durch die langwellige Gegenstrahlung aufgrund des dadurch lokal geringfügig höheren Temperaturniveaus die Tau- und Reifbildung. Bei Tag kann durch die Verschattungswirkung des Schwadens das Abtrocknen (= Verdunsten bzw. Schmelzen von Tau und Reif) verzögert werden. Die dadurch verlängerte Benetzungszeit ist geringer als die Verschattungszeit.

In den Zellenkühlern werden Tropfenabscheider eingesetzt. Diese sollen verhindern, dass mit der Luftströmung mitgerissenes Kühlwasser in Form von Sprühtropfen freigesetzt wird. Ein geringer Sprühverlust ist aber unvermeidlich. Die Tröpfchen sind deutlich größer als z.B. Nebeltröpfchen und schlagen sich daher, sofern sie nicht bereits auf dem Transportweg verdunsten, überwiegend im Nahbereich um die Anlage nieder (VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986)).

Die nächstgelegene öffentliche Straße (L736) liegt in einer Entfernung von rund 160 m zu den Zellenkühlern. Hier kann eine Glatteisbildung auftreten, wenn eine ausreichend hohe Zahl von Sprühtropfen (Niederschlagsintensität $> 0,025$ mm/h, VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986)) auf den gefrorenen Boden fällt.

Dabei müssen allerdings entsprechende Windrichtungen, niedrige Windgeschwindigkeiten, eine hohe Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft und Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts zusammenkommen. Es ist zu erwarten, dass diese Witterungsbedingungen zusammen in Bergkamen nur sehr selten und nur an wenigen Tagen des Jahres auftreten. Die Windrichtungsverteilung bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts in Abbildung 7-2 zeigt, dass diese Wettersituationen am Standort ganz überwiegend bei nordöstlichen Windrichtungen auftreten und damit die L736 nur in wenigen Fällen betroffen sein könnte.

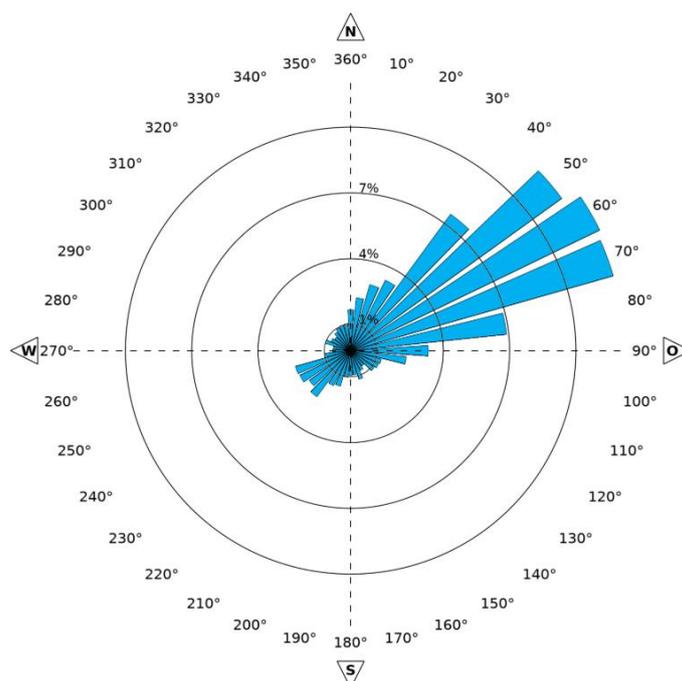


Abbildung 7-2: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen in 10 m ü.G. der Jahre 2010-2019, nur Stunden mit Temperaturen unter 0°C, Datenquelle: DWD (2024a).

Gleichzeitig kann bei entsprechenden Wetterlagen häufig auch durch die natürliche Luftfeuchte oder Niederschläge Glatteis auftreten. Es ist daher zu erwarten, dass der vorhabensbedingte Einfluss quantitativ kaum von den natürlichen Entstehungsprozessen unterscheidbar sein wird. In solchen Fällen wird in der Regel durch entsprechende Winterdienst-Maßnahmen (Streuen) einer möglichen Glättebildung vorgebeugt.

7.5 Niederschlag

Durch den Zellenkühler-Betrieb kann die Niederschlagsmenge in geringem Maße erhöht werden. Als Ursachen sind folgende Punkte anzusehen:

- Mitgerissene Tröpfchen sinken außerhalb der Zellenkühler rasch zu Boden. Bei trockener Witterung verdunsten die Tröpfchen bevor sie den Boden erreichen (siehe voriges Kapitel).
- Durch den Schwaden hindurch fallender Niederschlag sammelt zusätzliche Wassertröpfchen ein. Dadurch kann die Anzahl der Regentropfen unter dem Schwaden geringfügig erhöht werden.

- „Industrieschnee“: Hierbei handelt es sich um Schnee, der durch die Freisetzung von Luftbeimengungen und Wasserdampf aus Industrieanlagen entsteht. Industrieschnee tritt nur räumlich sehr begrenzt im Umfeld der Anlagen auf. Typische Niederschlagshöhen liegen bei wenigen Millimetern, vereinzelt können Schneehöhen bis etwa 10 cm erreicht werden (DWD (2024b)). Für die Entstehung von Industrieschnee sind eine hohe Luftfeuchte (meist Auftreten von Nebel), eine deutliche Temperaturzunahme mit der Höhe (Inversion) in Bodennähe, niedrige Windgeschwindigkeiten und Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt Voraussetzung (DWD (2024b), Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz (2018)). Ein Zusammentreffen dieser Faktoren tritt nur selten auf, die typische Häufigkeit von Industrieschnee-Ereignissen liegt im Mittel bei bis zu fünf Tagen im Jahr⁴ (Liechti (2004)).

Die Summe der den Niederschlag beeinflussenden Effekte kann im Nahbereich eine Erhöhung der langfristigen Niederschlagsmenge von nur wenigen Prozent bewirken. Der Effekt liegt damit deutlich unterhalb den bekannten, durch die Witterung hervorgerufenen wöchentlichen, monatlichen, jährlichen und insbesondere lokalen Schwankungen der Niederschlagsmenge.

7.6 Bewölkung

Der sichtbare Schwaden stellt eine eigene Form der Bewölkung dar. In mit Wasserdampf gesättigter Luft, die abkühlt oder der weiter Feuchtigkeit zugeführt wird, kondensieren kleinste Tropfen. Ihre optischen Eigenschaften machen den Schwaden sichtbar.

Auch wenn der Schwaden zunächst nicht sichtbar ist, können die meteorologischen Bedingungen auf dem weiteren Ausbreitungsweg dazu führen, dass in größerer Entfernung oder Höhe Kondensation einsetzt. Diese Ansammlung von Kondensationstropfen wird als Sekundärschwaden bezeichnet. Er wird in der Literatur im Regelfall den hohen Naturzug-Nasskühltürmen zugeschrieben, sein Auftreten ist bei Zellenkühlern hingegen kaum zu erwarten.

Bei besonderen Wetterlagen (labile Schichtung, kalte Atmosphäre) können durch die Abluft aus den hohen Naturzug-Nasskühltürmen Kumuluswolken induziert werden. Bei Zellenkühlern sind solche Bildungseffekte eher unwahrscheinlich. Zudem sind entsprechende Wetterlagen selten.

Auf die Auswirkungen der Zellenkühler-Schwaden auf die Strahlungsumsätze wurde bereits gesondert eingegangen (Kap.6).

⁴ Die Häufigkeit von bis zu fünf Tagen wurde in den Orten Zürich und St. Gallen in der Schweiz ermittelt. Aufgrund der orographisch niedrigeren Lage von Bergkamen und damit der höheren mittleren Temperatur ist zu erwarten, dass die im Ruhrgebiet auftretende Häufigkeit geringer sein wird.

8 Zusammenfassung

Die iqony GmbH plant den Neubau einer Gas- und Dampfturbinenanlage am Kraftwerksstandort Bergkamen. Die anfallende Abwärme des GuD-Kraftwerks soll über zwölf baugleiche Zellenkühler abgeleitet werden.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens werden die Auswirkungen des Vorhabens auf die lokalklimatischen Verhältnisse betrachtet.

Besonderes Augenmerk gilt bei der Betrachtung lokalklimatischer Auswirkungen der Verschattung. Eine zusätzliche Verschattungswirkung durch das Vorhaben kann durch die vorgesehenen Gebäude und durch eine Wasserdampfschwaden-Bildung der Abluft aus den geplanten Zellenkühlern verursacht werden. Die Auswirkungen des Vorhabens auf die Dauer der Sonnenstrahlung wurden explizit modelliert, so dass flächendeckende Informationen ausgewiesen werden können. Hierbei wurden die Zellenkühler und die größeren, für die Schattenbildung relevanten Bauwerke berücksichtigt. Außerdem wurde für jede Stunde eines zehnjährigen Zeitraums der sichtbare Teil der Abluftfahnen aus den Zellenkühlern (Schwaden) auf Basis der meteorologischen Verhältnisse modelliert.

Für die Simulationen wurden konservative Ansätze gewählt. So wurden alle sichtbaren Schwaden als vollständig lichtundurchlässig gewertet. Auch wurde die Freisetzung von Wasserdampf unter der Annahme eines dauerhaften Volllastbetriebs berechnet. Damit werden alle meteorologischen Situationen, die im Jahresverlauf auftreten können, berücksichtigt. Durch die real geringere Anzahl der Betriebsstunden (4.000 h/a bzw. ca. 45 % der Jahresstunden) ist auch die zusätzliche Verschattung mit hoher Wahrscheinlichkeit geringer als die hier berechnete.

Ergänzend wird in diesem Bericht auf Punkte wie Nebel-, Reif- und Eisbildung durch den Wasserdampfeintrag und durch Tröpfchenauswurf eingegangen. Die zu erwartenden Änderungen der relativen Feuchte in der Umgebung der GuD-Anlage wurden ebenfalls modelliert.

Ergebnisse

Die größten Auswirkungen auf die *Verschattung* findet man auf dem Betriebsgelände der GuD-Anlage selbst und dem angrenzenden Kraftwerksgelände, da hier Effekte durch die Baukörper dominieren. Mit zunehmendem Abstand gehen die Verschattungsdauern rasch zurück.

Verschattungen durch Schwaden treten hauptsächlich in den Vormittagsstunden auf. Je nach Lage zum Kraftwerksstandort unterscheiden sich die jahres- und tageszeitliche Häufigkeit solcher Verschattungsereignisse. In südlich gelegenen Bereichen treten generell seltener, in westlichen Bereichen häufiger Verschattungen auf.

In den Bereichen mit Wohnbebauung im weiteren Umfeld der Anlage liegt die berechnete mittlere Abnahme der Sonnenscheindauer bei unter 1 Prozent. Nördlich der L736 liegt die Ökologiestation des Kreises Unna. Dort wird eine mittlere Minderung der Sonnenscheindauer von 3 % bis 4 % berechnet

In den Bereichen mit Wohnbebauung im weiteren Umfeld der Anlage ist eine Zunahme der Verschattung unter 1 % der mittleren natürlichen Besonnungszeiten und der solaren Einstrahlung zu

verzeichnen. An der nördlich gelegenen Ökologiestation des Kreises Unna wird eine Abnahme der Sonnenscheindauer von 3 % bis 4 % sowie eine Minderung der solaren Einstrahlung von unter 2 % bis 3 % berechnet. Die zu erwartende Abnahme liegt damit unter der natürlichen jährlichen Variation, die sich aufgrund unterschiedlicher Witterungsverläufe einstellt.

Die *Lufttemperatur* kann sich nur kurzfristig und räumlich hoch variabel um max. ± 1 K verändern. Derartige Änderungen sind im Vergleich zum natürlichen Tagesgang äußerst gering und sind in Messwerten kaum signifikant nachweisbar.

Gleiches gilt für die bodennahe *Luftfeuchte*, bei der eine Zunahme des Jahresmittelwerts in der Größenordnung von 1 % im unmittelbaren Nahbereich der Anlage zu erwarten ist. Kurzzeitig und örtlich wechselnd kann sich die Feuchte erhöhen, wenn Teile eines (vom Wind zerrissenen) Kühlturmschwadens bis zum Boden gelangen.

Der Einfluss auf *Nebelbildung und -auflösung* wird ebenfalls als relativ gering eingeschätzt. Einzelne zusätzliche Nebelereignisse und eine geringfügig verzögerte Nebelauflösung tagsüber sind möglich, wenn die meteorologischen Bedingungen einen relativ kompakten und nahezu ortsfesten Schwaden zulassen. Die Effekte sind jedoch kaum quantitativ erfassbar.

Die Bildung von *Tau und Reif* vollzieht sich nur bei oberflächennah hoher Luftfeuchte. Die Abtrocknung (= Verdunsten bzw. Schmelzen von Tau und Reif) kann durch Verschattungseffekte geringfügig verzögert werden. Erhöhte *Glättebildung* und eine Erhöhung des *Niederschlags* z.B. in Form von Industrieschnee ist nicht gänzlich auszuschließen, wird aber nur bei sehr selten auftretenden Wetterlagen und dann auch nur im unmittelbaren Umfeld der Kühltürme feststellbar sein. Die Landesstraße L736 liegt in diesem möglichen Einflussbereich. In solchen Fällen kann durch entsprechende Winterdienst-Maßnahmen (Streuen) einer möglichen Glättebildung vorgebeugt werden.

Die verwaltungsrechtliche Bewertung bleibt der Genehmigungsbehörde vorbehalten.



Dr. Jost Nielinger
(Dipl.-Meteorologe)

Anerkannter beratender Meteorologe
der Deutschen Meteorologischen Ges. e.V.
(Stadt- und Siedlungsklimatologie,
Ausbreitung von Luftbeimengungen und Windenergie)



Dr. Markus Hasel
(Dipl.-Meteorologe)

Gerlingen, den 28. November 2024

Literatur

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz (2018): Nebel.

Copernicus Climate Change Service (2018): ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present.

DWD (2024):(a): HOSTRADA - Hochaufgelöster Stündlicher Rasterdatensatz für Deutschland.

DWD (2024):(b): Industrieschnee.

DWD (2024):(c): Stündliche Stationsmessungen der Sonnenscheindauer für Deutschland.

Ingenieurbüro Janicke (2021): Überhöhungsmodell IBJpluris.

Janicke, U. & L. Janicke (2001): A three-dimensional plume rise model for dry and wet plumes. *Atmospheric Environment* (35)5: 877–890.

Liechti, O. (2004): Industrial snow. In: Proceedings of the 12th SIRWEC Conference. Bingen, Germany (16-18th June).

Schikarski, W., P. Beck, & Deutschland eds. (1983): Auswirkungen von Kühltürmen: Grundlagen für die Beurteilung der meteorologischen Auswirkungen von Naturzug-Naßkühltürmen großer Leistung. E. Schmidt, Berlin.

TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021.

VDI-Richtlinie 3782, Blatt 3 (2019): Umweltmeteorologie - Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre - Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung. VDI-Richtlinie 3782, Blatt 3:2019-12, Entwurf.

VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1 (1986): Umweltmeteorologie - Ausbreitung von Emissionen aus Naturzug- Naßkühltürmen - Beurteilung von Kühlturmauswirkungen. VDI-Richtlinie 3784, Blatt 1:1986-06.

VDI-Richtlinie 3789, Blatt 2 (1994): Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen - Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. VDI-Richtlinie 3789, Blatt 2:1994-10.

Anhang 1 Eingangsdaten Zellenkühler

Tab A1-1: Kennzahlen der Zellenkühler des geplanten GuD-Kraftwerks Bergkamen (Betreiberangaben).
Die genannten Werte beziehen sich auf je einen der vorgesehenen 12 einzelnen, baugleichen Zellenkühler.

Quellhöhe	m	29,55
Mündungsdurchmesser	m	13
Feuchte	%	99 - 100

T_a Umgebungstemperatur	T_a [°C]	T_q [°C]	u_q [m/s]	I_q [g/kg]
T_q Schwadentemperatur	0	19	6,5	15
u_q Ausströmgeschwindigkeit	10	24	6,5	20
z_q Wassergehalt	30	31	6,5	30

Anhang 2 Eingangsdaten Meteorologie

Die Ausbreitung des Wasserdampfschwadens hängt wesentlich von den meteorologischen Bedingungen wie der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, den Wind- und Austauschverhältnissen ab.

Die meteorologischen Daten wurden dem hochaufgelösten stündlichen Rasterdatensatz (HOSTRADA) für Deutschland des Deutschen Wetterdienstes entnommen (DWD (2024a)), der flächendeckend die meteorologischen Größen in einer räumlichen Auflösung von 1 km bereitstellt. Zusätzlich wurden kontinuierliche, zeitlich hoch aufgelöste Daten über den vertikalen Aufbau der Atmosphäre aus dem Datensatz ERA5 des ECMWF für den dem Standort nächstliegenden Gitterpunkt herangezogen (Copernicus Climate Change Service (2018)). Der Datensatz zeichnet sich insbesondere durch die Einbeziehung (Assimilation) einer Vielzahl gemessener Daten in Verbindung mit der aktuellen Simulationstechnik aus. Sie beschreiben in stündlicher Auflösung den gesamten Jahresverlauf.

Die folgenden Abbildungen dokumentieren die lokalen meteorologischen Bedingungen während des untersuchten Zeitraums 2010-2019.

Windverhältnisse

In Abbildung A2-1 ist die Windrichtungshäufigkeitsverteilung der **Tagstunden mit einer Sonnenscheindauer > 50 Minuten** dargestellt (dementsprechend keine oder nur geringe Wolkenbedeckung). Die hier etwas geringere Häufigkeit südwestlicher Richtungen zeigt, dass Wetterlagen mit Südwestwind oft mit starker Bewölkung und damit geringer Einstrahlung verbunden sind. Stunden mit ungestörter Einstrahlung treten häufiger bei nordöstlichen Lagen auf.

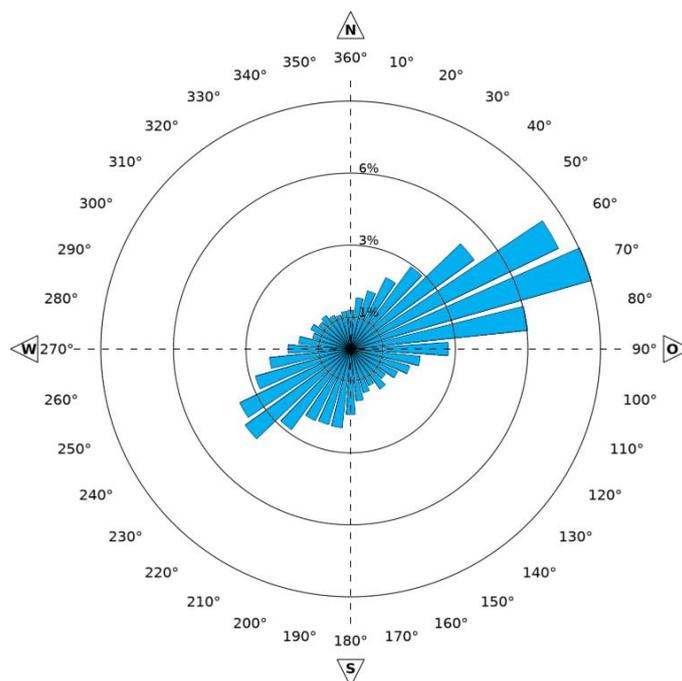


Abbildung A2-1: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen in 10 m ü.G. (nur Tagstunden mit Sonnenscheindauer > 50 min, Datenquelle: DWD (2024a)).

In Abbildung A2-2 ist die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten während dieser **Tagstunden** aufgeführt. Am häufigsten kommen in einer Höhe von 10 m ü.G. Windgeschwindigkeiten zwischen 2,4 m/s und 3,8 m/s (TA Luft Klasse 4) vor. Der Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit liegt hier bei 3,4 m/s.

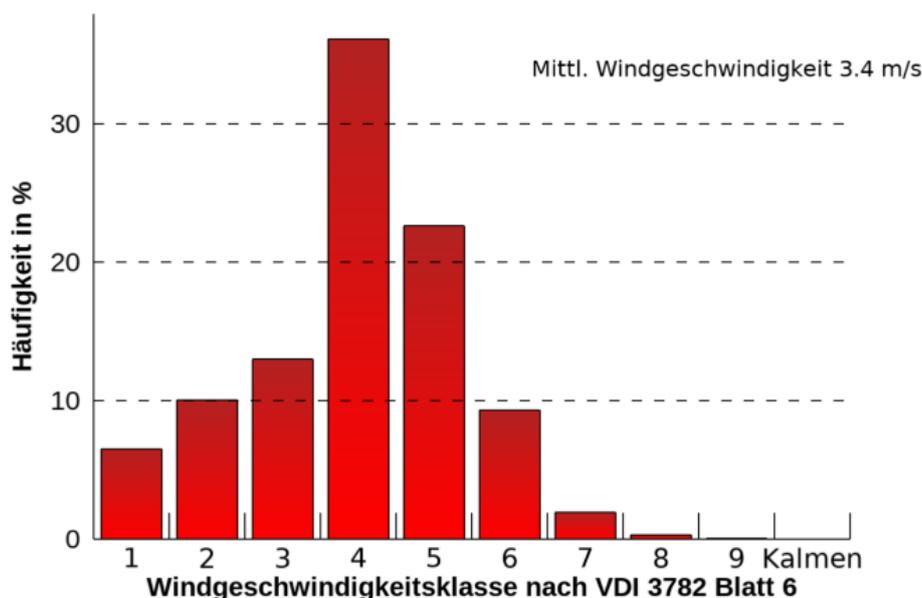


Abbildung A2-2: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in 10 m ü.G. (Tagstunden, Datenquelle: DWD (2024a)).

Temperatur- und Feuchteverhältnisse

Die Entwicklung eines Schwadens hängt erheblich von der Lufttemperatur und Feuchte der Umgebungsluft ab. Prinzipiell ist bei kühlen Temperaturen und hoher Luftfeuchte die Schwadenbildung intensiver als bei relativ warmer und trockener Umgebungsluft.

Lange, räumlich ausgedehnte Schwaden bilden sich daher eher bei kühler Witterung und hoher relativer Luftfeuchte. Die Schwaden sind deshalb vor allem in den Wintermonaten und in den Übergangsjahreszeiten ausgeprägt, während sie im Sommer eher in den Morgen- und Abendstunden größere Ausdehnung erlangen können.

In Abbildung A2-3 sind die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und die mittlere relative Feuchte aufgeführt. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 10,9°C.

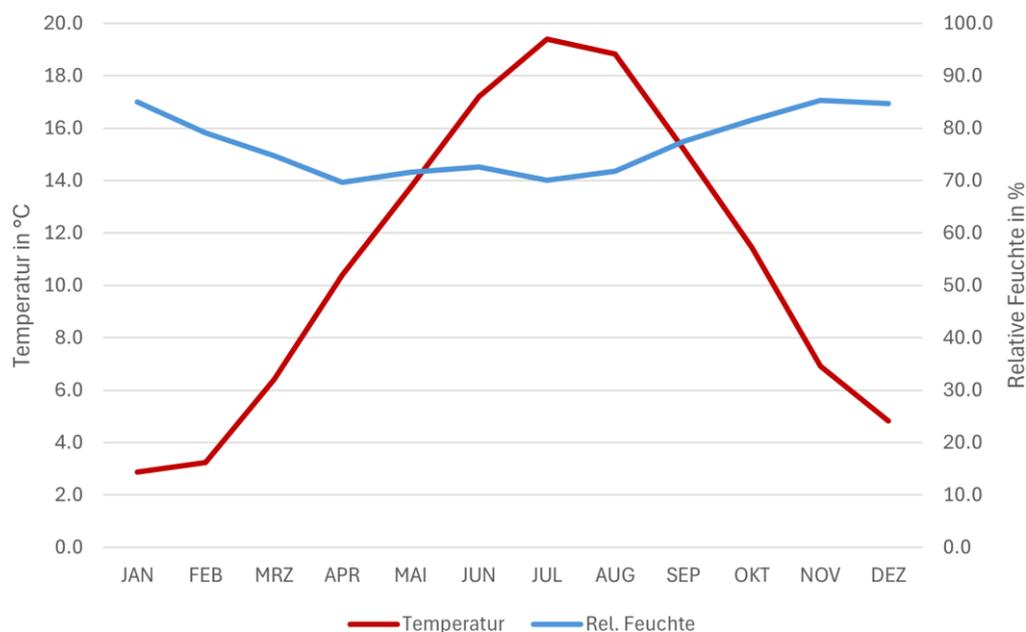


Abbildung A2-3: Monatsmitteltemperaturen in °C und mittlere relative Feuchte in % für den Zeitraum 2010-2019 (Datenquelle: DWD (2024a))

Sonnenscheindauer

Die Tageslänge und die Bedeckung bestimmen die tägliche tatsächliche Sonnenscheindauer. Als Datenbasis für das Untersuchungsgebiet wurden Daten der Station Werl des Deutschen Wetterdienstes zugrunde gelegt. Die mittlere jährliche Sonnenscheindauer (ohne Verschattung durch Bauwerke etc.) in den Jahren 2010 bis 2019 beträgt 1621 h (Abbildung A2-4). Die mittlere natürliche jährliche Schwankungsbreite dieses Parameters liegt bei $\pm 11\%$, in Einzeljahren ist die Abweichung vom Mittelwert mit 1435 h (-11 %) und 2012 h (+24 %) pro Jahr teilweise größer.

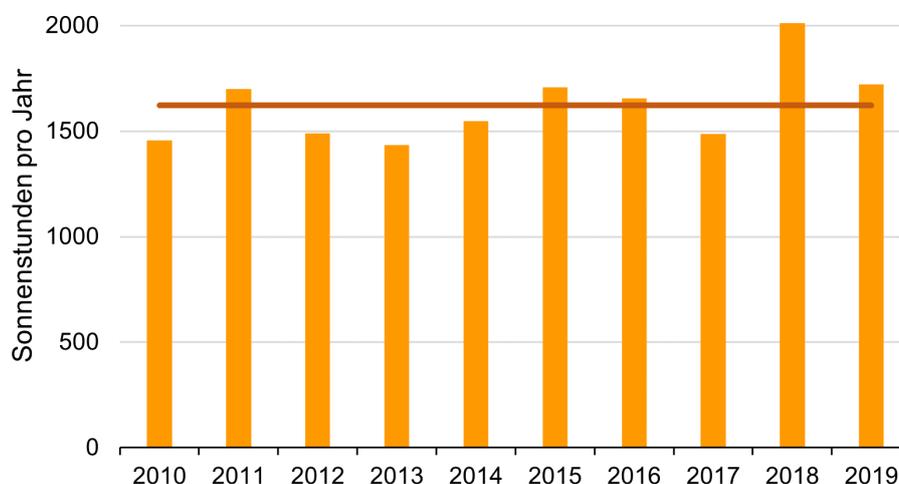


Abbildung A2-4: Sonnenscheindauer der DWD-Stationen Werl (Datenquelle DWD (2024c)).

Solare Einstrahlung

Die Globalstrahlung ist die Summe der solaren Strahlungsflüsse aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung. Bezogen auf eine horizontale Fläche liegt der Betrag des Energieeintrags der diffusen Himmelsstrahlung in derselben Größenordnung wie der Betrag der direkten Sonnenstrahlung. Falls ein Gebiet durch Bewölkung verschattet wird, entfällt der Anteil der direkten Sonnenstrahlung. Jedoch steigt mit zunehmenden Bedeckungsgraden bis etwa 5/8 die Globalstrahlung durch Reflektion an den Wolken leicht an.

Die natürliche jährliche Schwankungsbreite der Globalstrahlung lag im Zeitraum 2010-2019 im Mittel bei $\pm 5\%$ um den Mittelwert von 1082 kWh/m^2 . In einzelnen Jahren wichen die Werte etwas stärker ab und lagen bei 1027 kWh/m^2 (-5%) bis 1201 kWh/m^2 ($+11\%$) pro Jahr.



Abbildung A2 - 5: Jährliche direkte Sonnenstrahlung (oben) und Globalstrahlung (unten) im Untersuchungsgebiet (Quelle DWD (2024a)).

Eine Verschattung in den Wintermonaten macht sich – über das Jahr betrachtet – hinsichtlich der solaren Einstrahlung vergleichsweise wenig bemerkbar. Die Globalstrahlung in den Monaten November bis Januar trägt im vorliegenden Fall nur rund 6 % zum Jahreswert bei (Abbildung A2-6).

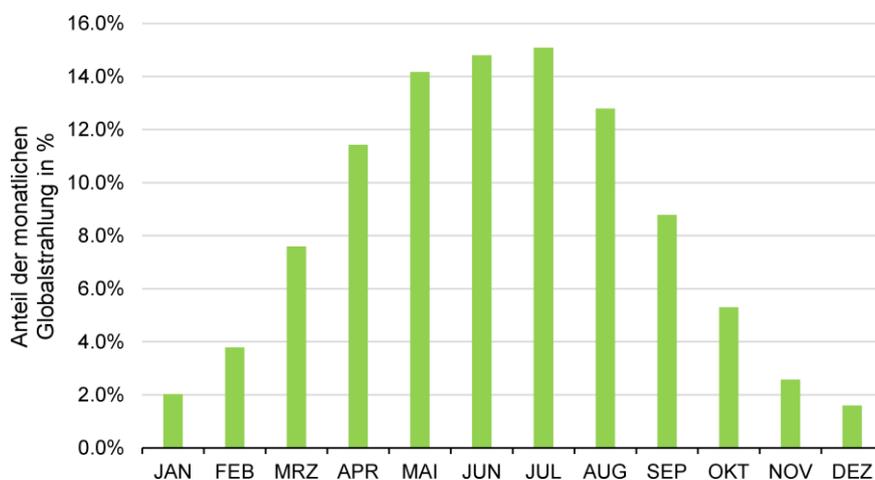


Abbildung A2 - 6: Relativer Anteil der monatlichen Globalstrahlung an der Jahressumme im Untersuchungsgebiet in den Jahren 2010-2019 (Quelle DWD (2024a)).