

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Ermittlung der Langzeitausbreitungs- und
Ablagerungsfaktoren im bestimmungsgemäßen
Stilllegungsbetrieb

Autor: GRS

Erscheinungsjahr: 2006

Unterlagen-Nr.: P 233

Revision: 01

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Meteorologische Datenbasis	6
2.1	Standortdaten Bartensleben	6
2.2	Übertragung auf den Standort Marie	6
3	Berechnungsverfahren.....	11
3.1	Thermische Kaminüberhöhung	12
3.2	Mechanische Kaminüberhöhung.....	13
3.3	Gebäudeeinfluss.....	14
3.4	Abstand des Anlagenzauns	16
3.5	Orographischer Einfluss.....	18
3.6	Langzeit-Ausbreitungsfaktor	21
3.7	Langzeit-Falloutfaktor	23
3.8	Langzeit-Washoutfaktor	23
3.9	Anomaler Betriebsfall.....	24
4	Ergebnisse	27
4.1	Langzeit-Ausbreitungsfaktor	27
4.2	Langzeit-Falloutfaktor	28
4.3	Langzeit-Washoutfaktor	34
5	Überlagerungseffekte.....	41
6	Literaturverzeichnis.....	45
7	Abkürzungen.....	47
8	Tabellen.....	48
9	Abbildungen.....	49

1 Einleitung

Im Rahmen der Sicherheitsanalysen für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird u. a. die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung für verschiedene Ableitungsszenarien untersucht. Ziel der vorliegenden Studie ist die Neuberechnung der Langzeit-Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für das ERAM unter Berücksichtigung der Randbedingungen für die Stilllegungsphase.

Im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb ist die Ableitung von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern aus dem Grubengebäude über zwei Quellen vorgesehen. Die eine Emissionsquelle ist der bestehende Abluftkamin am Mehrzweckgebäude des Schachts Bartensleben mit einer Emissionshöhe von 45 m über Grund. Der zweite Quellort ist der etwa 1,7 km nordnordwestlich gelegene Schacht Marie. Im Unterschied zu früheren Rechnungen wurde am Schacht Marie eine Ableitung aus einem neuen Abwetterbauwerk mit einem 30 m hohen Abluftkamin / Abwetterschlot unterstellt, der während des Offenhaltungsbetriebs errichtet wird.

Bei den Berechnungen wurden die thermische und mechanische Kaminüberhöhung, Gebäude- und Orographieeinfluss sowie der Verlauf des Anlagenzaunes betrachtet. Basis für die Berechnungen der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren und Langzeit-Ablagerungsfaktoren waren die am Standort Bartensleben ermittelten meteorologischen Daten der Jahre 1995 - 2000.

2 Meteorologische Datenbasis

2.1 Standortdaten Bartensleben

Für die durchgeführten Rechnungen zur Ermittlung der bodennahen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren und Langzeit-Ablagerungsfaktoren am Standort Bartensleben wurden Daten der meteorologischen Station Morsleben der Jahre 1995 bis 2000 verwendet. Diese Daten wurden - durch das BfS - umfangreichen Konsistenz- und Plausibilitätsuntersuchungen unterzogen.

Auf der Basis der untersuchten 10-Minuten-Mittelwerte der Messgrößen Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Regenintensität und Wetterkategorie wurden Stundenmittelwerte berechnet. Die Gesamtdatenmenge betrug danach 51764 Stundenmittelwerte, entsprechend einer Verfügbarkeit von etwa 99,8 %. In Abbildung 2.1 ist die 36-teilige Windrichtungsverteilung der Jahre 1995 bis 2000 für den Standort Bartensleben dargestellt. Die Messhöhe wurde aufgrund der umliegenden Gebäude von 25 m auf 20 m korrigiert. Dies entspricht einer Verdrängungshöhe (zero displacement) von 5 m. Die Ermittlung der Windgeschwindigkeit in der Emissionshöhe am Standort Schacht Bartensleben (45 m) erfolgte nach dem Verfahren in /BFS 05/, Kap. 4.5.3.

Es existieren danach zwei Hauptwindrichtungen (West und Südost), wobei die westlichen Winde wesentlich häufiger vorkommen.

2.2 Übertragung auf den Standort Marie

Für den Standort Schacht Marie liegen keine meteorologischen Messungen vor. Die Daten von 1995 - 2000 vom Standort Bartensleben wurden deshalb auf den etwa 1,7 km entfernten Standort Marie, unter Berücksichtigung der topografischen Strukturierung, übertragen (siehe Abb. 2.2).

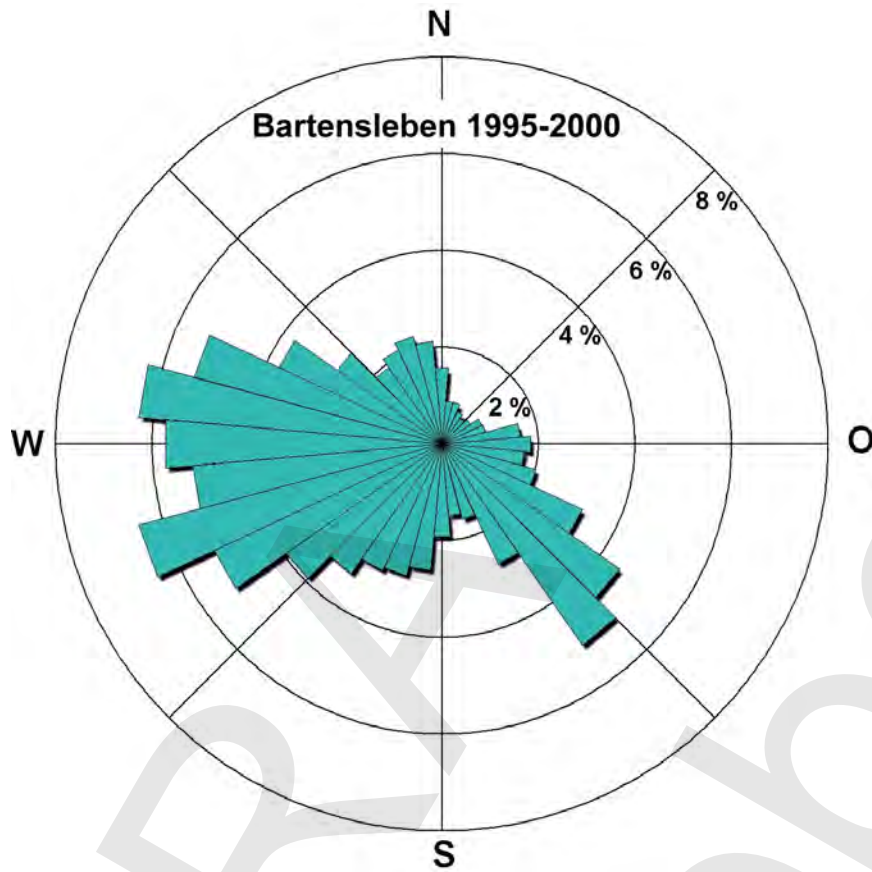


Abb. 2.1 Windrichtungsverteilung für den Standort Bartensleben (1995 bis 2000)

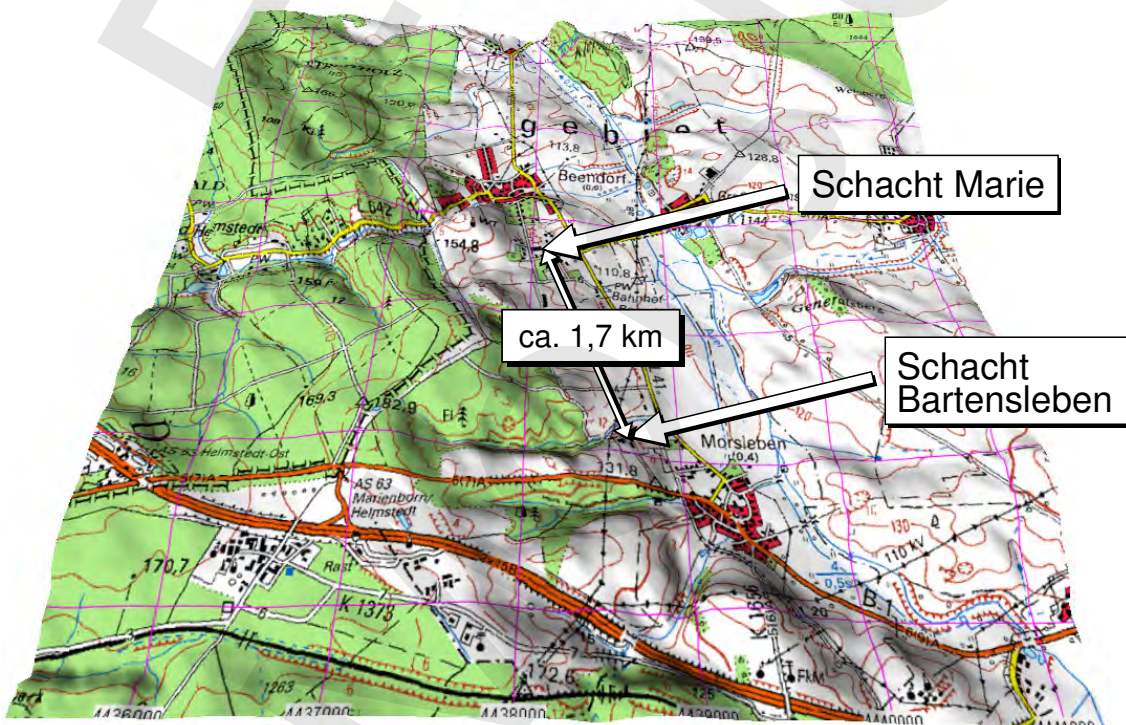


Abb. 2.2 Lage der Emittenten Schacht Marie und Schacht Bartensleben

Dazu wurde zunächst ein Kataster der Geländehöhen auf der Basis von topografischen Karten (Maßstab 1:50.000) erstellt. Die Kantenlänge betrug 5 km x 5 km, bei einer räumlichen Auflösung von 50 m. Mit dem im Ausbreitungsmodell der neuen TA-Luft (AUSTAL2000, /TAL 02a und TAL 02b/) integrierten Strömungsmodell TALDIAMES, wurde für jede Wettersituation von 1995 bis 2000 (51.764 Stundenwerte) - initialisiert durch die Daten von Bartensleben - ein Strömungsfeld berechnet. Anschließend wurde der für Marie prognostizierte Wert für Windgeschwindigkeit und Windrichtung aus dem Feld ermittelt und neben den, als konstant betrachteten Parametern Regenrate und Diffusionskategorie, in eine Zeitreihendatei für Marie geschrieben. Die Höhe für die Vorgabe des Windvektors bei Bartensleben entsprach der korrigierten Messhöhe von 20 m. Für den Standort Marie wurden die Windinformationen auf die Höhe 15 m über Grund aus dem 3-dimensionalen Windfeld interpoliert. Die Interpolation auf 15 m über Grund erfolgte aufgrund der früheren Emissionsbedingungen am Standort Schacht Marie. Die Berechnung der Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe erfolgte dann wiederum nach dem Verfahren in /BFS 05/, so dass die aktuelle Emissionssituation berücksichtigt wird und eine Neuberechnung nicht erforderlich war. Die Abbildung 2.3 veranschaulicht die Vorgehensweise bei der Übertragung der meteorologischen Daten vom Standort Bartensleben (Q2) auf den Standort Marie (Q1) durch die Strömungssimulationen. Dargestellt ist das Strömungsfeld in der untersten Modellschicht.

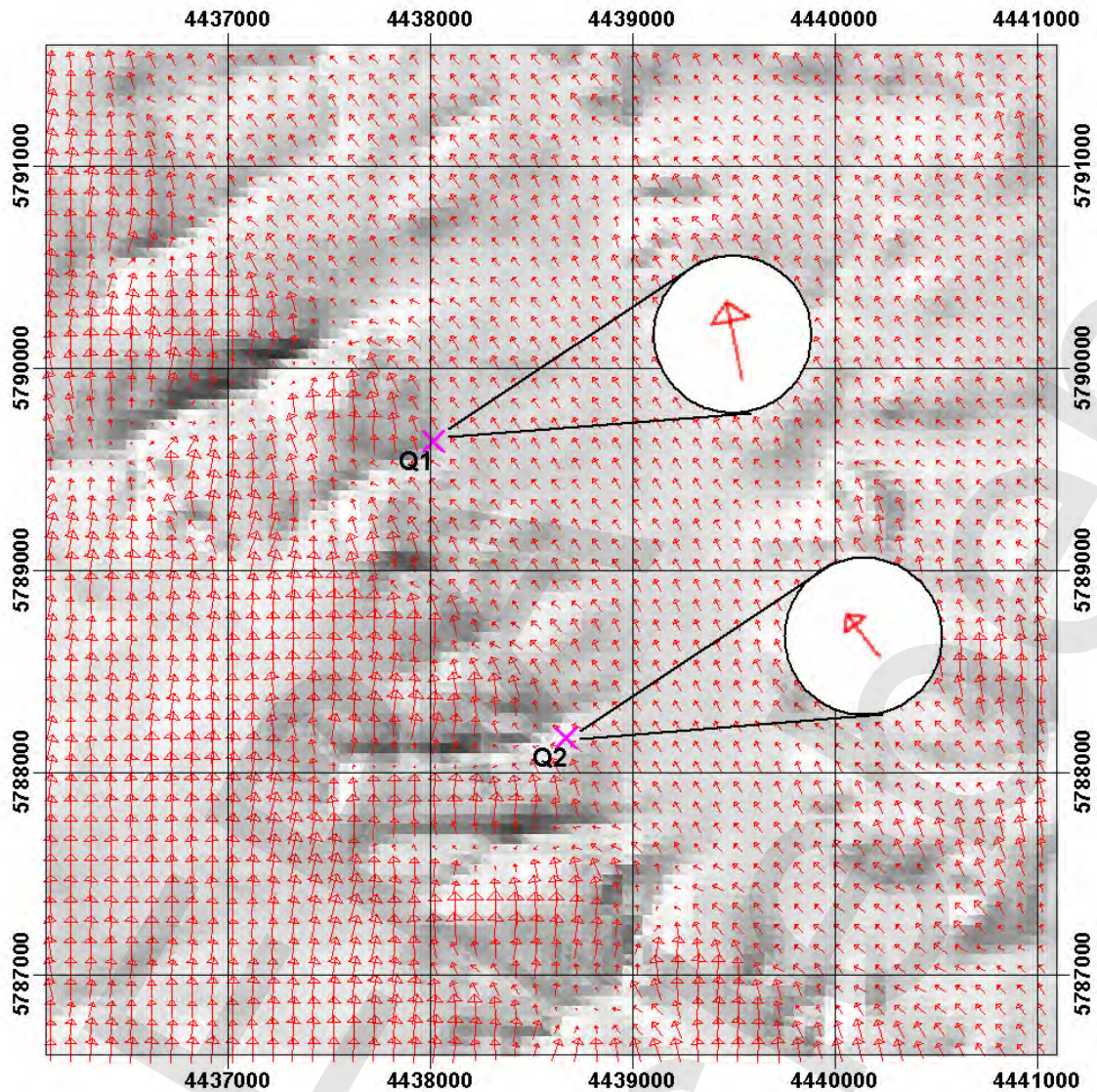


Abb. 2.3 Strömungssimulation bei Übertragung der meteorologischen Daten vom Standort Bartensleben (Q2) auf den Standort Marie (Q1)

Im nächsten Schritt wurde basierend auf der Zeitreihendatei für Marie die vierparametrische Statistik für Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und Regenrate neu berechnet.

In der Abbildung 2.4 sind die Häufigkeitsverteilungen von Windgeschwindigkeit (oben) und Windrichtung (unten) für die Standorte Marie und Bartensleben dargestellt. Man erkennt, dass die für Marie abgeleiteten Windgeschwindigkeiten geringer sind als die von Bartensleben. Die Ursachen hierfür liegen zum einen an der topografischen Lage des Standortes, aber zum anderen, an der aufgrund der früheren Emissionsverhältnisse um 5 m geringeren gewählten Bezugshöhe bei Marie. Die Windrichtungsverteilungen

weisen ebenfalls Abweichungen auf. Aufgrund des bei Marie offensichtlich größeren Einflusses eines Seitentals ist die Hauptwindrichtung (West-Südwest) stärker kanalisiert und etwas nach Süden gedreht. Die Nebenwindrichtung in der Talachse (Südost) ist schwächer ausgeprägt.

Auswertungen der meteorologischen Daten der Jahre 2001 bis 2004 zeigen nur geringe Abweichungen in den statistischen Verteilungen von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag und Diffusionskoeffizienten. Aus diesem Grund wurde das Übertragungsverfahren nicht mit den aktuellen Daten wiederholt.

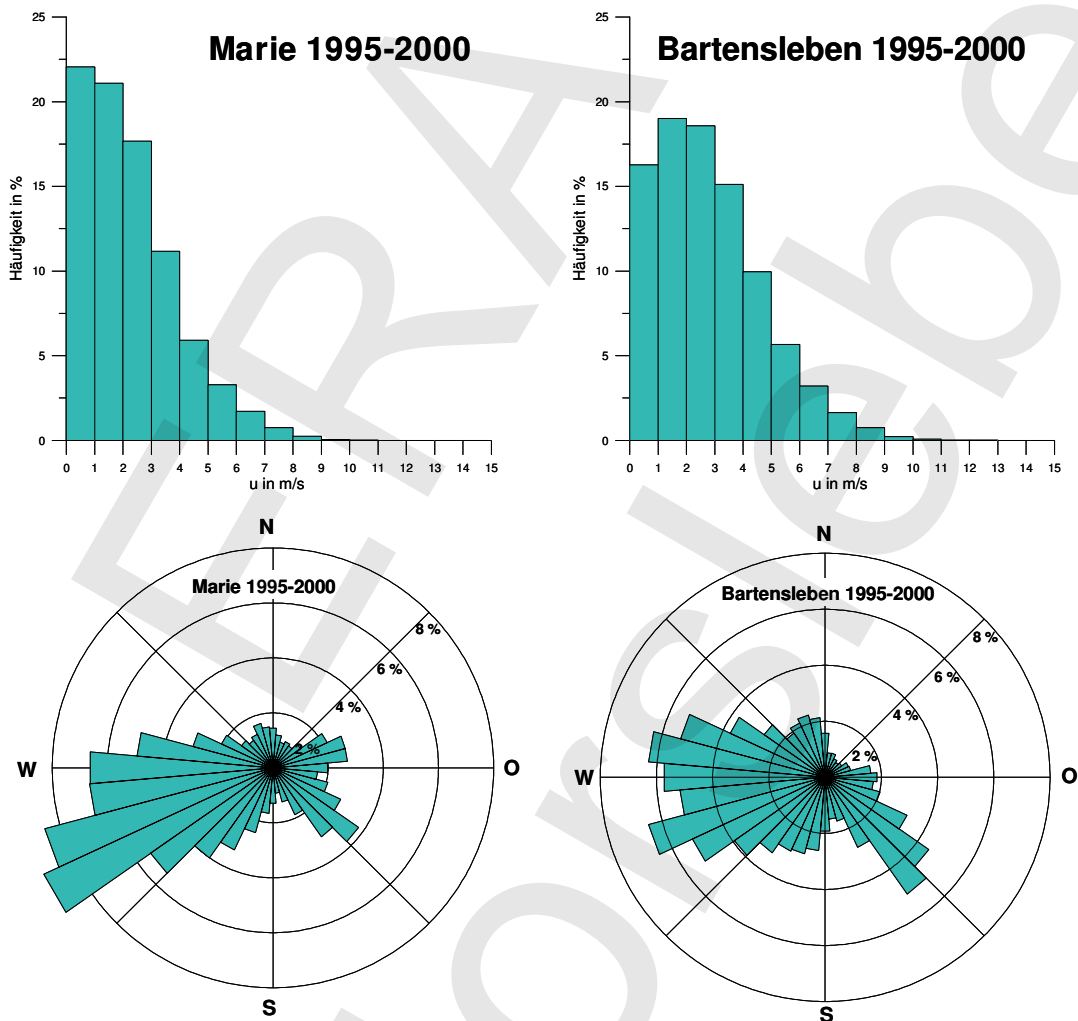


Abb. 2.4 Häufigkeitsverteilungen von Windgeschwindigkeit (oben) und Windrichtung (unten) für die Standorte Marie und Bartensleben

3 Berechnungsverfahren

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung „Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ vom 31.3.1990 (AVV), /AVV 90/ sieht in ihrem Abschnitt 4.6.1 eine Berücksichtigung der Kaminüberhöhung in Ausnahmefällen vor. In den inzwischen vorliegenden Entwürfen der AVV zu § 47 StrlSchV vom November 2002 /BFS 02/ bis Mai 2005 /BFS 05/ ergeben sich keine signifikanten Änderungen in Bezug auf die Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung. Beim Endlager Morsleben ist dieser Ausnahmefall im Wesentlichen durch zwei Besonderheiten gegeben:

- Die Bewetterungsanlage des Endlagers Morsleben hat nicht vornehmlich die Ableitung radioaktiver Stoffe zum Ziel, sondern dient der Versorgung der untertägigen Grubenbaue mit Frischluft. Um dieses zu gewährleisten, sind z. B. im Vergleich mit einem Kernkraftwerk wesentlich höhere Volumenströme notwendig. Dieser Umstand führt zu einer mechanischen Kaminüberhöhung, hervorgerufen durch einen hohen Austrittsimpuls.
- Infolge der im Grubengebäude vorherrschenden Gesteinstemperaturen werden Grubenwetter auf ihrem Weg durch das Grubengebäude aufgewärmt und mit einer gegenüber der Eintrittstemperatur höheren Temperatur über die Austrittsöffnung in die Umgebung freigesetzt. Im Mittel ergibt sich damit eine relativ konstante Abwettertemperatur von etwa 20 °C. Dieses führt zu relativ hohen Temperaturdifferenzen zur Umgebungsluft (besonders in den kalten Wintermonaten) und damit zu einer nicht vernachlässigbaren thermischen Kaminüberhöhung.

Eine weitere Besonderheit des Standortes Bartensleben ist die orographische Beeinflussung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe durch das Allertal und den im Westen liegenden Lappwald. In der AVV wird ab Geländesteigungen von mehr als 5° die Berücksichtigung des Orographieeinflusses gefordert.

In den folgenden Abschnitten werden die Berechnungsverfahren beschrieben, mit denen die bodennahen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren und Langzeit-Ablagerungsfaktoren unter Berücksichtigung der Kaminüberhöhung durch thermische und mechanische Effekte sowie des Gebäude- und Orographieeinflusses ermittelt worden sind.

3.1 Thermische Kaminüberhöhung

Bei der Berechnung der bodennahen Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren ist die Emissionshöhe H eine wesentliche Einflussgröße. Die Kaminüberhöhung Δh_{th} wird in diesen Berechnungen durch eine Erhöhung der tatsächlichen Emissionshöhe H um diesen Betrag berücksichtigt. Die effektive Emissionshöhe H_{eff} ergibt sich somit zu:

$$H_{eff} = H + \Delta h_{th} \quad (3.1)$$

Die AVV sieht zwar die Berücksichtigung der Kaminüberhöhung vor, gibt aber kein Berechnungsverfahren an. In den Störfallberechnungsgrundlagen von 1994 (SBG), /SBG 94/ wird hingegen detailliert eine Vorschrift zur Berechnung der thermischen Kaminüberhöhung beschrieben. Diese Vorschrift entspricht weitgehend dem in der VDI Richtlinie 3782, Blatt 3 /VDI 85/ beschriebenen Verfahren zur Berechnung der thermischen Kaminüberhöhung für warme Quellen mit einem Wärmestrom von mehr als 1,4 MW und ist auch in den neueren Entwürfen der Berechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV enthalten. In Tabelle 3.1 ist das Verfahren zur Bestimmung der thermischen Kaminüberhöhung Δh_{th} in Abhängigkeit von der Quellentfernung x , der Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe u , der Diffusionskategorie und dem Wärmestrom M dargestellt.

Der Wärmestrom M berechnet sich nach /SBG 94/ zu

$$M = 1,36 \cdot 10^{-3} R \cdot (T_A - T_U) \cdot (1 + 0,0006 q_A)^{-1} \quad (3.2)$$

Für die Emittenten wurden dabei folgende Parameter zugrunde gelegt:

R	Abluftvolumenstrom	33,3 m ³ /s (Marie abdeckend)
	11,7 m ³ /s (Bartensleben, abdeckend)
q_A	spezifische Feuchte der Abluft	12 g/kg (ca. 85% rel. Luftfeuchte)
T_A	Ablufttemperatur	20 °C
T_U	Umgebungstemperatur	aus meteorologischen Daten

Die für den Parameter R getroffenen Annahmen sind keine betrieblichen Randbedingungen, sondern wurden gewählt um die thermische Kaminüberhöhung konservativ zu bestimmen. Für den Parameter T_U wurde der Stundenmittelwert der gemessenen Um-

gebungstemperatur eingesetzt. Die Ablufttemperatur beruht auf Messungen des Betreibers, zitiert in /GRS 94/, die Werte von etwa 20 °C ergeben haben. Aufgrund der Wärmeausgleichsfunktion des Grubenbaus kann die Austrittstemperatur an den ausziehenden Schächten als nahezu konstant angesehen werden. Ist die Außentemperatur größer als 20 °C, so wird der Wärmestrom negativ und es erfolgt nach Tabelle 3.1 keine Korrektur der Emissionshöhe durch thermische Effekte.

Nach /DBE 06/ muss beim Schacht Marie im anomalen Betriebsfall mit bodennahen Freisetzungen gerechnet werden. Dabei werden zur Gewährleistung der Druckentlastung der Schachthalle bei bestimmten Situationen mit Ventilatorausfall Abwetter über Druckentlastungsklappen aus der Schachthalle freigesetzt. Die bodennah freigesetzte Wettermenge wird mit 0,004% der jährlichen Gesamtabwettermenge des Schachts Marie angegeben. Bei diesen diffusen Freisetzungen über die Schachthalle Marie wurde keine thermische Überhöhung berücksichtigt, da der Austrittsimpuls eher horizontale Ausrichtung hat und sich die Abwetter durch Austauschprozesse im Schachtgebäude thermisch relaxieren können

Tab. 3.1 Berechnungsverfahren der thermischen Kaminüberhöhung in /SBG 94/

Schichtung: Diffusionskategorie		Überhöhung Δh_{th} in m	Obergrenzen für die Überhöhung [m]		
			$M > 6$ MW	$0 \leq M \leq 6$ MW	$M < 0$
labil:	A,B	$3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1}$	$146 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1}$	$112 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1}$	0
			$\Delta h_{th} + H < 1100$ m		
neutral:	C,D	$2,84 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1}$	$102 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1}$	$78,4 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1}$	0
			$\Delta h_{th} + H < 800$ m		
stabil: *)	E	$3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1}$	$85,2 \cdot M^{1/3} \cdot u^{-1/3}$		0
			$\Delta h_{th} < \Delta h_{th}(D) *$		
	F		$74,4 \cdot M^{1/3} \cdot u^{-1/3}$		0
			$\Delta h_{th} < \Delta h_{th}(D) *$		0

Alle Formeln sind in SI-Einheiten anzuwenden
 *) $\Delta h_{th}(D)$ ist die Überhöhung, die sich für die Kategorie D ergibt.
 Bei der Berechnung der Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe aus der Windgeschwindigkeit in der Referenzhöhe ist dabei ebenfalls Kategorie D zugrunde zu legen (VDI 3782, Blatt 3).

3.2 Mechanische Kaminüberhöhung

Zur Berechnung der mechanischen Kaminüberhöhung infolge eines Austrittsimpulses liefert die AVV ebenfalls keine Berechnungsvorschrift. Die VDI Richtlinie 3782, Blatt 3 /VDI 85/ gibt zwar eine maximale Überhöhung durch den Austrittsimpuls bei kalten

Quellen an, enthält aber keine entfernungsabhängige Darstellung, wie sie für die thermische Kaminüberhöhung angegeben ist (Tab. 3.1). Ein entsprechendes Verfahren zur Berechnung der mechanischen Kaminüberhöhung Δh_m gibt Briggs /BRI 84/ an:

$$\Delta h_m = \left(\frac{3}{4}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{D \frac{v_0}{u}}{0,4 + 1,2 \frac{u}{v_0}}\right)^{2/3} \cdot x^{1/3} \quad \text{und} \quad \Delta h_{max} = 2 \cdot D \cdot \left(\frac{v_0}{u} - 1,5\right) \quad (3.3)$$

mit D	Austrittsdurchmesser	2,3 m (Abluftkamin Marie)
	(effektiv)	1,4 m (Abluftkamin Bartensleben)
v_0	Austrittsgeschwindigkeit	8,0 m/s (Abluftkamin Marie)
	6,0 m/s (Abluftkamin Bartensleben)
u	Windgeschwindigkeit	aus meteorologischen Daten mit Umrechnung
	auf effektive Emissionshöhe
	(nach /AVV 90, Gl. 4.29/)
x	Quellentfernung	

Der effektive Austrittsdurchmesser für den Abluftkamin Bartensleben ergibt sich aus der Zusammenführung der beiden Schachtlutten von je 0,63 m² in einem rechteckigen Querschnitt, aus dem die Wetter in die Umgebung austreten.

Die erste Gleichung gibt den ortsabhängigen Verlauf der mechanischen Überhöhung an. Die zweite Gleichung beschreibt analog zur thermischen Kaminüberhöhung die obere Grenze für die mechanische Überhöhung.

Bei den diffusen Freisetzungen über das Schachtgebäude Marie bei anomaler Betriebsführung wurde keine mechanische Überhöhung unterstellt, da der Austrittsimpuls sehr gering ist und eher horizontale Ausrichtung hat.

3.3 Gebäudeeinfluss

Nach der AVV ist die effektive Emissionshöhe durch einen eventuellen Gebäudeeinfluss zu modifizieren. Für den Standort Bartensleben ist der mit der Windrichtung variierende Gebäudeeinfluss ein wesentlicher Parameter.

Der Gebäudeeinfluss bewirkt zum einen eine Aufweitung der Fahne am Quellort und zum anderen eine Absenkung der Fahnenachse. Maßgeblich für das Berechnungsverfahren nach der AVV ist der Parameter I_g als der kleinere Wert von Gebäudehöhe und

wirksamer Gebäudebreite. Am Standort Bartensleben wird das Mehrzweckgebäude einschließlich Förderturm mit einer Gebäudebreite von 12,5 m, einer Gebäudelänge von 19,5 m und einer Höhe von 45 m bei einer Ausrichtung von 348,5° berücksichtigt. Die Gebäudeabmessungen beziehen sich nach AVV nur auf Gebäudeteile mit einer Höhe von mehr als der Hälfte der Emissionshöhe (22,5 m).

Abbildung 3.1 zeigt den Wert für den Parameter I_g in Abhängigkeit von der Windrichtung. Man erkennt, dass I_g je nach Windrichtung Werte zwischen 12,5 m und 23 m annimmt.

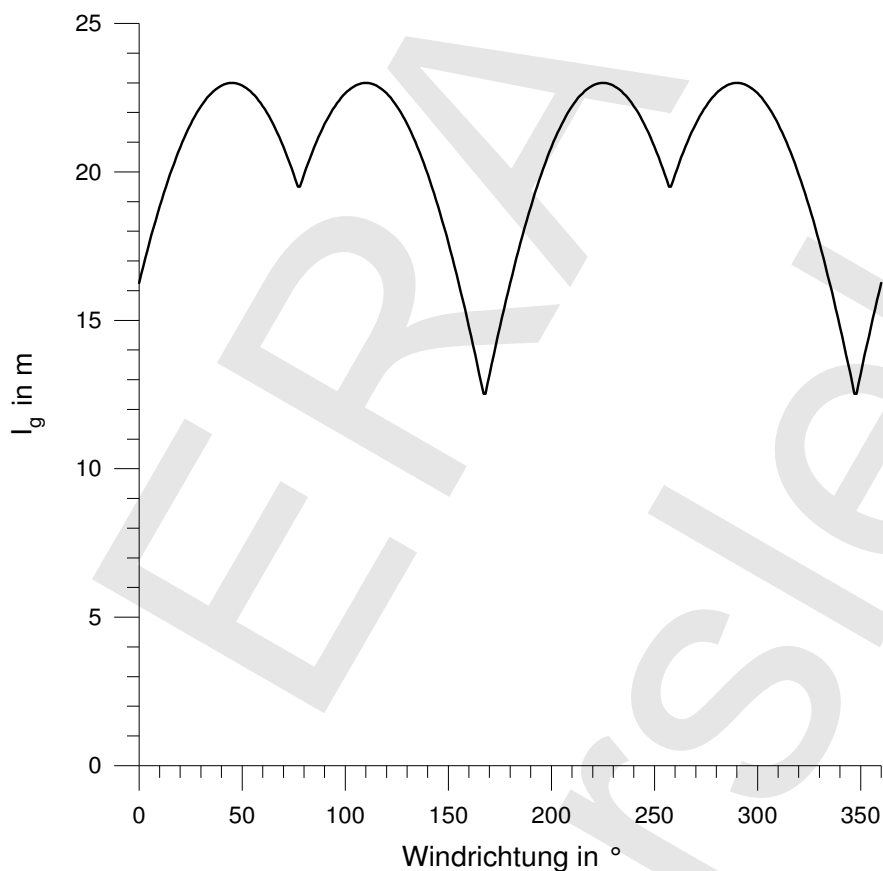


Abb. 3.1: I_g in Abhängigkeit von der Windrichtung

Nach /BFS 05/ muss der Gebäudeeinfluss berücksichtigt werden, wenn die effektive Emissionshöhe H kleiner als die doppelte Höhe der umliegenden Gebäude ist. Bei der minimalen effektiven Emissionshöhe des neuen Kamins / Abwetterschlots am Schacht Marie von 30 m können also nur diejenigen Gebäude mit einer Höhe von mehr als 15 m die Ausbreitung beeinflussen. Dafür kommt als einziges Gebäude die Schachthalle mit den Abmessungen ($B \times L \times H = 15 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 18 \text{ m}$) in Frage. Der Parameter I_g als der kleinere Wert von Gebäudebreite und Gebäudehöhe hat dann den Wert von

15 m. Nach /BFS 05/ muss dieses Gebäude noch berücksichtigt werden, wenn es sich in einer geringeren Entfernung bis zu $3 \times I_g$ vom Emittenten befindet. Mit 40 m Abstand zwischen Kamin und Schachthalle ist diese Bedingung knapp erfüllt. Die maximale Reduktion der effektiven Emissionshöhe beträgt allerdings nur 1,5 m. Ab einer thermischen oder mechanischen Überhöhung von 3 m wird kein Gebäudeeinfluss mehr gerechnet. Das auf der Schachthalle aufsitzende Fördergerüst mit einer Höhe von 24 m über der Geländeoberfläche ist für die Ermittlung des Gebäudeeinflusses nicht relevant, da es sich nicht über die gesamte Gebäudebreite erstreckt und seine Abmessungen im Verhältnis zur Entfernung von etwa 45 m zu klein sind.

3.4 Abstand des Anlagenzauns

Der Zaunabstand ist bei solchen Ausbreitungsbedingungen von Bedeutung, bei denen das Maximum der Dosis innerhalb des Anlagenzaunes liegen würde, also insbesondere bei Wetterlagen mit Niederschlag. In solchen Fällen bestimmt der Zaunabstand den Maximalwert der Dosis in der Umgebung. Die Abbildungen 3.2 und 3.3 zeigen den Verlauf des Anlagenzaunes (rote Linie) und die Lage des Quellortes für die Schachtanlagen Bartensleben und Marie. Die Abstände Zaun/Quellort liegen in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung etwa zwischen 115 m und 285 m bei Bartensleben und zwischen 40 m und 110 m bei Marie.



Abb. 3.2 Verlauf des Anlagenzaunes und die Lage des Quellortes für die Schachtanlage Bartensleben

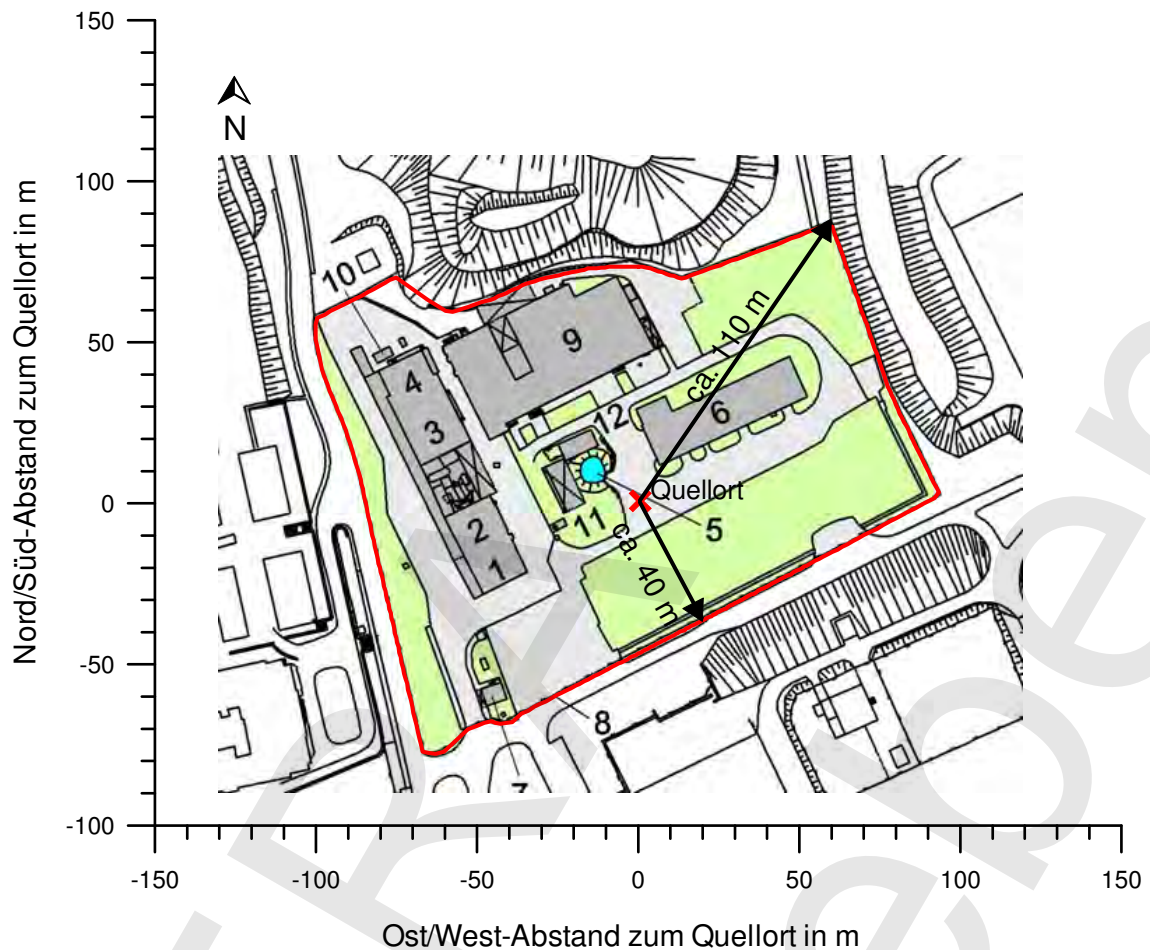


Abb. 3.3 Verlauf des Anlagenzaunes und die Lage des Quellortes für die Schachtanlage Marie

3.5 Orographischer Einfluss

Nach der AVV muss der Einfluss der Orographie ab Geländesteigungen von 5° in die Ausbreitungsrechnung mit einbezogen werden. Das dort angegebene Verfahren besteht aus einer Absenkung der Fahnenachse um den Betrag der Differenz der Geländehöhen am betrachteten Aufpunkt bis zur halben effektiven Emissionshöhe für labile und neutrale Schichtungsverhältnisse (Diffusionskategorien A bis D) bzw. bis zur vollen effektiven Emissionshöhe für stabile Schichtungsverhältnisse (Diffusionskategorien E und F). Dieses Modell ist aber nur in der Lage, ein Geländehindernis pro Ausbreitungsrichtung zu berücksichtigen. Dies würde zu einem unrealistisch großen Abheben der Fahne hinter dem Geländehindernis führen. Für die vorliegenden Rechnungen wurde dieses Modell so modifiziert, dass realistische Geländeformen mit der für Bartensleben typischen orographischen Strukturierung berücksichtigt werden konnten.

Abbildung 3.4 zeigt schematisch die Absenkung der Fahnenachse in Abhängigkeit von der Geländesteigung und der Entfernung vom Quellort. Sind die Geländesteigungen kleiner als 5° , so wird analog zur AVV von einer bodenparallelen Strömung ausgegangen. Steigt jedoch das Gelände mit einer Steigung von 5° oder mehr an, so wird ein Auslaufen der Fahne angenommen und die effektive Emissionshöhe verringert sich an diesem Ort. Nach dem Geländehindernis steigt die Fahne nicht wieder an, sondern bleibt in der einmal erreichten Höhe. Ein eventuelles weiteres Geländehindernis wird in der gleichen Weise behandelt, so dass eine weitere Absenkung der Fahnenachse erfolgen kann. Der Minimalwert für die reduzierte Emissionshöhe wird wie in /SBG 94/ mit der halben effektiven Emissionshöhe für die Diffusionskategorien A bis D bzw. mit der vollen effektiven Emissionshöhe für die Diffusionskategorien E und F festgesetzt.

Auf der Basis von Topografiedaten des Katasters für die Bundesrepublik Deutschland der Technischen Hochschule zu Darmstadt wurden die radialen Geländesteigungen für alle Ausbreitungsrichtungen in einer Geländeauflösung von etwa 120 m und einer Winkelauflösung von 1° berechnet. Abbildung 3.5 zeigt die berechneten Geländesteigungen in Morsleben aus Sicht der Abwetteröffnung in Bartensleben. Die größten Geländesteigungen von teilweise bis 9° liegen hauptsächlich südlich der Schachanlage Bartensleben. Im Einflussbereich des Schachtes Marie treten Geländesteigungen größer als 5° auf dem verwendeten Geländeraaster nicht auf, so dass für die Emissionen aus Schacht Marie ohne orographischen Einfluss gerechnet wurde.

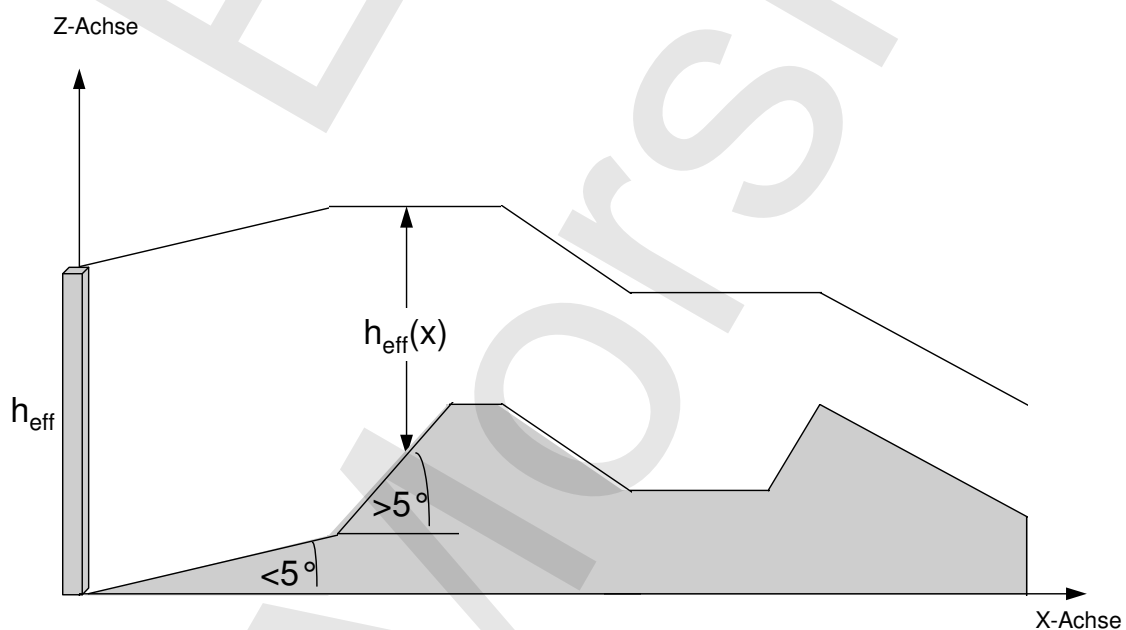


Abb. 3.4 Schematische Darstellung der Absenkung der Fahnenachse in Abhängigkeit von der Geländesteigung und der Entfernung vom Quellort

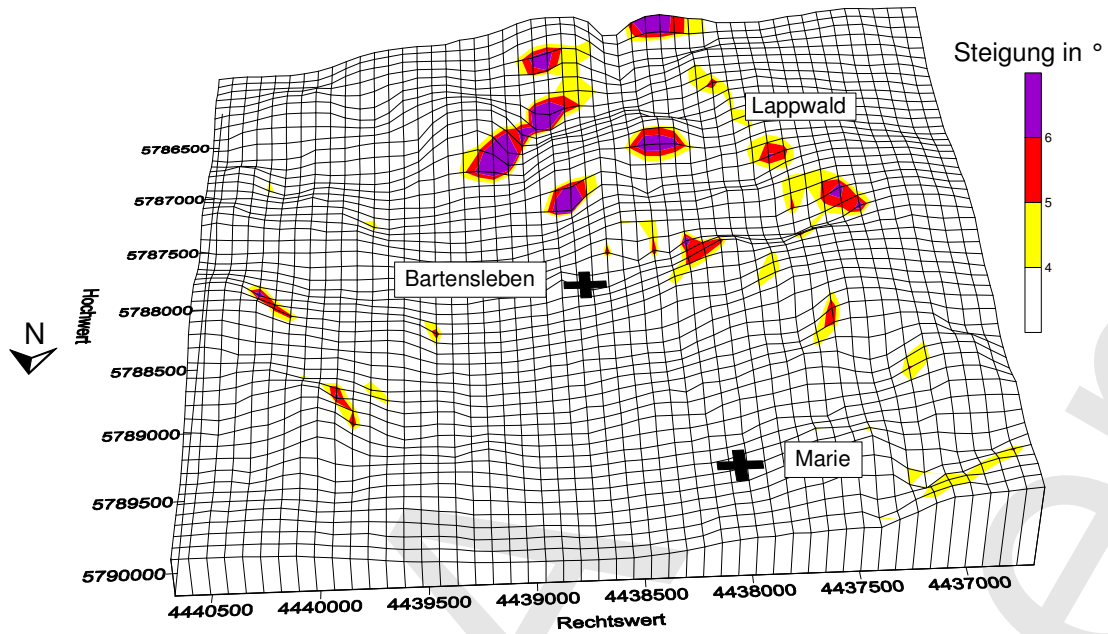


Abb. 3.5 Geländesteigungen in Morsleben aus Sicht der Abwetteröffnung Bartensleben

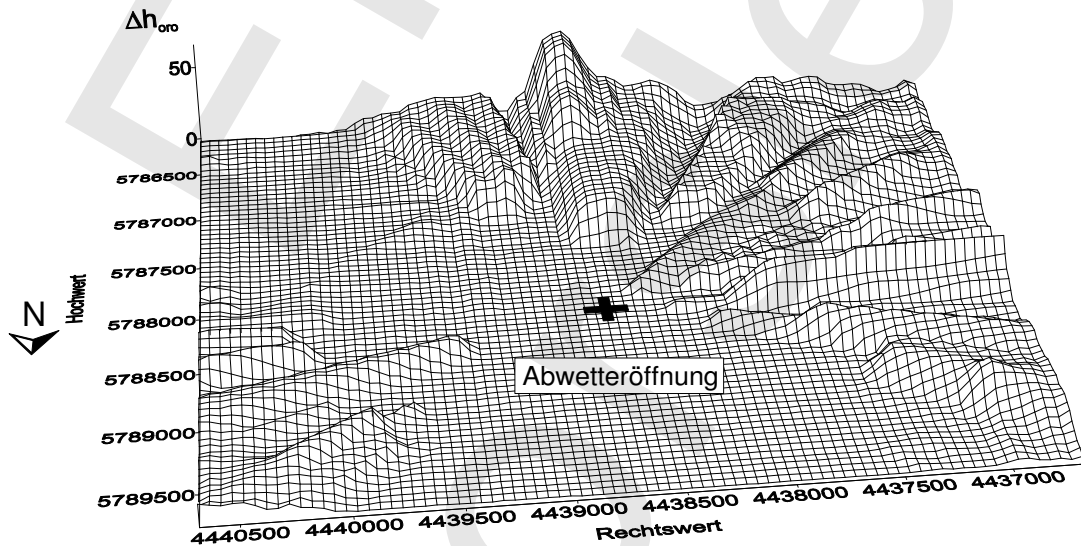


Abb. 3.6 Korrektur der effektiven Emissionshöhe am Standort Schacht Bartensleben durch orographischen Einfluss

Die ortsabhängige Korrektur der effektiven Emissionshöhe durch den orographischen Einfluss Δh_{oro} ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Maximalwerte von bis zu 65 m liegen im Süden der Schachanlage Bartensleben in etwa 2 km Entfernung. Die Höhenkorrektur-

ren erfolgen nur bis zur oben beschriebenen stabilitätsabhängigen minimalen Emissionshöhe.

3.6 Langzeit-Ausbreitungsfaktor

Das in der AVV in Abschnitt 4.1.3 beschriebene Verfahren zur Berechnung der entfernungsabhängigen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren beruht auf einer gewichteten Addition der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren einer Gauß-Fahnen-Ausbreitung. Der in Abschnitt 4.1.2 der AVV angegebene Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor am Erdboden ($z=0$)

$$\hat{\chi}(x, y) = \frac{1}{\sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot \pi \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H_{eff}^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) \quad (3.4)$$

wird dafür zunächst über einen Sektor bei konstantem Abstand zur Quelle gemittelt. Dabei wird angenommen, dass alle Windrichtungen innerhalb eines Sektors gleich verteilt sind. Mit Hilfe einer 3-parametrischen Wetterstatistik (Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Diffusionskategorie) wird dann der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für einen bestimmten Sektor als gewichteter Mittelwert aller Wettersituationen aufgespalten in Windgeschwindigkeitsklassen und Diffusionskategorien berechnet. Es wird dabei von einer Gleichverteilung von Windgeschwindigkeiten innerhalb einer Windgeschwindigkeitsklasse ausgegangen. Die Beschreibung des Verfahrens findet sich z. B. in /BON 82/.

Bei diesem vereinfachten Verfahren der AVV können weder die mechanische noch die thermische Kaminüberhöhung auf der Basis von gemessenen Außentemperaturen berücksichtigt werden. Der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für das ganze Jahr wurde deshalb in der vorliegenden Untersuchung für jeden der 51.764 Stundenwerte von Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Diffusionskategorie durch Überlagerung des jeweiligen Kurzzeit-Ausbreitungsfaktors berechnet. Bei diesem Verfahren wurde somit nicht über festgelegte Sektoren gemittelt oder die oben beschriebenen Annahmen über Gleichverteilungen der meteorologischen Parameter gemacht. Für das Sommerhalbjahr wurden gemäß der AVV nur Stundendatensätze vom 1. Mai bis zum 31. Oktober (entspricht 26459 Datensätzen) ausgewertet. Der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor $\hat{\chi}(x, y)$ wurde nach Gl. 3.4 unter Berücksichtigung der Überhöhungseffekte ermittelt.

Tab. 3.2 Emissionsparameter für die Ausbreitungsrechnungen Schacht Marie und Schacht Bartensleben

Quelle	Quellhöhe	Fahnen-Überhöhung	Gebäudeeinfluss	Orographieeinfluss	Wichtung
Marie Abluftkamin	30 m	ja	$h'=28,5$ m	nein	100%
Marie bodennah	2 m	nein	$h'=7,5$ m	nein	0,004% (anomaler Betriebsfall)
Bartensleben	45 m	ja	s. Abb. 3.1	ja	100%

Alle Rechnungen wurden unter Berücksichtigung eines Gebäudeeinflusses durch die Schachtgebäude durchgeführt. Bei Bartensleben wurde richtungsabhängig zusätzlich ein orographischer Einfluss berücksichtigt.

Für die Berechnung von $H_{eff} = H + \Delta h$ wurde dabei die größere der beiden Kaminüberhöhungen Δh_{th} und Δh_m gewählt. Realistisch werden sich beide Effekte der thermischen und der mechanischen Kaminüberhöhung bis zu einem gewissen Grad überlagern. Z. B. ergibt sich plausiblerweise eine größere Überhöhung bei einer Wärmeemission, wenn zusätzlich ein Austrittsimpuls vorhanden ist. Eine quantitative Beschreibung der Superposition der beiden Einflussgrößen wurde nicht versucht. Es wurden jeweils beide Effekte getrennt berechnet und die größere der beiden Überhöhungen in die Berechnung einbezogen. Da die (nicht berücksichtigte) Superposition der beiden Überhöhungen zu einer insgesamt größeren Überhöhung und somit zu niedrigeren bodennahen Ausbreitungsfaktoren führen würde, ist diese Vorgehensweise konservativ. In der Regel dominiert der Effekt der thermischen Kaminüberhöhung. Ausnahmen sind die Fälle mit Außentemperaturen von mehr als 20 °C. Die mittleren Kaminüberhöhungen lagen bei etwa 7 m für Bartensleben und 10 m für Marie. Maximale Werte bei extrem niedrigen Außentemperaturen und niedrigen Windgeschwindigkeiten erreichen etwa 100 m.

Für jeden meteorologischen Datensatz wurde der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor $\hat{\chi}(x, y)$ auf einem feinen Aufpunktraster mit Entfernungen zwischen 50 m und 10 km (in logarithmisch äquidistanten Abständen) und mit einer Winkelauflösung von 5° berechnet. Für jeden Aufpunkt wurde dann nach Gl. 3.4 für jede der 51.764 bzw. 26.459 Wettersituationen der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor bestimmt. Abschließend wurde daraus für jeden Aufpunkt der mittlere Langzeit-Ausbreitungsfaktor, der sich über den gesamten

Zeitraum ergibt, berechnet. Im Unterschied zu dem in Abschnitt 4.1.3 der AVV angegebenen Verfahren wurde nicht mit statistischen Verteilungen der Einflussgrößen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Diffusionskategorie, sondern mit allen realen Wettersituationen gerechnet und der Langzeit-Ausbreitungsfaktor durch die Überlagerung der jeweils resultierenden Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren ermittelt.

3.7 Langzeit-Falloutfaktor

Der Langzeit-Falloutfaktor wird nach AVV aufpunktspezifisch aus den Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für jeden Aufpunkt durch Multiplikation mit der Ablagerungsgeschwindigkeit für Schwebstoffe ($v_g = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s) berechnet:

$$\hat{F}(x, y) = v_g \cdot \hat{\chi}(x, y) \quad (3.5)$$

Dafür wurden die nach dem im vorhergehenden Abschnitt 3.3 vorgestellten Verfahren berechneten Langzeit-Ausbreitungsfaktoren verwendet.

3.8 Langzeit-Washoutfaktor

In Analogie zur Berechnung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren wurden die Langzeit-Washoutfaktoren ebenfalls durch eine Überlagerung der Kurzzeit-Washoutfaktoren für jede einzelne Ausbreitungssituation gewonnen. Die Kurzzeit-Washoutfaktoren wurden dafür nach Abschnitt 4.2.2 der AVV für jeden Aufpunkt / jede Einwirkungsstelle aus

$$\hat{W}(x, y) = \frac{\Lambda}{\sigma_y(x) \cdot \sqrt{2\pi} \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)}\right) \quad (3.6)$$

mit dem Washoutkoeffizienten $\Lambda = 7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0,8}$ (3.7) (Messwert I der Regenintensität in mm/h, $I_0 = 1$ mm/h) berechnet.

3.9 Anomaler Betriebsfall

Zur Gewährleistung der Druckentlastung der Schachthalle Marie für bestimmte Betriebszustände mit Ventilatorausfall sind gemäß /DBE 06/ nach innen oder außen öffnende Druckentlastungsklappen in der Schachthalle vorgesehen, die eine Beschädigung des Gebäudes bei unzulässiger Druckbelastung verhindern. Die Druckentlastungsklappen werden bei einem Differenzdruck von ca. 50 Pa betätigt. Durch Öffnung der freien Flächen dieser Klappen in der östlichen Gebäudewand der Schachthalle wird der Druckausgleich zur Atmosphäre hergestellt.

Der anomale Betriebsfall tritt ein, wenn über diese Druckentlastungsklappen eine bodennahe Freisetzung aus der Schachthalle Marie erfolgt. Als einzige Ursache hierfür wird der totale Ausfall der Ventilatoranlage am Schacht Marie über Tage (z.B. durch Stromausfall) bei einem Weiterbetrieb der Hauptventilatoranlagen in der 1. nördlichen Richtstrecke auf der 2. und auf der 3. Sohle genannt. Dadurch kommt es zum Überdruck in der Schachthalle Marie. Obwohl der Wetterweg über den Wetterkanal, die Ventilatoren und den Abwetterschlot weiterhin geöffnet bleibt, führt der Überdruck zu einem Auslösen der Druckentlastungsklappen mit Öffnung nach außen. Die Abwetter aus der Grube strömen außer über den Abwetterschlot somit auch bodennah über die Druckentlastungsklappen in die Atmosphäre.

Aufgrund konservativer Betrachtungen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit (1 x pro Jahr) und der Dauer des Ausfalls wird in /DBE 06/ von einem während des anomalen Betriebs freigesetzten Anteil von 0,004 % an der gesamten jährlich über den Schacht Marie abgeleiteten Wettermenge ausgegangen.

Der anomale Betriebsfall ist kein Störfall. Deshalb müssen diese Emissionen bei der Berechnung der Langzeitausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für den bestimmungsgemäßen Betrieb berücksichtigt werden. Aufgrund der Unkenntnis über den Zeitpunkt des Eintretens und der zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Ausbreitungsbedingungen kann der freigesetzte Anteil weder zu einer bestimmten Wettersituation angenommen noch als bodennahe Emission mit einem mittleren Anteil von 0,004 % an der Wettermenge betrachtet werden. In Analogie zu /SBG 94/ wurde deshalb ein konservativer Wert für die Abschätzung des Beiträge der Emissionen während des anomalen Betriebs ermittelt. Dazu wurden für jeden Stundendatensatz des gesamten Zeitraums von 1995 bis 2000 Kurzzeit-Ausbreitungs- und -Washoutfaktoren auf einem dichten Aufpunktraster berechnet. Für jede dieser Situationen wurden dann die jeweili-

gen Maximalwerte für den Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor und den Kurzzeit-Washoutfaktor ermittelt. Anschließend wurden diese Werte in so genannten komplementär-kumulativen Häufigkeitsverteilungen (s. Abb. 3.6 und 3.7) dargestellt. Aus diesen komplementär-kumulativen Häufigkeitsverteilungen kann man für jeden Wert seine Überschreitungshäufigkeit ablesen. Insbesondere ist in den Abbildungen der 95-Perzentilwert angegeben, also der Wert, der in 95% aller Ausbreitungssituationen unterschritten wird.

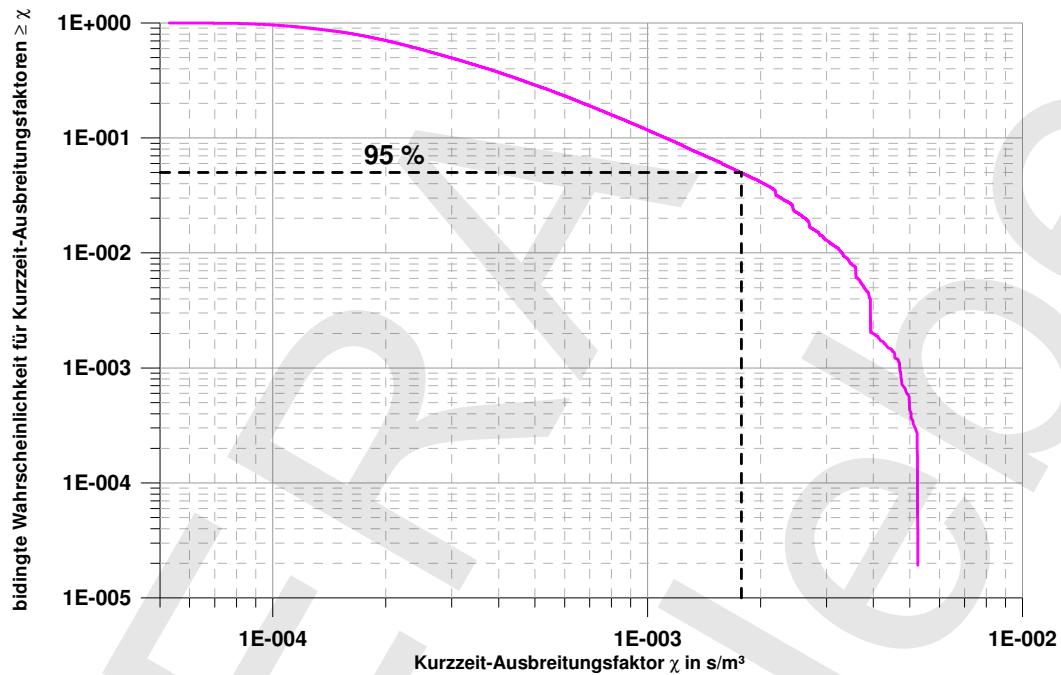


Abb. 3.7 Komplementär-kumulative Häufigkeitsverteilung des Kurzzeit-Ausbreitungsfaktors bei anomaler Betriebsführung am Schacht Marie für den Zeitraum 1995 - 2000

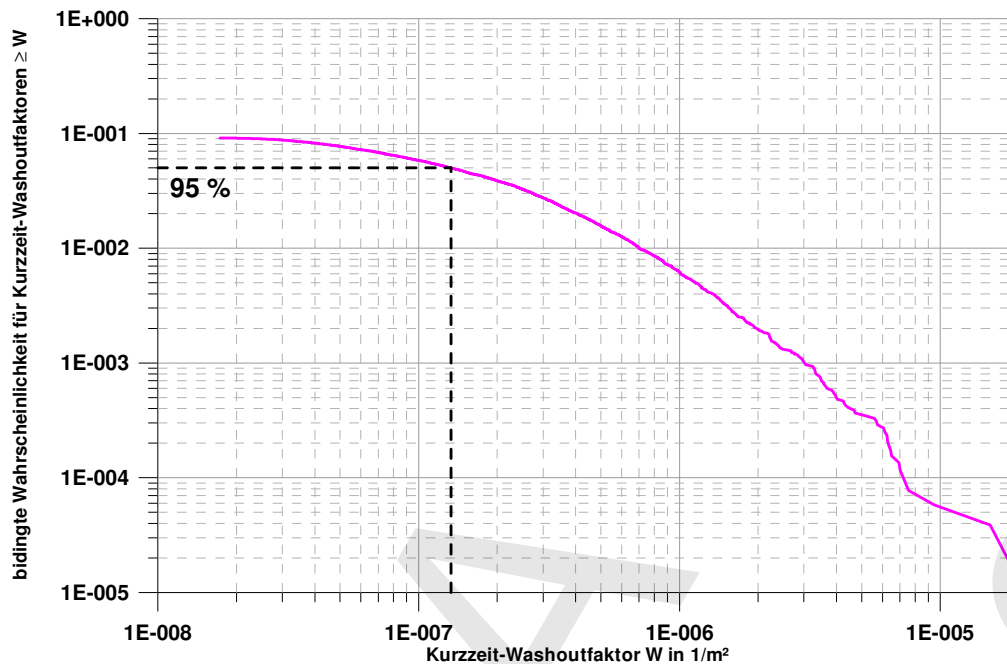


Abb. 3.8 Komplementär-kumulative Häufigkeitsverteilung des Kurzzeit-Washoutfaktors bei anomaler Betriebsführung am Schacht Marie für den Zeitraum 1995 - 2000

Die so ermittelten konservativen Werte für den im ungünstigen Fall zu erwartenden Kurzzeit-Ausbreitungs- bzw. Kurzzeit-Washoutfaktor liegen bei $1,78 \cdot 10^{-3} s/m^3$ und $1,33 \cdot 10^{-7} 1/m^2$. Eine mögliche konservative Vorgehensweise für die Berücksichtigung des anomalen Betriebsfalls ist die Ermittlung des zusätzlichen Beitrags der bodennahen Emission mit diesen 95-Perzentilwerten zu jedem Zeitpunkt mit dem entsprechenden Volumenanteil von 0,004%.

Verglichen mit den für die Emissionen aus dem Abluftkamin / Abwetterschlot berechneten Langzeit-Ausbreitungs- und Washoutfaktoren (s. Kapitel 4). erhält man mit dieser Vorgehensweise an den ungünstigsten Einwirkungsstellen einen Beitrag von maximal 1 - 2 %. Aufgrund dieses nur geringfügigen Beitrags des anomalen Betriebsfalls werden die bodennahen Emissionen über die Druckentlastungsklappen bei der Berechnung der Langzeit-Ausbreitungs-, Ablagerungs- und Washoutfaktoren nicht berücksichtigt.

4 Ergebnisse

4.1 Langzeit-Ausbreitungsfaktor

Die Abbildungen 4.1 bis 4.4. zeigen die zweidimensionalen Verteilungen der bodennahen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für das ganze Jahr bzw. für das Sommerhalbjahr für die Standorte Bartensleben und Marie. In radialer Richtung sind die Abbildungen logarithmisch skaliert (die konzentrischen Kreise entsprechen den Entfernungen 10 m, 100 m, 1 km und 10 km von der Austrittsöffnung). Die helle Fläche entspricht der Fläche des Betriebsgeländes Schacht Bartensleben (Abb. 4.1 und 4.2) bzw. Schacht Marie (Abb. 4.3. und 4.4) im selben logarithmischen Maßstab. Die Konzentrationen an den einzelnen Aufpunkten sind durch die Farbskala aufsteigend mit Hellbraun, Gelb, Hellgrün, Hellblau, Blau, Dunkelgrün, Braun, Orange und Violett gekennzeichnet.

Man erkennt, dass die jeweiligen Verteilungen für das ganze Jahr und das Sommerhalbjahr große Ähnlichkeiten aufweisen. Die maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren liegen in denselben Richtungen und korrelieren mit den in Abbildung 2.4 dargestellten Windrichtungsverteilungen (die Maxima ergeben sich im Lee der Abwetteröffnung bezüglich der Haupt- und Nebenwindrichtungen). Insgesamt sind die Ausbreitungsfaktoren für das Sommerhalbjahr höher (etwa 30 bis 50 %) als für das Gesamtjahr. Die Ursache hierfür liegt im Wesentlichen in der geringeren mittleren Windgeschwindigkeit für diese Jahreszeit.

Für den Schacht Marie ergeben sich insgesamt etwas höhere Werte für die bodennahen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren. Die Ursachen dafür sind die geringere Freisetzungshöhe verbunden mit im Mittel geringeren Windgeschwindigkeiten am Standort Marie und dem deutlich kleineren Betriebsgelände.

Die Lagen der Maxima der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Bartensleben und den Schacht Marie sind aus den Tabellen 4.1 und 4.2 zu ersehen. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen für die Inhalation ergeben sich für Bartensleben in der Hauptausbreitungsrichtung in etwa 220 m Entfernung von der Austrittsöffnung. Bei Schacht Marie liegen die maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren ebenfalls im Osten der Anlage in etwa 190 m Entfernung vom Abwetterschlot. Für die Expositionsberechnung sind für das Sommerhalbjahr in den Tabellen 4.1, 4.4 und 4.8 zusätzlich die Werte an den maximalen Einwirkungsstellen des ganzen Jahres angegeben.

Tab. 4.1 Lage der Maxima der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Bartensleben

χ in s/m^3	Entfernung	Richtung	
$1,9 \cdot 10^{-6}$	260 m	Ost (95°)	ganzes Jahr
$1,0 \cdot 10^{-6}$	170 m	Nordwest (305°)	
$2,3 \cdot 10^{-6}$	260 m	Ost (95°)	
$1,5 \cdot 10^{-6}$	170 m	Nordwest (305°)	Sommerhalbjahr

Tab. 4.2 Lage der Maxima der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie

χ in s/m^3	Entfernung	Richtung	
$3,0 \cdot 10^{-6}$	190 m	Ost/Nordost (70°)	ganzes Jahr
$1,2 \cdot 10^{-6}$	170 m	West/Südwest (255°)	
$4,0 \cdot 10^{-6}$	170 m	Ost/Nordost (70°)	Sommerhalbjahr
$1,9 \cdot 10^{-6}$	150 m	West/Südwest (255°)	
$3,9 \cdot 10^{-6}$	190 m	Ost/Nordost (70°)	
$1,8 \cdot 10^{-6}$	170 m	West/Südwest (255°)	

4.2 Langzeit-Falloutfaktor

Die Lagen der Maxima der Langzeit-Falloutfaktoren für den Schacht Bartensleben und den Schacht Marie sind aus den Tabellen 4.3 und 4.4 zu ersehen. Da sich die Falloutfaktoren nach Abschnitt 3.7 nur durch Multiplikation der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren mit der Ablagerungsgeschwindigkeit v_g berechnen, ergeben sich dieselben Verteilungsmuster wie in den Abbildungen 4.1 bis 4.4.

Die ungünstigsten Einwirkungsstellen für die trockene Deposition ergeben sich in der Hauptausbreitungsrichtung wiederum in etwa 220 m Entfernung bei Bartensleben und 190 m bei Marie.

Tab. 4.3 Lage der Maxima der Langzeit-Falloutfaktoren für den Schacht Bartensleben

F in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
$2,9 \cdot 10^{-9}$	260 m	Ost (95°)	ganzes Jahr
$1,5 \cdot 10^{-9}$	170 m	Nordwest (305°)	
$3,5 \cdot 10^{-9}$	260 m	Ost (85°)	Sommerhalbjahr
$2,2 \cdot 10^{-9}$	170 m	Nordwest (305°)	

Tab. 4.4 Lage der Maxima der Langzeit-Falloutfaktoren für den Schacht Marie

F in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
$4,5 \cdot 10^{-9}$	190 m	Ost/Nordost (70°)	ganzes Jahr
$1,8 \cdot 10^{-9}$	170 m	West/Südwest (255°)	
$6,0 \cdot 10^{-9}$	170 m	Ost/Nordost (70°)	Sommerhalbjahr
$2,9 \cdot 10^{-9}$	150 m	West/Südwest (255°)	
$5,9 \cdot 10^{-9}$	190 m	Ost/Nordost (70°)	
$2,7 \cdot 10^{-9}$	170 m	West/Südwest (255°)	

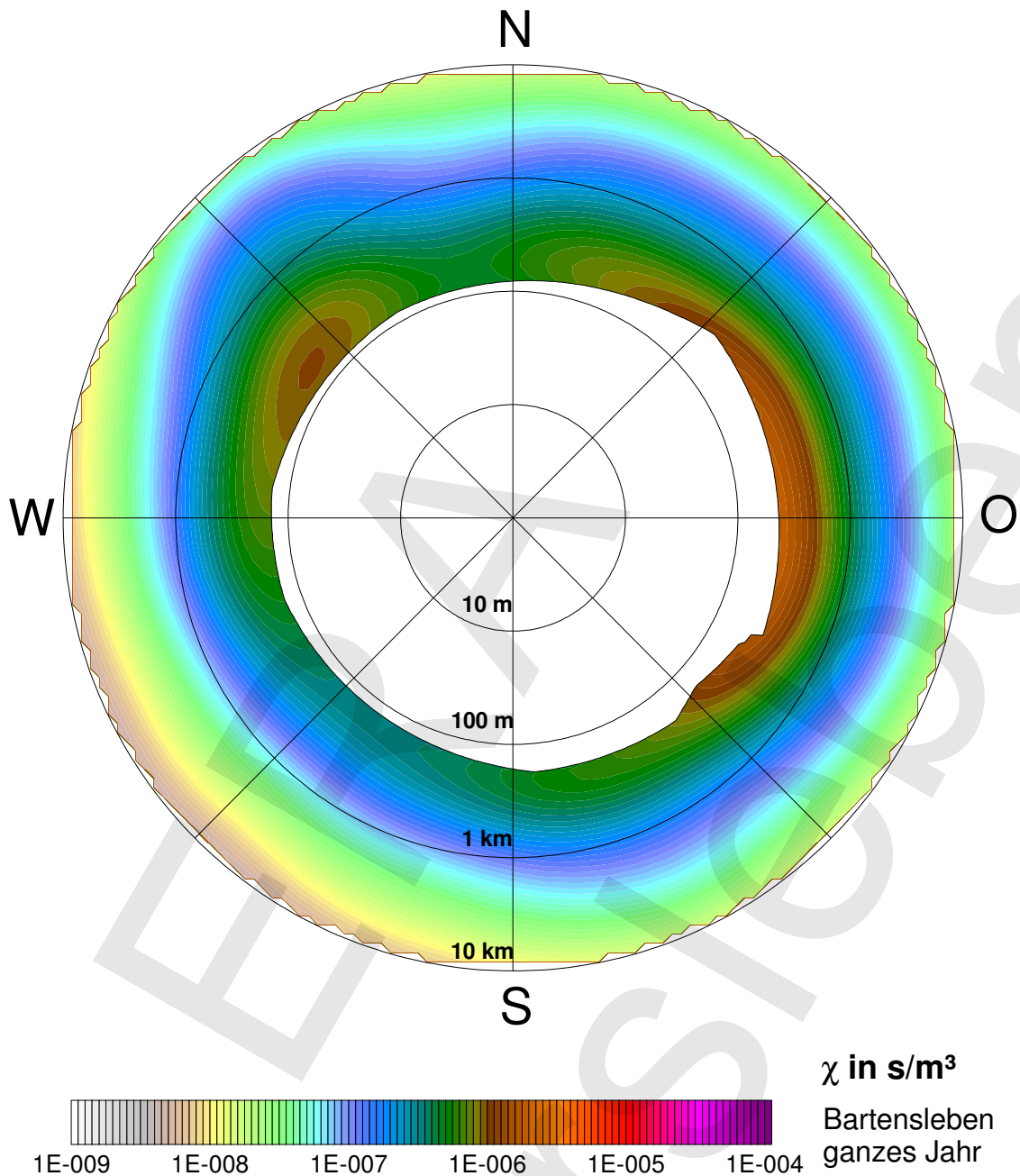


Abb. 4.1 Langzeit-Ausbreitungsfaktor χ in s/m³ für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das ganze Jahr, mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

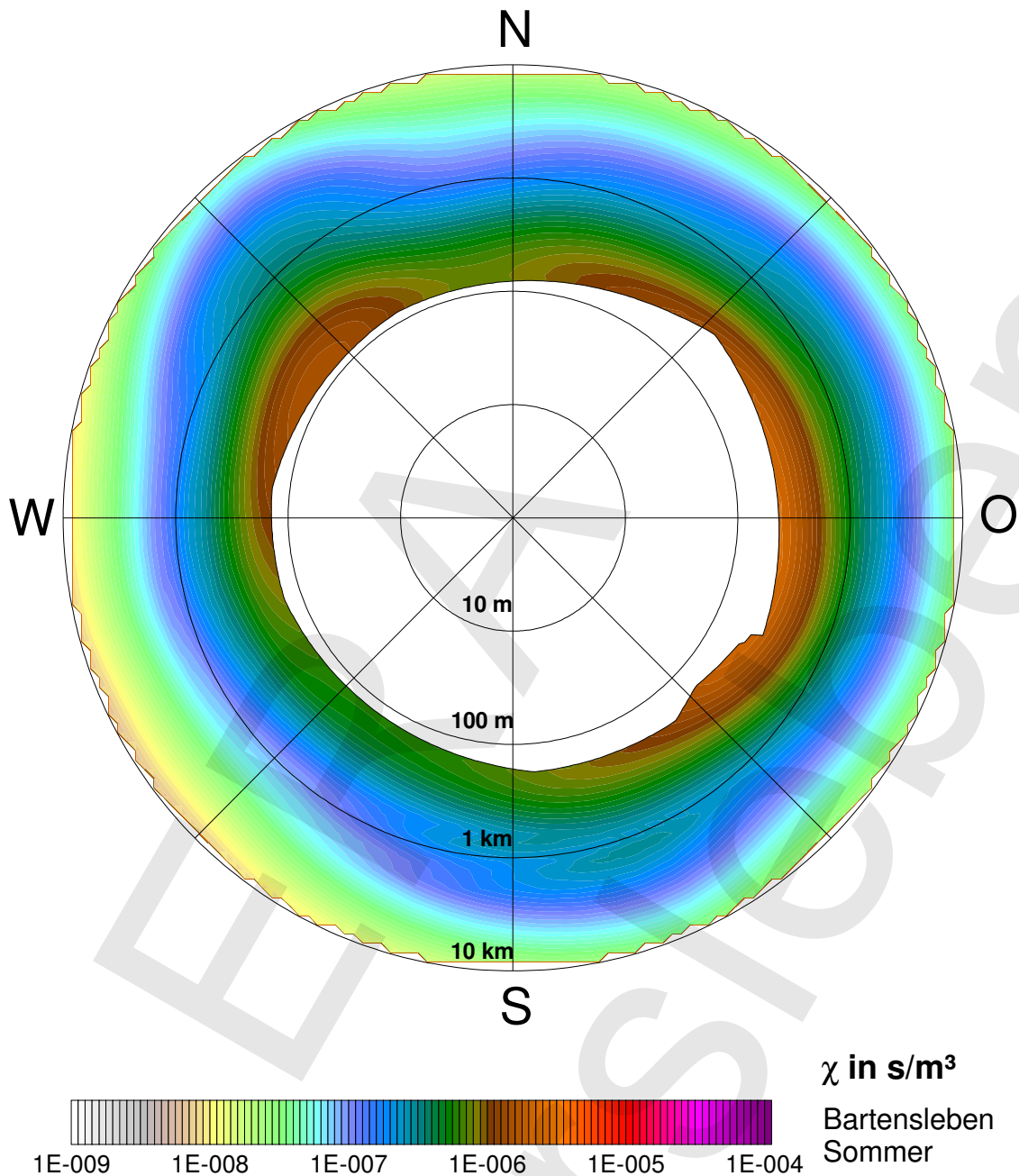


Abb. 4.2 Langzeit-Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das Sommerhalbjahr, mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

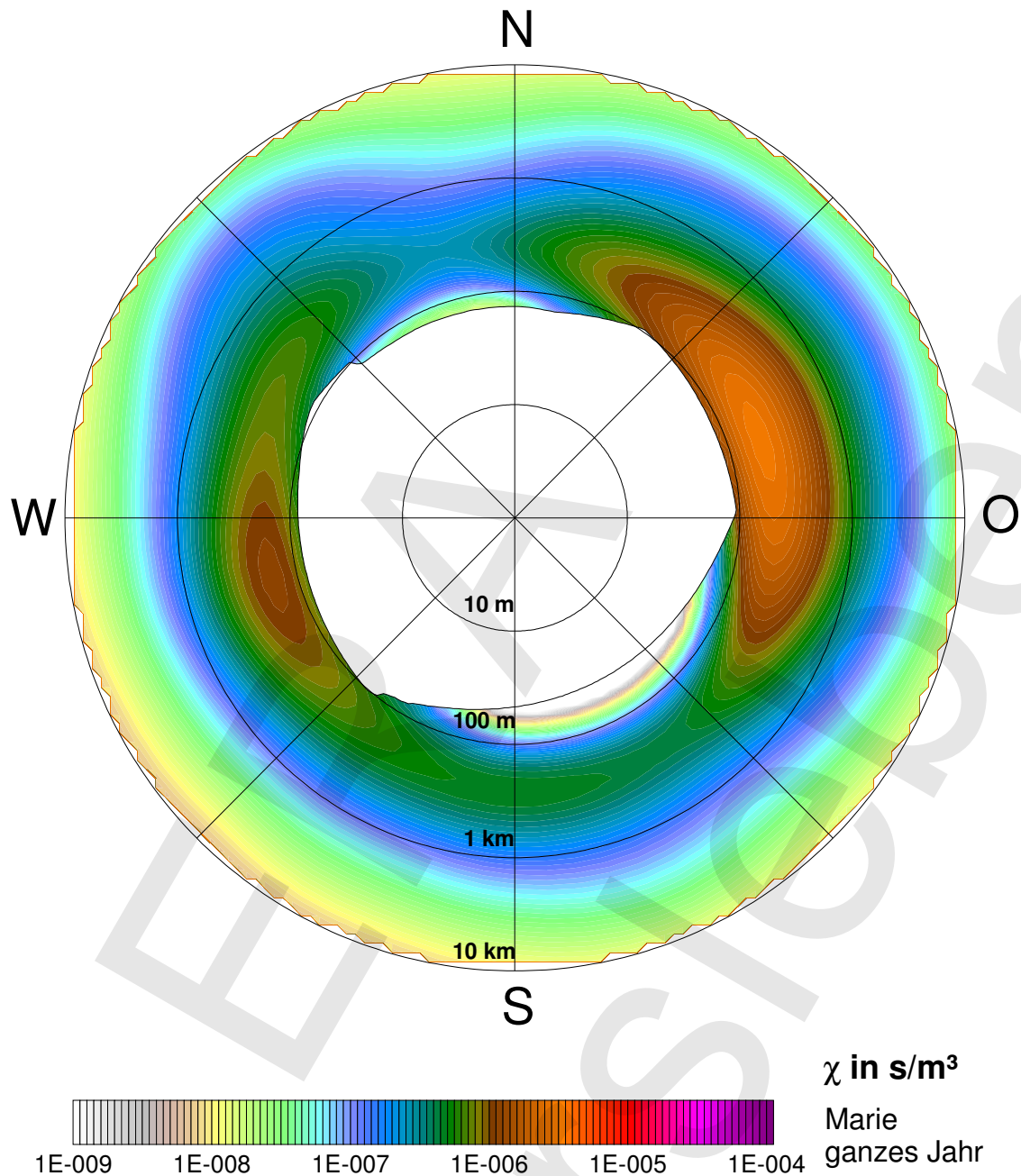


Abb. 4.3 Langzeit-Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das ganze Jahr, mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

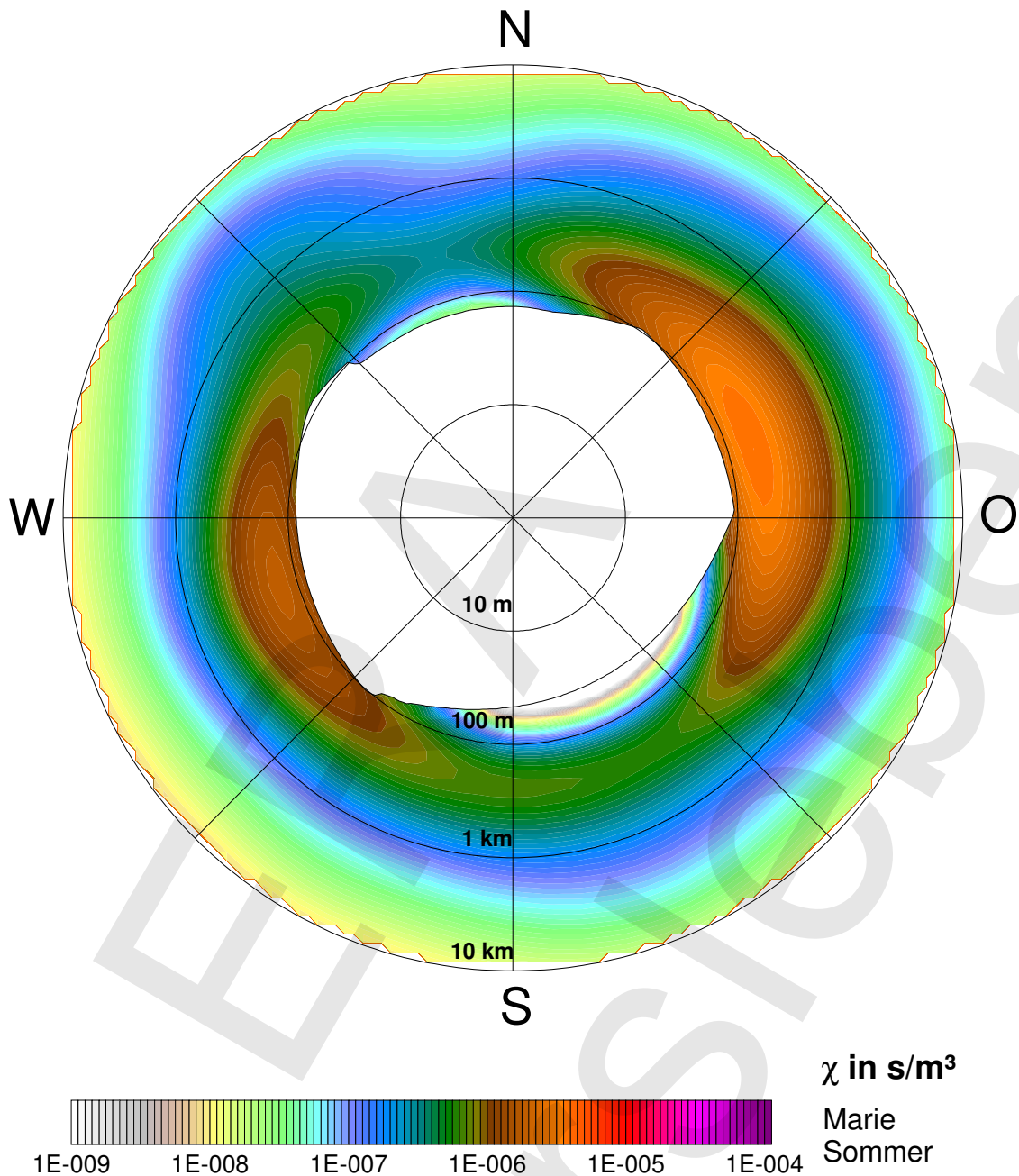


Abb. 4.4 Langzeit-Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das Sommerhalbjahr, mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

4.3 Langzeit-Washoutfaktor

Die Abbildungen 4.6 bis 4.9 zeigen die zweidimensionalen Verteilungen der bodennahen Washoutfaktoren für das ganze Jahr bzw. für das Sommerhalbjahr für die Standorte Bartensleben und Marie.

Es ergeben sich an beiden Standorten nur sehr geringe Abweichungen zwischen Sommerhalbjahr und dem ganzen Jahr. Die Verteilung korreliert weitgehend mit den in Abbildung 2.4 dargestellten Windrichtungsverteilungen. Eine Ausnahme bildet jedoch das Fehlen eines im Nordwesten der Anlage zu vermutenden Nebenmaximums. Die Ursache dafür ist aus der in Abbildung 4.5 dargestellten Niederschlagswindrose für den Standort Bartensleben zu ersehen. Sie gibt an, wie viel Prozent des gesamten Niederschlags bei einer bestimmten Windrichtung fielen. Man kann erkennen, dass im Gegensatz zu Abbildung 2.4. bei Wind aus südöstlichen Richtungen nahezu keine Niederschlagsereignisse stattgefunden haben.

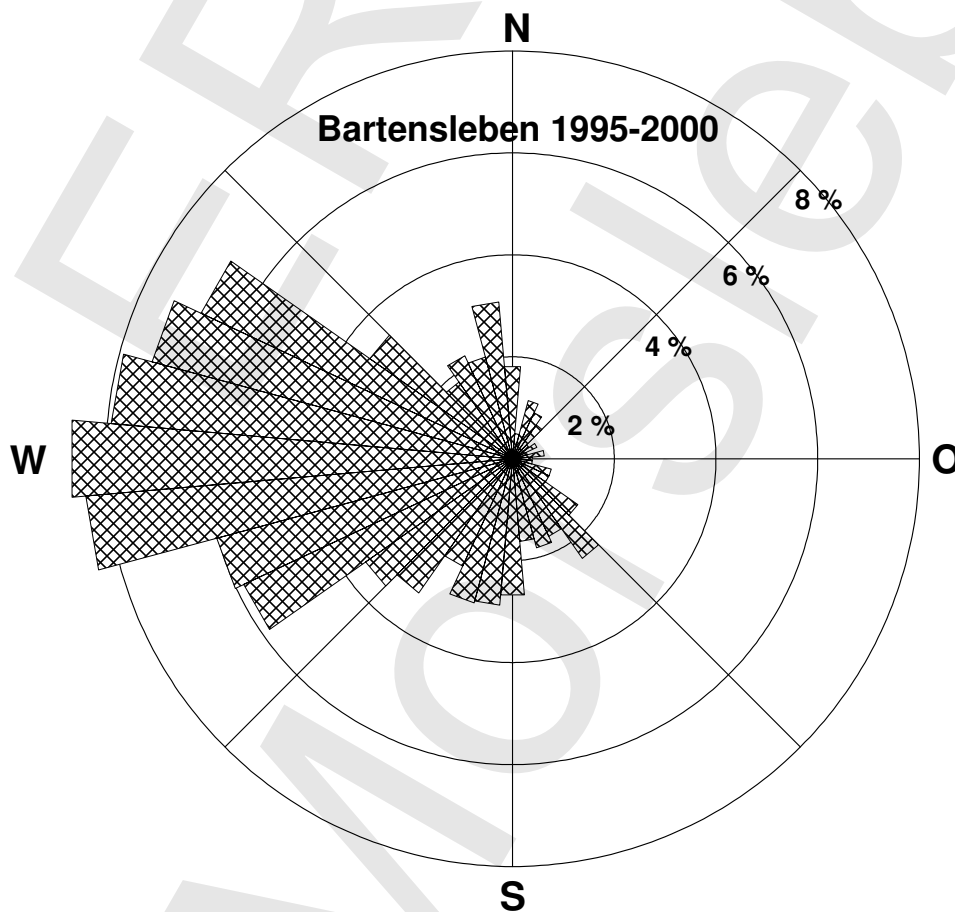


Abb. 4.5 Niederschlagswindrose der Jahre 1995 bis 2000 für den Standort Bartensleben

Die Lage der Maxima der Langzeit-Washoutfaktoren für die Standorte Bartensleben und Marie ist aus den Tabellen 4.5 bis 4.8 zu ersehen. Die ungünstigsten Aufpunkte für die nasse Deposition ergeben sich direkt hinter dem Zaun des Betriebsgeländes in ost/südöstlicher Richtung in etwa 190 m (Bartensleben), bzw. in 56 m Entfernung (Marie) von der Austrittsöffnung.

Tab. 4.5 Lage der Maxima der Langzeit-Washoutfaktoren für den Schacht Bartensleben

W in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
1,6·10 ⁻⁹	190 m	Ost/Südost (120°)	ganzes Jahr
1,3·10 ⁻⁹	130 m	Nord (5°)	
2,2·10 ⁻⁹	190 m	Ost/Südost (120°)	Sommerhalbjahr
1,5·10 ⁻⁹	130 m	Nord (5°)	

Tab. 4.6 Lage der Maxima der Langzeit-Washoutfaktoren für den Schacht Marie

W in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
6,4·10 ⁻⁹	56 m	Ost/Südost (110°)	ganzes Jahr
5,1·10 ⁻⁹	100 m	Ost (80°)	
8,4·10 ⁻⁹	56 m	Ost/Südost (110°)	Sommerhalbjahr
5,7·10 ⁻⁹	100 m	Ost (80°)	

Tab. 4.7 Werte der Langzeit-Washoutfaktoren an den Stellen der maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Bartensleben

W in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
1,6·10 ⁻⁹	260 m	Ost (95°)	ganzes Jahr
5,9·10 ⁻¹⁰	170 m	Nordwest (305°)	
1,7·10 ⁻⁹	260 m	Ost (95°)	Sommerhalbjahr
5,4·10 ⁻¹⁰	170 m	Nordwest (305°)	

Tab. 4.8 Werte der Langzeit-Washoutfaktoren an den Stellen der maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie

W in 1/m ²	Entfernung	Richtung	
$2,6 \cdot 10^{-9}$	190 m	Ost/Nordost (75°)	ganzes Jahr
$3,1 \cdot 10^{-10}$	170 m	West/Südwest (255°)	
$3,3 \cdot 10^{-9}$	170 m	Ost/Nordost (75°)	Sommerhalbjahr
$2,9 \cdot 10^{-10}$	150 m	West/Südwest (255°)	
$2,9 \cdot 10^{-9}$	190 m	Ost/Nordost (75°)	
$2,5 \cdot 10^{-10}$	170 m	West/Südwest (255°)	

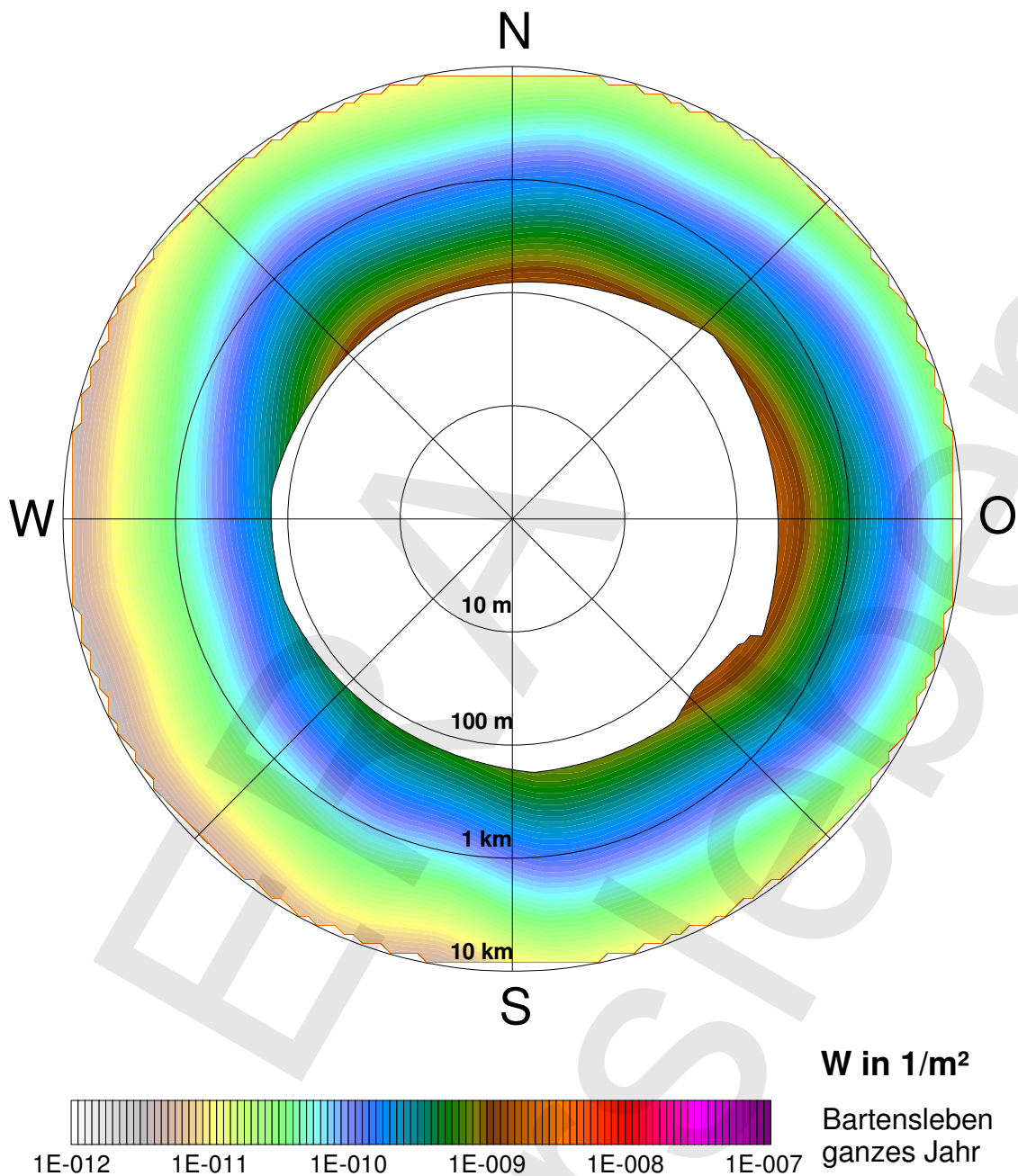


Abb. 4.6 Langzeit-**Washoutfaktor** W in $1/m^2$ für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das **ganze Jahr**, mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

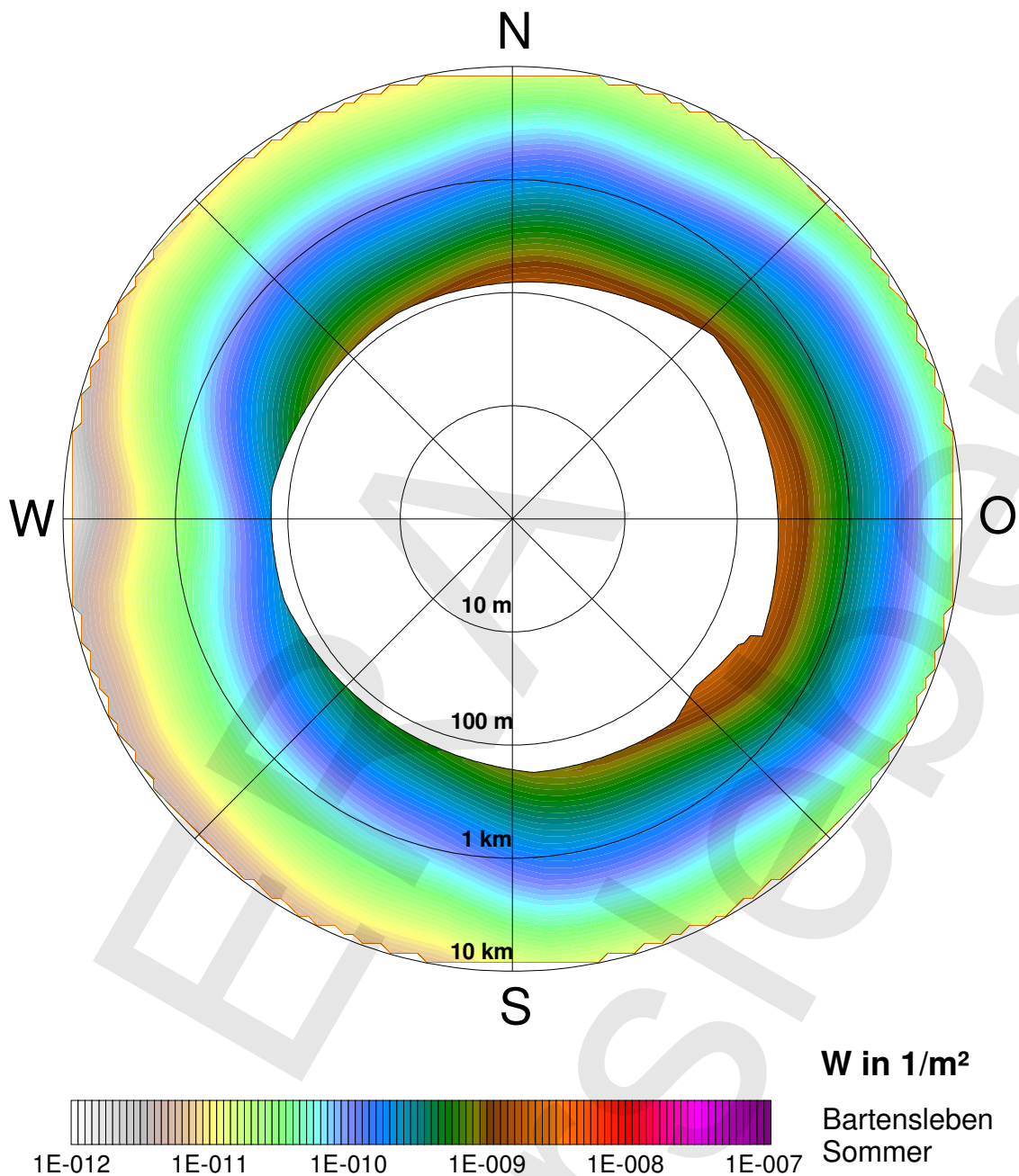


Abb. 4.7 Langzeit-Washoutfaktor W in $1/m^2$ für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das Sommerhalbjahr, mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

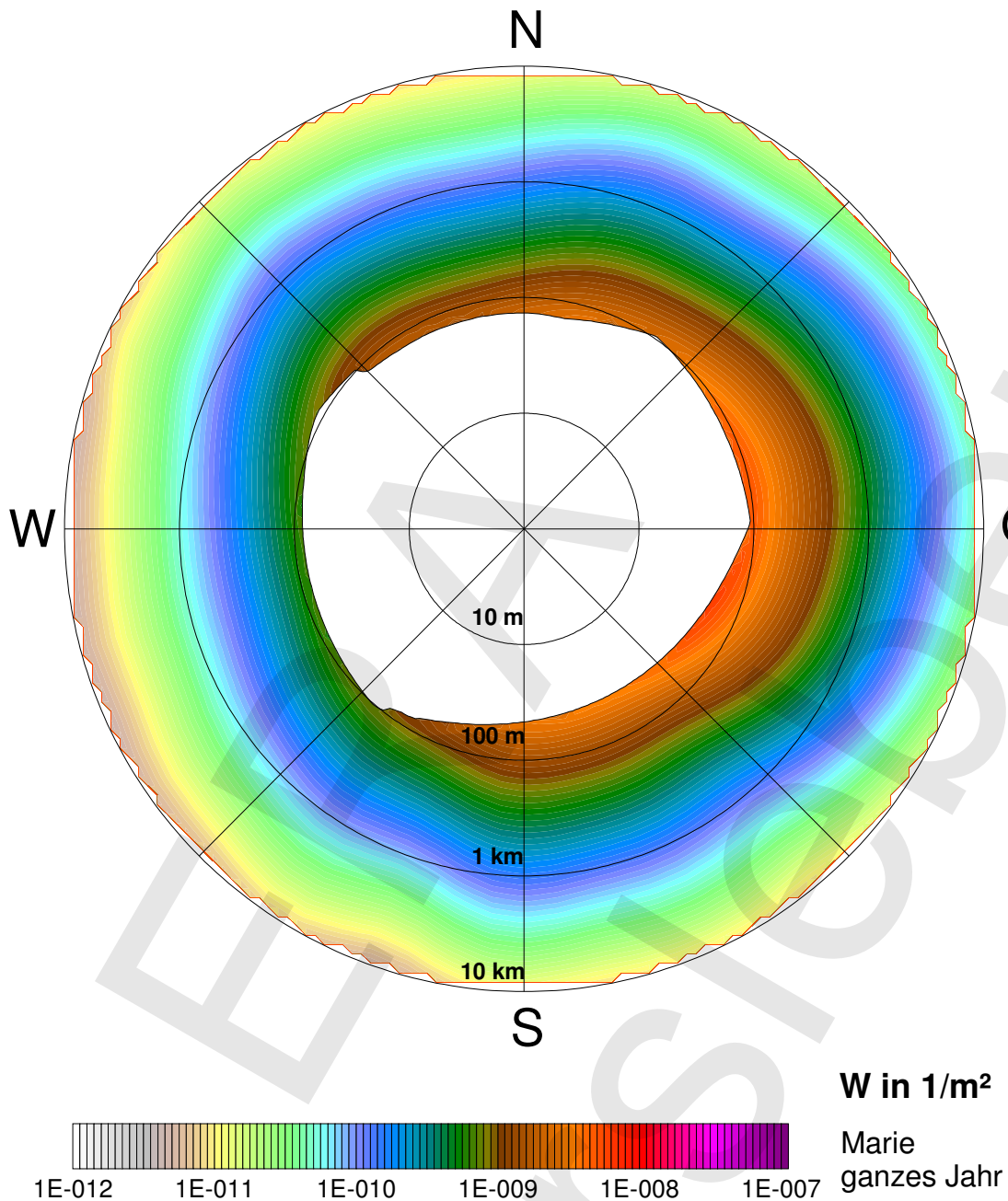


Abb. 4.8 Langzeit-Washoutfaktor W in $1/m^2$ für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das ganze Jahr, mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

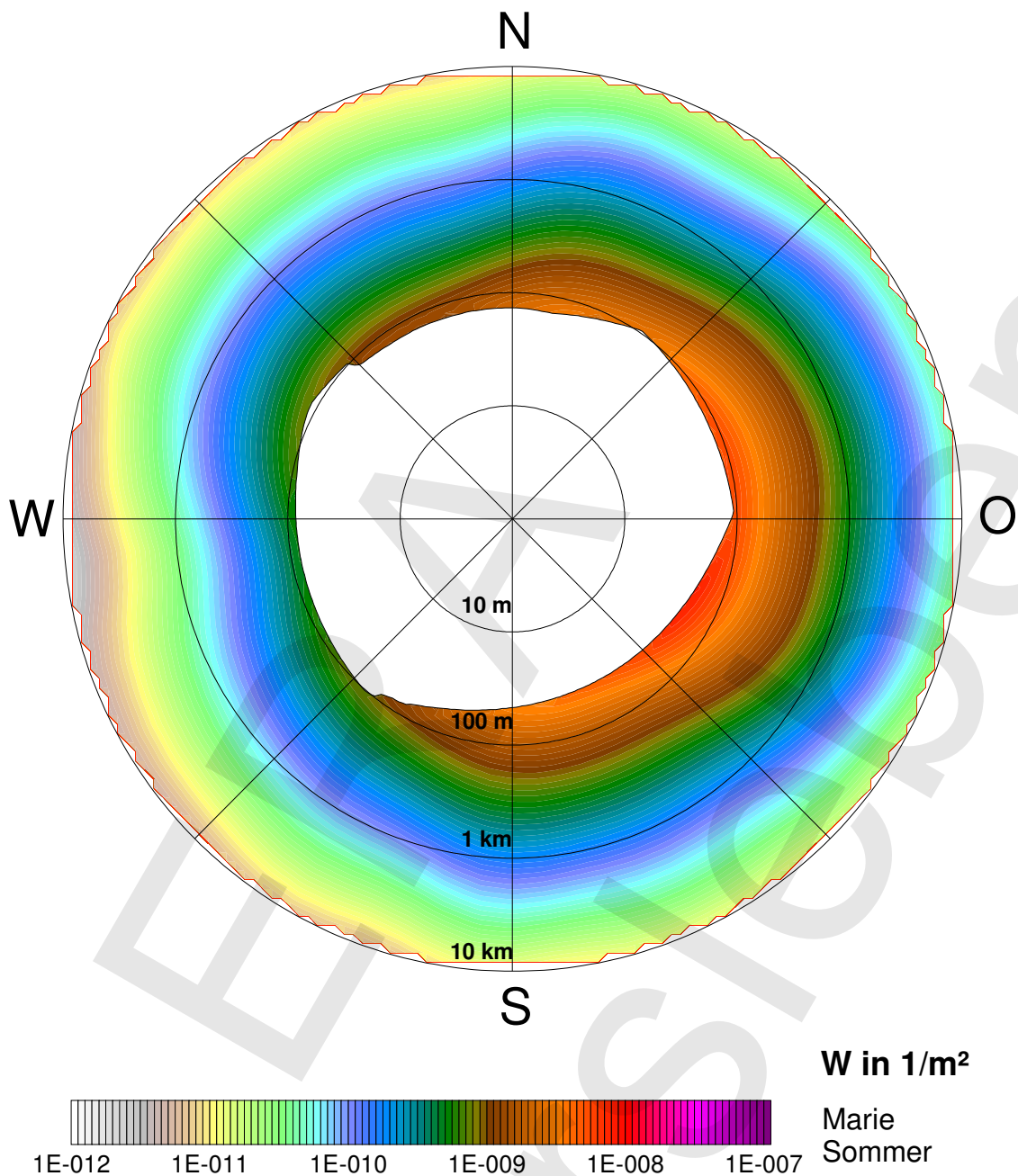


Abb. 4.9 Langzeit-Washoutfaktor W in $1/m^2$ für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das Sommerhalbjahr, mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.

5 Überlagerungseffekte

Aufgrund der räumlichen Nähe der beiden Emittenten Schacht Marie und Schacht Bartensleben (s. Abb. 2.2) muss bei der Berechnung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren gegebenenfalls eine Überlagerung der beiden Quellen berücksichtigt werden. Der Abstand beträgt etwa 1,7 km. Von Schacht Marie aus liegt der Schacht Bartensleben in der Richtung 160° (entsprechend liegt der Schacht Marie aus Sicht des Schachts Bartensleben in der Richtung 340°)

Zur Ermittlung der Überlagerung beider Quellen wurden die Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für Marie für den Richtungssektor 160° sowie für Bartensleben für den Richtungssektor 340° (jeweils ganzes Jahr) berechnet und addiert. Dabei wurden für beide Quellen wiederum die, für die Stilllegungsphase angenommenen Randbedingungen, beibehalten. Die Abbildung 5.1 zeigt diese Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren von Marie und Bartensleben.

Die blaue Kurve zeigt den Verlauf des Langzeit-Ausbreitungsfaktors für Bartensleben im Sektor 340° . Die rote Kurve entspricht dem Verlauf des Langzeit-Ausbreitungsfaktors für Marie im Sektor 160° . Die gestrichelten blauen und roten Kurven geben die für den jeweiligen Standort berechneten Maximalwerte (siehe Tab. 4.1 und 4.2) an. Diese Maximalwerte ergaben sich nicht für die hier betrachteten Sektoren. Aufgrund der vergleichbaren Emissionsverhältnisse haben die Kurven einen ähnlichen Verlauf. Danach liegt der Anteil von Bartensleben am Standort Marie (und umgekehrt) bei etwa $1 \cdot 10^{-7} \text{ s/m}^3$.

Der Ausbreitungssektor 340° ist für den Schacht Bartensleben aufgrund der meteorologischen Standortbedingungen kein Hauptsektor. Die maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren in Bartensleben ergeben sich mit $1,9 \cdot 10^{-6}$ in Richtung 85° . Der Anteil von Marie am Maximalwert beträgt demnach nur etwa 5 %. Noch geringer ist der Anteil der Emissionen aus dem Schacht Bartensleben am Standort Schacht Marie mit etwa 3,5 %.

Für die nach dem selben Verfahren ermittelten Anteile bei den Langzeit-Washoutfaktoren ergibt sich mit 1,2 % Einfluss von Bartensleben bei Marie und 4,0 % Einfluss von Marie an Standort Bartensleben ein noch geringerer Überlagerungseffekt.

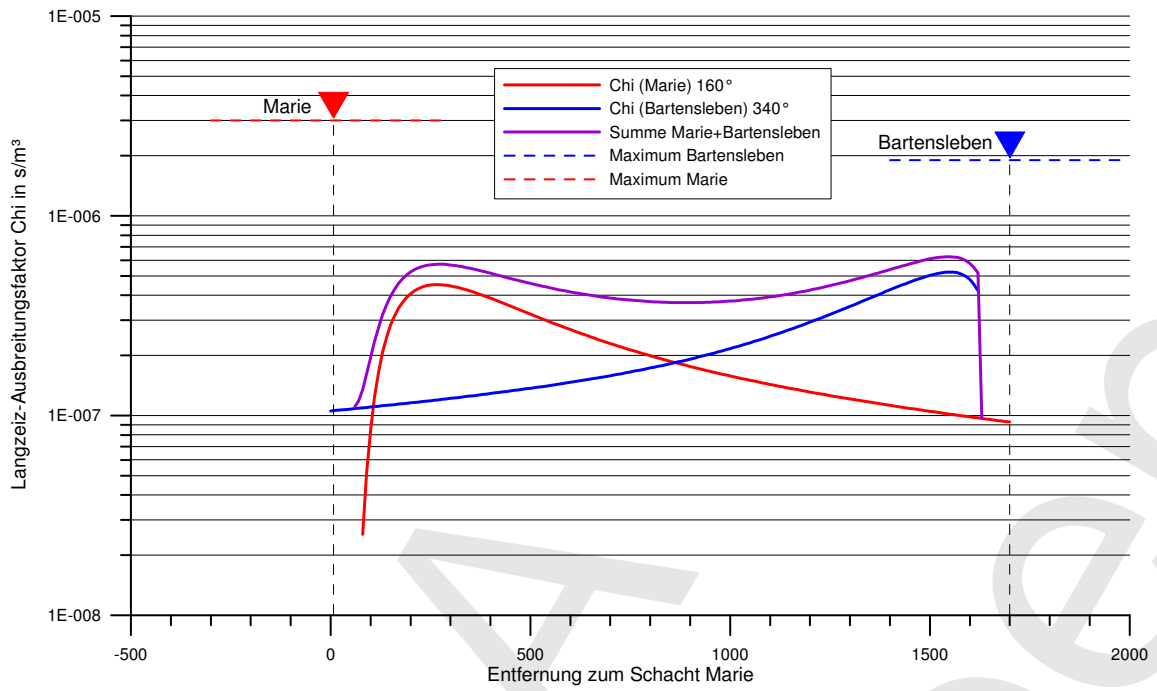


Abb. 5.1 Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren von Marie und Bartensleben

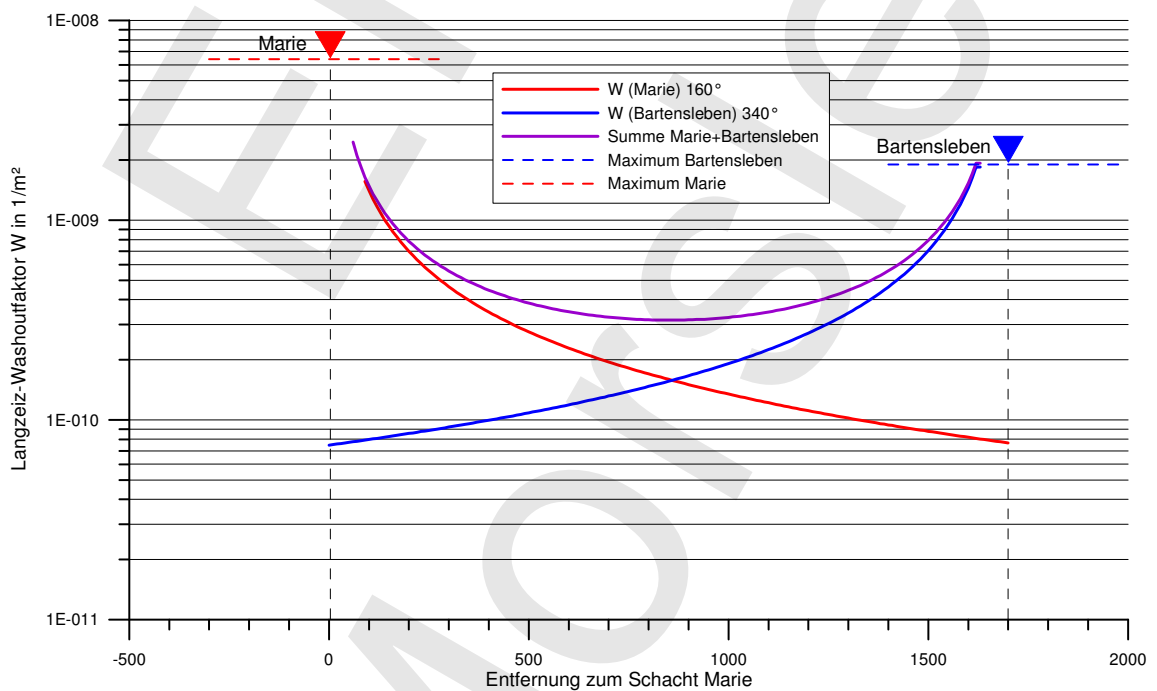


Abb. 5.2 Überlagerung der Langzeit-Washoutfaktoren von Marie und Bartensleben

Tab. 5.1 Langzeit-Ausbreitungs- Fallout- und Washoutfaktoren

	Schacht Bartensleben	Schacht Marie
Lage des Aufpunktes	Am Schacht Marie	Am Turm von Bartensleben
CHI _{ganzes Jahr} (s/m ³)	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$9,3 \cdot 10^{-8}$
CHI _{Sommer} (s/m ³)	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$
F _{ganzes Jahr} (m ⁻²)	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$
F _{Sommer} (m ⁻²)	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
W _{ganzes Jahr} (m ⁻²)	$7,5 \cdot 10^{-11}$	$7,7 \cdot 10^{-11}$
W _{Sommer} (m ⁻²)	$6,5 \cdot 10^{-11}$	$9,6 \cdot 10^{-11}$
CHI _{Gamma} (s/m ²)	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$

Die Tabelle 5.1 enthält die für die Dosisberechnungen relevanten Größen Chi, F und W der Emissionen des Schachts Bartensleben am Standort Marie (und umgekehrt) für das ganze Jahr und das Sommerhalbjahr. Die Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für Gamma-Subersion CHI_{Gamma} wurden mit dem vereinfachten Verfahren nach /BFS 05/ abgeschätzt.

Die Abbildung 5.2, c) enthält die flächenhafte Darstellung der Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren der Einflüsse der Quellen Schacht Marie a) und Schacht Bartensleben b). Der Vergleich der Verteilungen ergibt eine deutliche Vergrößerung der Fläche mit Ausbreitungsfaktoren über $4 \cdot 10^{-7}$ s/m³ (dunkelgrüner Bereich). Eine Erhöhung der Maximalkonzentrationen bei Schacht Marie und Schacht Bartensleben ist hingegen nur in geringem Maße zu erkennen.

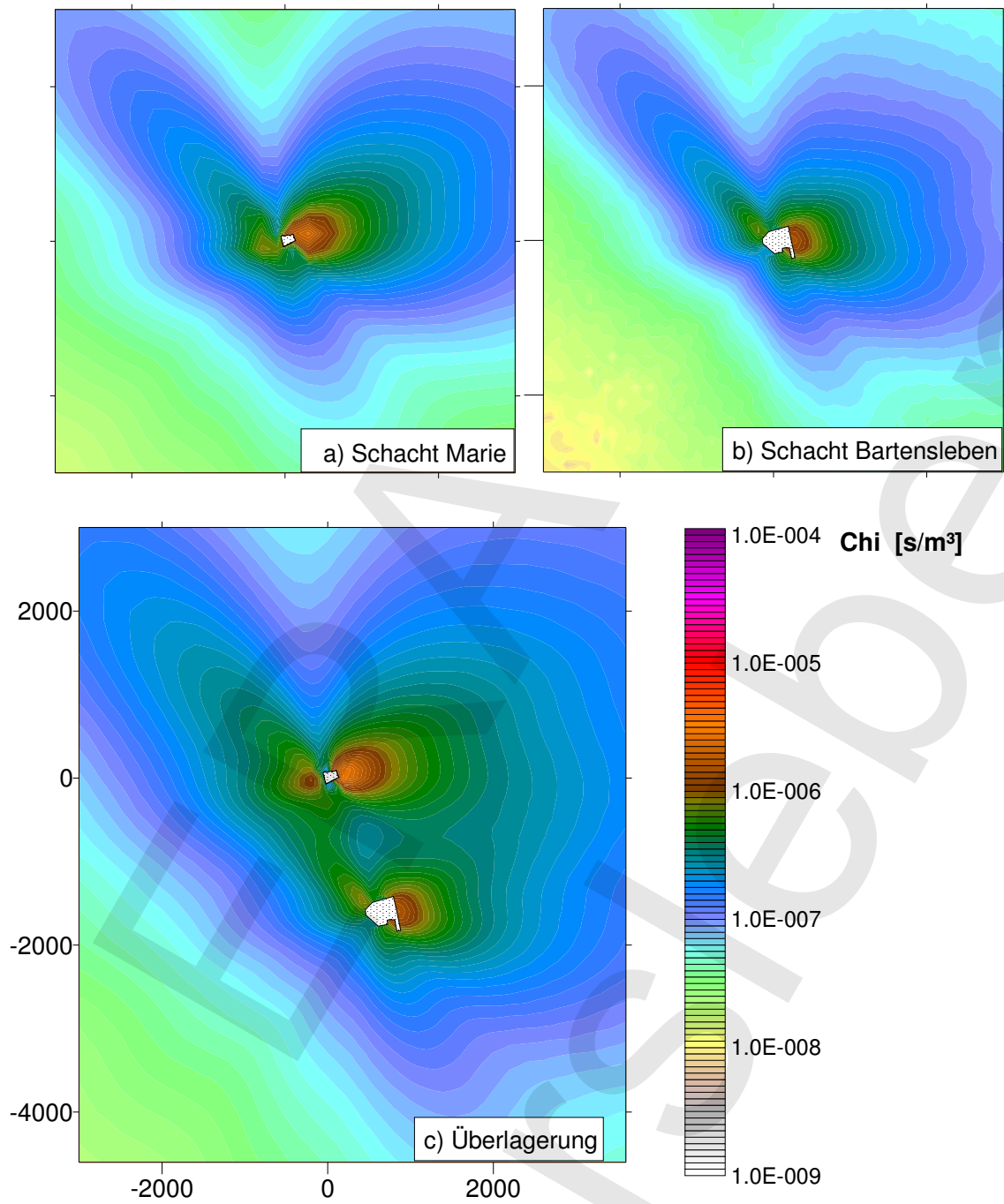


Abb. 5.3 Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren Marie<-->Bartensleben

6 Literaturverzeichnis

- /AVV 90/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen.
Bundesanzeiger (42. Jahrg.), Nr. 64a vom 31. März 1990
- /BFS 02/ Bundesamt für Strahlenschutz
Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV
Stand 11. 11. 2002
- /BFS 05/ Bundesamt für Strahlenschutz
Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV
Stand 13. 05. 2005
- /BON 82/ Bonka, H.
Strahlenexposition durch radioaktive Emissionen aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb.
TÜV Rheinland, 1982
- /BRI 84/ Briggs, G. A.
Plume Rise and Buoyancy Effects,
in D. Randerson: Atmospheric Science and Power Production, Office of Scientific and Technical Information,
United States Department of Energy, 1984
- /DBE 06/ Edel, T.
ERA Morsleben, Abwetterbauwerk Schacht Marie, Druckentlastungsklappen in der Schachthalle Marie
DBE, 30.3.2006
- /GRS 94/ Becker, A., F. Lange, R. Martens, K. Maßmeyer
Ermittlung der Strahlenexposition durch genehmigte betriebliche Ableitungen des ERAM mit den Abwettern,
GRS, Juni 1994

- /SBG 94/ Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (Neufassung der 'Berechnung der Strahlenexposition') vom 29. Juni 1994, Bundesanzeiger Nr. 222a vom 26. November 1994
- /TAL 02a/ Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit
Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002,
Gemeinsames Ministerialblatt vom 30. Juli 2002
(GMBI. 2002, Heft 25 - 29, S. 511 - 605)
- /TAL 02b/ AUSTAL2000, Ausbreitungsprogramm zum Anhang 3 „Ausbreitungsrechnung“ der neuen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft.
<http://www.austal2000.de/austal2000.htm>, <http://www.grs.de/austal/>
- /VDI 85/ Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre, Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung,
Richtlinie VDI 3782, Blatt 3, Juni 1985

7 Abkürzungen

AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
DBE	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfall- stoffe mbH
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

8 Tabellen

Tab. 3.1	Berechnungsverfahren der thermischen Kaminüberhöhung in /SBG 94/ ..	13
Tab. 3.2	Emissionsparameter für die Ausbreitungsrechnungen Schacht Marie und Schacht Bartensleben.....	22
Tab. 4.1	Lage der Maxima der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Bartensleben	28
Tab. 4.2	Lage der Maxima der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie	28
Tab. 4.3	Lage der Maxima der Langzeit-Falloutfaktoren für den Schacht Bartensleben	29
Tab. 4.4	Lage der Maxima der Langzeit-Falloutfaktoren für den Schacht Marie.....	29
Tab. 4.5	Lage der Maxima der Langzeit-Washoutfaktoren für den Schacht Bartensleben	35
Tab. 4.6	Lage der Maxima der Langzeit-Washoutfaktoren für den Schacht Marie ..	35
Tab. 4.7	Werte der Langzeit-Washoutfaktoren an den Stellen der maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Bartensleben.....	35
Tab. 4.8	Werte der Langzeit-Washoutfaktoren an den Stellen der maximalen Langzeit-Ausbreitungsfaktoren für den Schacht Marie.....	36
Tab. 5.1	Langzeit-Ausbreitungs- Fallout- und Washoutfaktoren.....	43

9 Abbildungen

Abb. 2.1	Windrichtungsverteilung für den Standort Bartensleben (1995 bis 2000) ..	7
Abb. 2.2	Lage der Emittenten Schacht Marie und Schacht Bartensleben	7
Abb. 2.3	Strömungssimulation bei Übertragung der meteorologischen Daten vom Standort Bartensleben (Q2) auf den Standort Marie (Q1)	9
Abb. 2.4	Häufigkeitsverteilungen von Windgeschwindigkeit (oben) und Windrichtung (unten) für die Standorte Marie und Bartensleben	10
Abb. 3.1:	I_g in Abhängigkeit von der Windrichtung	15
Abb. 3.2	Verlauf des Anlagenzaunes und die Lage des Quellortes für die Schachtanlage Bartensleben	17
Abb. 3.3	Verlauf des Anlagenzaunes und die Lage des Quellortes für die Schachtanlage Marie	18
Abb. 3.4	Schematische Darstellung der Absenkung der Fahnenachse in Abhängigkeit von der Geländesteigung und der Entfernung vom Quellort	19
Abb. 3.5	Geländesteigungen in Morsleben aus Sicht der Abwetteröffnung Bartensleben	20
Abb. 3.6	Korrektur der effektiven Emissionshöhe am Standort Schacht Bartensleben durch orographischen Einfluss.....	20
Abb. 3.7	Komplementär-kumulative Häufigkeitsverteilung des Kurzzeit-Ausbreitungsfaktors bei anomaler Betriebsführung am Schacht Marie für den Zeitraum 1995 - 2000	25
Abb. 3.8	Komplementär-kumulative Häufigkeitsverteilung des Kurzzeit-Washoutfaktors bei anomaler Betriebsführung am Schacht Marie für den Zeitraum 1995 - 2000	26
Abb. 4.1	Langzeit- Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das ganze Jahr ,	

	mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	30
Abb. 4.2	Langzeit- Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das Sommerhalbjahr , mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	31
Abb. 4.3	Langzeit- Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das ganze Jahr , mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	32
Abb. 4.4	Langzeit- Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das Sommerhalbjahr , mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	33
Abb. 4.5	Niederschlagswindrose der Jahre 1995 bis 2000 für den Standort Bartensleben	34
Abb. 4.6	Langzeit- Washoutfaktor W in $1/\text{m}^2$ für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das ganze Jahr , mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	37
Abb. 4.7	Langzeit- Washoutfaktor W in $1/\text{m}^2$ für den Standort Bartensleben mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der meteorologischen Standortdaten ERAM (1995-2000) für das Sommerhalbjahr , mit Gebäude- und Orographieeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.....	38
Abb. 4.8	Langzeit- Washoutfaktor W in $1/\text{m}^2$ für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis der von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das ganze Jahr ,	

mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände.
..... 39

Abb. 4.9 Langzeit-Washoutfaktor W in $1/m^2$ für den Standort Marie mit thermischer oder mechanischer Überhöhung auf der Basis von Bartensleben übertragenen meteorologischen Daten (1995-2000) für das **Sommerhalbjahr**, mit Gebäudeeinfluss. Die helle Fläche kennzeichnet das Betriebsgelände..... 40

Abb. 5.1 Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren von Marie und Bartensleben 42

Abb. 5.2 Überlagerung der Langzeit-Washoutfaktoren von Marie und Bartensleben 42

Abb. 5.3 Überlagerung der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren Marie \leftrightarrow Bartensleben 44