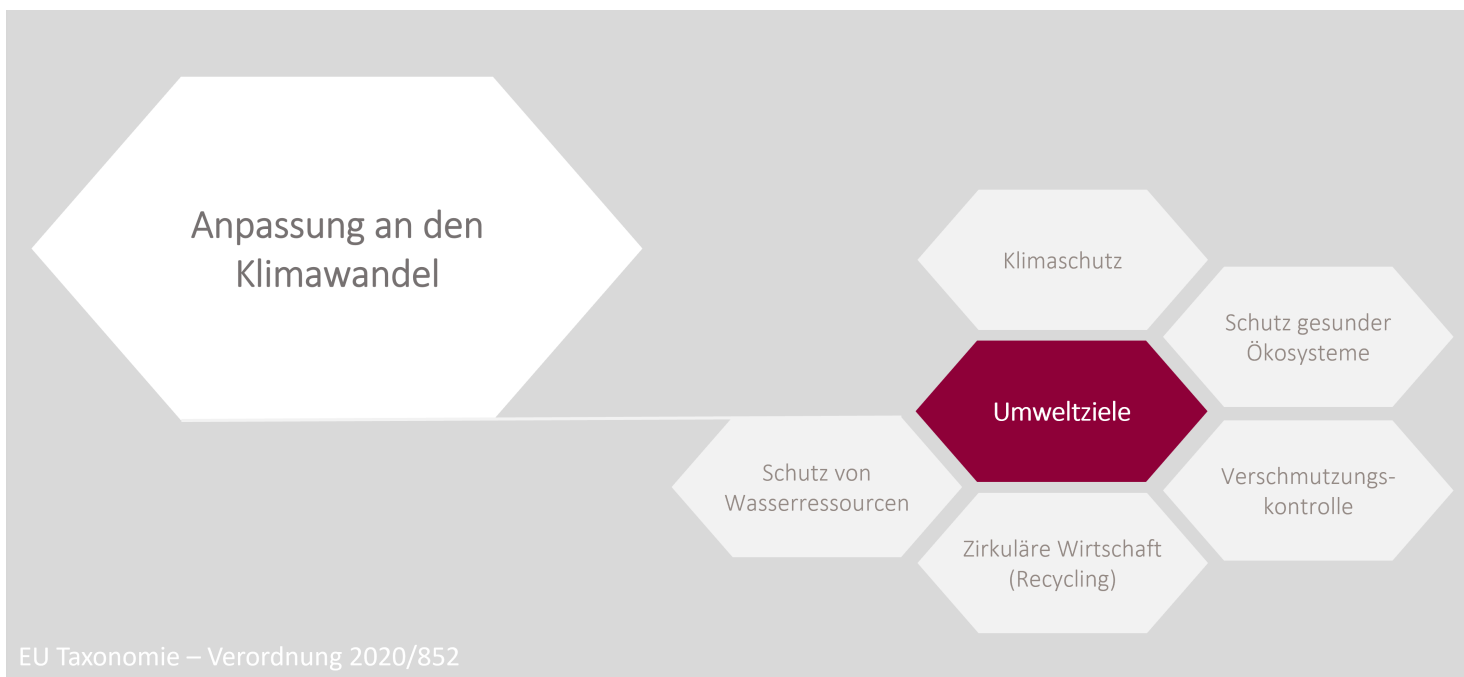


## **K.A.R.L.® Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalyse**

Prüfung der physischen Risiken im Rahmen des Umweltzieles 2

„Anpassung an den Klimawandel“ aus der EU-Taxonomie-Verordnung (2020/852)



### Standortinformationen

**Adresse:** Tokyo Skytree. Japan

**Latitude:** 35,710045

**Longitude:** 139,810695

**Höhe (m ü. NN.):** 1,70

### Objekttyp

**K.A.R.L.<sup>®</sup>-Vulnerabilität:**

IMCL03

**Vereinfachte Vulnerabilität:**

Immobilie

### Auftragsdaten

**Datum der Analyse:** 05.02.2026

**Kunde:** Wahrzeichen

**Taxonomie-Version:** 1.0.0.0

## Übersicht der Klimarisikobewertung

**Standortdaten:** Tokyo Skytree. Japan (35,710045 / 139,810695)

**Objekttyp:** Immobilie (IMCL03)

|                   | Klimabezogene Gefahr      | Typ       | Aktuelles Risiko* | Worst-Case Risiko<br>Zukunft** | Kapitel |
|-------------------|---------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|---------|
| <b>Temperatur</b> | Änderung Temperatur       | chronisch | vernachlässigbar  | gering                         | 1.1     |
|                   | Hitzestress               | chronisch | gering            | mittel                         | 1.2     |
|                   | Temperaturvariabilität    | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 1.3     |
|                   | Abtauen Permafrost        | chronisch | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 1.4     |
|                   | Hitzewelle                | akut      | gering            | mittel                         | 1.5     |
|                   | Kältewelle / Frost        | akut      | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 1.6     |
|                   | Wald- / Flächenbrand      | akut      | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 1.7     |
| <b>Wind</b>       | Änderung Wind             | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 2.1     |
|                   | Zyklon, Hurrikan, Taifun  | akut      | mittel            | mittel                         | 2.2     |
|                   | Sturm                     | akut      | mittel            | mittel                         | 2.3     |
|                   | Tornado                   | akut      | gering            | gering                         | 2.4     |
| <b>Wasser</b>     | Änderung Niederschlag     | chronisch | gering            | gering                         | 3.1     |
|                   | Niederschlagsvariabilität | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 3.2     |
|                   | Versauerung Ozeane        | chronisch | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 3.3     |
|                   | Salzwasserintrusion       | chronisch | gering            | gering                         | 3.4     |
|                   | Meeresspiegelanstieg      | chronisch | mittel            | mittel                         | 3.5     |
|                   | Wasserknappheit           | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 3.6     |
|                   | Dürrestress               | akut      | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 3.7     |
|                   | Starkniederschlag         | akut      | gering            | gering                         | 3.8     |
|                   | Hochwasser                | akut      | gering            | gering                         | 3.9     |
|                   | Überlaufen Gletscherseen  | akut      | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 3.10    |
| <b>Feststoff</b>  | Küstenerosion             | chronisch | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 4.1     |
|                   | Bodendegradierung         | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 4.2     |
|                   | Bodenerosion              | chronisch | vernachlässigbar  | vernachlässigbar               | 4.2     |
|                   | Solifluktion              | chronisch | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 4.3     |
|                   | Lawine                    | akut      | ausgeschlossen    | ausgeschlossen                 | 4.4     |
|                   | Erdbeben                  | akut      | gering            | gering                         | 4.5     |
|                   | Bodenabsenkung            | akut      | mittel            | mittel                         | 4.6     |

\*Das aktuelle Risiko bezieht sich auf die Gefährdungssituation der nahen Vergangenheit (1985 bis 2014) in Abhängigkeit zur Empfindlichkeit des betrachteten Untersuchungsobjektes. \*\*Das „Worst-Case“-Risiko ist das höchste Risiko, das aus allen Szenarien und Zeiträumen bestimmt wird.

## Hinweise zur Bewertung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer von der KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH durchgeführten Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalyse für ein gewähltes Untersuchungsobjekt dar. Die angewandte Analyse erfüllt alle in der EU-Taxonomieverordnung gestellten Anforderungen an eine robuste Klimarisikoanalyse, die zur Einhaltung des Umweltzieles 2 „Anpassung an den Klimawandel“ erforderlich sind.

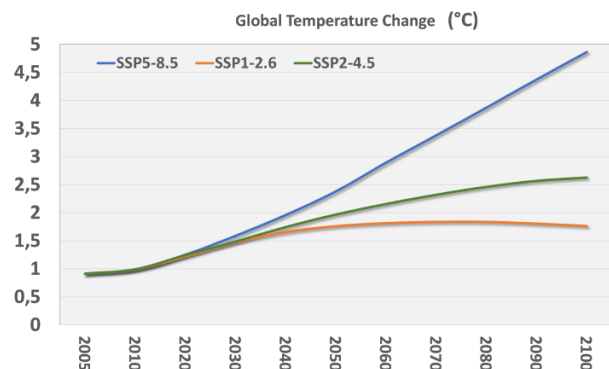
Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden 28 sowohl chronische als auch akute Naturgefahren standortbezogen analysiert. Das Ziel ist, alle für das Untersuchungsobjekt wesentlichen Risiken zu identifizieren, sowohl für aktuelle als auch für zukünftige Klimabedingungen. Hierzu wurden Beobachtungsdaten und ein Ensemble aus 20 Klimamodellen unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Emissionsszenarien für vier Zeiträume (um 2000, 2030, 2050, 2085) ausgewertet.

### Emissionsszenarien

In den Analysen werden drei Emissionsszenarien getrennt voneinander berücksichtigt, zwei extreme (SSP1-2.6, SSP5-8.5) und ein mittleres Szenario (SSP2-4.5), um die gesamte Spannweite der aktuell denkbaren Entwicklungen abzudecken.

**SSP1-2.6** ist das Szenario mit dem geringsten Anstieg der Emissionen ab dem Jahr 2020. Bei diesem Szenario bleibt die globale Temperaturzunahme gegenüber vorindustriellen Zeiten unter 2 °C, was nur durch weitreichende, global wirkende Klimaschutzmaßnahmen erreicht werden kann.

**SSP5-8.5** beschreibt den stärksten Anstieg der Emissionen. Bei diesem Szenario werden im globalen Mittel Temperaturanstiege von ca. 5 °C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwartet.



Globale Temperaturzunahme gegenüber vorindustrieller Zeit. Schematische Darstellung.

### Grundlagen zur Risikoermittlung

Als Ergebnis wird für jede Naturgefahr eine Einschätzung des standort- und objektbezogenen Risikos ausgegeben. Das Risiko setzt sich also zusammen aus der Gefährdung am Standort durch die jeweilige Naturgefahr (Gefährdungsanalyse) auf der einen Seite und den damit verbundenen möglichen Schäden am Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität) auf der anderen Seite.

**Akute vs. chronische Naturgefahren** Zur Berechnung des Risikos ist es wichtig, zwischen chronischen und akuten Gefahren zu unterscheiden: Akute Naturgefahren sind plötzliche und kurzfristige Ereignisse wie Stürme oder Überschwemmungen mit unmittelbaren, oft verheerenden Auswirkungen auf Menschen, Eigentum und Umwelt. Chronische Naturgefahren hingegen entwickeln sich über einen längeren Zeitraum, wie beispielsweise der langsam steigende Meeresspiegel oder langanhaltende Dürren, die kontinuierliche Auswirkungen auf bestimmte Regionen oder Ökosysteme haben.

**Gefährdungsanalyse** Der erste Schritt zur Risikoeinschätzung beinhaltet die Auswertung relevanter Datensätze, um die lokale Gefährdungssituation der jeweiligen Naturgefahr bewerten zu können. Dabei muss bei akuten Gefahren geklärt werden, wie oft ein Standort von einem Ereignis, beispielsweise von einem Hochwasser oder einem Sturm einer bestimmten Stärke, getroffen werden kann. Bei chronischen Naturgefahren handelt es sich um eine Einschätzung der allgemeinen Situation also z.B. wie sich langfristig die Wasserverfügbarkeit oder der Meeresspiegel an einem Standort verändert. Die für die Gefährdungsanalyse verwendeten Datengrundlagen werden im Bericht zusätzlich zum ermittelten Risiko ausgegeben.

**Vulnerabilität** Wie empfindlich ein Untersuchungsobjekt auf ein Naturereignis einer bestimmten Intensität reagiert, wird mit Hilfe der Vulnerabilität beschrieben. So haben beispielsweise bestimmte temperaturbezogene Naturgefahren oft keinen relevanten Einfluss auf die reine Gebäudestruktur, während sie für die Landwirtschaft sehr entscheidend sein können. Hagelschäden an massiven Neubauten sind oft vernachlässigbar vor allem gemessen am Wert des Objektes, während Hagelschäden an Autos schnell zu einem Totalschaden führen können.

**Risikoeinstufung** Für die vorliegende Analyse wurde eine vorab definierte Vulnerabilität ausgewählt. Nur so kann abgeschätzt werden, mit welchem Ausmaß an Schäden langfristig am Objekt im Bezug auf die ermittelte Gefährdungssituation gerechnet werden muss. Der daraus gewonnene langfristige Schadenswert entspricht dem Risiko. Darüber hinaus werden für einige Naturgefahren zusätzliche Standortfaktoren (wie z.B. Schutzvorrichtungen oder spezielle Exponierung des Standortes) bei der Ermittlung des Risikos berücksichtigt, die die lokale Risikosituation beeinflussen können.

Die ermittelten Risikowerte werden nach einem fünfstufigen, qualitativen Klassifizierungssystem (Ampelfarben) ausgegeben. Die Bedeutungen der einzelnen Risikoklassen im Hinblick auf mögliche Schäden und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen werden in der folgenden Tabelle beschrieben. 'No Data'-Einträge bedeuten, dass aktuell für die Gefahr und/oder den Zeitraum keine Daten zur Verfügung stehen.

| Risikoeinstufung | Schäden                                                                                                                           | Anpassungsmaßnahmen                                                                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ausgeschlossen   | Ein Auftreten der Naturgefahr am Standort bzw. eine Beeinträchtigung des Untersuchungsobjektes kann <b>ausgeschlossen</b> werden. | Anpassungsmaßnahmen sind nicht notwendig.                                                                                   |
| vernachlässigbar | Mögliche Schäden sind <b>vernachlässigbar</b> .                                                                                   | Anpassungsmaßnahmen sind nicht notwendig.                                                                                   |
| gering           | Mögliche Schäden sind <b>gering</b> . Keine Substanzschäden.                                                                      | In Einzelfällen ist eine Überprüfung des Standortes angebracht. Anpassungsmaßnahmen können in Ausnahmefällen sinnvoll sein. |
| mittel           | Schäden eines <b>mittleren Ausmaßes</b> sind möglich bzw. substantielle Schäden sind in Extremfällen nicht ausgeschlossen.        | Eine Prüfung der Situation vor Ort wird dringend empfohlen. Anpassungsmaßnahmen müssen von Fall zu Fall entschieden werden. |
| hoch             | Ein <b>wesentliches Risiko</b> wurde identifiziert. Substantielle Schäden sind möglich.                                           | Wirksame Anpassungsmaßnahmen sind notwendig, um eine Reduzierung des Risikos zu erlangen (Taxonomiekonformität).            |

Die Bestimmung aller wesentlichen Risiken erfolgt anhand geeigneter, offiziell anerkannter und globaler Daten und Methoden, die den Nutzern in einem separaten Handbuch ausführlich beschrieben werden.

Die vorliegende K.A.R.L. Klima- und Vulnerabilitätsanalyse wurde automatisch erstellt und nicht durch Experten der KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH geprüft. Sollten Sie Fragen zu den Ergebnissen haben oder Erläuterungen wünschen, bieten wir Ihnen Beratung durch unsere Experten zu günstigen Konditionen an.

**Team K.A.R.L. (team.karl@koeln-assekuranz.com)**

## Generelle K.A.R.L.-Empfehlungen:

Es wurden Risiken für den aktuellen oder einen zukünftigen Zeitraum identifiziert, die als mittelöder höher eingestuft wurden. Vor diesem Hintergrund ist zu empfehlen, folgende Fragen bzw. offenen Punkte zu klären. Derzeit werden nur Empfehlungen für die KARL Risiken ausgegeben.

**STURM UND/ODER TORNADO:** Überprüfen Sie, ob es am Standort oder seiner näheren Umgebung Gegenstände, Gebäudeteile o.ä. gibt, die bei Sturm abgerissen oder aufgewirbelt werden und Schäden anrichten könnten. Kontrollieren Sie weiterhin, ob Dachkonstruktionen ausreichend befestigt sind und Türen, Tore oder Fenster einem hohen Winddruck standhalten. Gegebenfalls müssen fachkundige Sachverständige mit entsprechenden Untersuchungen beauftragt werden. Klären Sie außerdem, ob Notfall- bzw. Evakuierungspläne für Krisensituationen existieren.

## Detaillierte Beschreibung der Gefahren

### 1 Temperaturabhängige Risiken

#### 1.1 Temperaturänderung (chronisch)

Die vorliegende Analyse befasst sich mit den Auswirkungen, die sich aus einer langsamen und kontinuierlichen Veränderung der Jahresmitteltemperatur ergeben. Extremereignisse werden hier nicht berücksichtigt. Die Risikobestimmung basiert auf der Jahresmitteltemperatur und ihren schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität).

**Hinweis:** Es wird nur die Veränderung der Lufttemperatur analysiert. Änderungen der Wassertemperaturen sind für die betrachteten Objekte in der Regel nicht relevant.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) beträgt die Jahresmitteltemperatur am Standort **15,80 °C**. In diesem Zeitraum ist die Jahresmitteltemperatur um **0,023 °C** pro Jahr gestiegen.

Aufgrund der gewählten Vulnerabilität ist mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch die Jahresmitteltemperatur auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 1 listet mögliche zukünftige Änderungen der Jahresmitteltemperatur auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Eine maximale Änderung der Jahresmitteltemperatur wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Zunahme** von **+4,25 °C** gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximale projizierte Jahresmitteltemperatur ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

|                              | Referenz | Szenario | Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |               |             |
|------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|---------------|-------------|
|                              |          |          | kurzfristig                          | mittelfristig | langfristig |
|                              |          |          | 2015-2044                            | 2035-2064     | 2070-2099   |
| Jahresmitteltemperatur<br>°C | 15,80    | SSP1-2.6 | +1,07                                | +1,32         | +1,55       |
|                              |          | SSP2-4.5 | +0,98                                | +1,66         | +2,47       |
|                              |          | SSP5-8.5 | +1,13                                | +2,20         | +4,25       |

**Tabelle 1:** Projizierte Änderungen der Jahresmitteltemperatur für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Sich ändernde Jahresmitteltemperaturen wirken sich vor allem auf die Produktion in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei aus. Sie sind auch für andere Aktivitäten im Zusammenhang mit Ökosystemen von Bedeutung, wie z.B. für die Wiederherstellung von Ökosystemen, den Tourismus oder die Wassernutzung als Kühlwasser. Darüber hinaus können steigende Temperaturen auch zu Gesundheitsproblemen führen, weil es z.B. mehr Krankheitsüberträger (d.h. Tigermücke, Zecken, etc.) gibt oder sich die Allergie-Saison verlängert.

## 1.2 Hitzestress (chronisch)

Unter Hitzestress wird die allgemeine Belastung für Mensch und Umwelt durch anhaltend hohe Temperaturen verstanden. Die Risikobestimmung basiert dabei auf einem von der KA entwickelten Hitzestress-Index und den damit verbundenen schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität).

Der Hitzestress-Index bezieht sich in erster Linie auf die Dauer von Hitzewellen, die durch anhaltend hohe Temperaturen sowohl am Tag als auch in der Nacht eine besondere Gefahr darstellen. Die Indexwerte reichen von 0 bis 10, wobei der Wert 0 für keinen Stress und 10 für extrem belastende und häufig wiederkehrende Situationen mit hohen Temperaturen steht.

**Aktuelle Bedingungen** Mit einem derzeitigen Hitzestress-Index von **7,20** liegt der untersuchte Standort in einem Gebiet mit **einer starken Belastung** durch Hitzestress.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** durch Hitzestress auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 2 listet mögliche zukünftige Hitzestress-Indizes auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Ein maximaler Hitzestress wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einem Wert **10** projiziert. Dies entspricht **einer sehr starken Belastung**.

Für den maximalen projizierten Hitzestress ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem mittleren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein mittleres Risiko**.

|                   |           | Projizierte Hitzestress-Indizes |             |               |             |
|-------------------|-----------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                   | Referenz  | Szenario                        | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                   | 1985-2014 |                                 | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| Hitzestress-Index | 7,20      | SSP1-2.6                        | 7,80        | 8,20          | 8,20        |
|                   |           | SSP2-4.5                        | 7,70        | 8,30          | 9,10        |
|                   |           | SSP5-8.5                        | 7,90        | 8,70          | 10,00       |

**Tabelle 2:** Projizierte Hitzestress-Indizes für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte sind Summen aus den Werten des Referenzzeitraumes (ERA5) und den mittleren Anomalien des Modellensembles. Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Hitzestress kann die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit beeinträchtigen – insbesondere in nicht klimatisierten Räumen oder bei Arbeiten im Freien. Hitze kann auch Materialien schädigen (z.B. durch Verformung) und so zur Beeinträchtigung von Produktionsmitteln und Infrastruktur führen. Darüber hinaus kann erhöhter Hitzestress schwerwiegende Risiken für die menschliche Gesundheit mit sich bringen, die von verringerter Arbeitsproduktivität bis zu hitzebedingten Todesfällen reichen. Vor allem in städtischen Gebieten ist verstärkt mit den Auswirkungen von Hitzestress zu rechnen.

### 1.3 Temperaturvariabilität (chronisch)

Als Temperaturvariabilität werden Schwankungen der Temperaturen im Tages- oder Jahresverlauf verstanden. Hierbei handelt es sich um eine chronische Gefahr, die sich zum Beispiel durch eine langsame Veränderung des klimatischen Mittels einstellen kann.

Die Risikobestimmung basiert auf der durchschnittlichen Differenz zwischen der täglichen Maximal- und Minimaltemperatur und deren Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität).

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) beträgt die mittlere tägliche Temperaturdifferenz am Standort **6,36 °C**.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch die tägliche Temperaturdifferenz auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 3 listet mögliche zukünftige Änderungen der täglichen Temperaturdifferenzen auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Eine maximale Veränderung wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Abnahme** von **-0,11 °C** der täglichen Temperaturdifferenz gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximale projizierte mittlere tägliche Temperaturschwankung ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                                 | Referenz | Szenario | Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |               |             |
|-------------------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|---------------|-------------|
|                                                 |          |          | kurzfristig                          | mittelfristig | langfristig |
|                                                 |          |          | 2015-2044                            | 2035-2064     | 2070-2099   |
| Mittlere tägliche<br>Temperaturschwankung<br>°C | 6,36     | SSP1-2.6 | 0,00                                 | +0,03         | +0,08       |
|                                                 |          | SSP2-4.5 | +0,05                                | +0,02         | +0,05       |
|                                                 |          | SSP5-8.5 | 0,00                                 | -0,04         | -0,11       |

**Tabelle 3:** Projizierte Änderungen der mittleren täglichen Temperaturdifferenz für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Veränderungen in der Temperaturvariabilität haben ähnliche Effekte wie der mittlere Temperaturanstieg (siehe 1.1), d.h. in erster Linie sind Land- und Forstwirtschaft sowie Fischereiwesen von den Auswirkungen betroffen. Extreme Temperaturunterschiede, insbesondere im Tagesverlauf, können sich aber auch negativ auf Baumaterialien oder Infrastruktur auswirken, z.B. auf Straßenbeläge oder Schienen. Der schädliche Einfluss auf Gebäude ist grundsätzlich eher gering. Jedoch werden in Regionen mit hohen täglichen sowie jahreszeitlichen Temperaturschwankungen Materialien (wie z.B. Verkleidungen, Fensterrahmen, Dichtungen) stärker beansprucht und können somit anfälliger für z.B. Hagelschäden werden.

Häufig geht der Anstieg der Durchschnittstemperaturen mit Temperaturextremen und damit auch mit einer erhöhten Temperaturvariabilität einher. Das bedeutet, dass in Regionen mit einem starken Anstieg der Durchschnittstemperaturen auch die Temperaturvariabilität zunehmen wird (z.B. im Mittelmeerraum).

## 1.4 Auftauen von Permafrost (chronisch)

Permafrostböden sind dauerhaft gefrorene Böden, die in polaren Regionen und Gebirgen auftreten. Laut Definition müssen die Böden mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre dauerhaft gefroren sein. Nur im Sommer können die Oberflächen der Dauerfrostböden ca. einen halben Meter tief auftauen.

In der vorliegenden Analyse werden Permafrost-Simulationen zur Abschätzung der Gefährdung genutzt. Diese geben die prozentuale Ausdehnung des Permafrostbodens der Vergangenheit (1960 – 1990) und für verschiedene Erwärmungsszenarien (von +1 °C bis +6 °C) an. Die Erwärmungsszenarien decken somit alle modellierten Temperaturanstiege der üblicherweise berücksichtigten Emissionsszenarien ab.

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Aufgrund seiner Lage kann **ausgeschlossen** werden, dass sich der Standort aktuell im Permafrostgebiet befindet. Da alle betrachteten Emissionsszenarien zu einem Anstieg der globalen Temperatur in den nächsten Jahrzehnten führen, kann auch **ausgeschlossen** werden, dass am Standort in Zukunft Permafrost vorhanden sein wird.

**Generelle Auswirkungen** Weicht Permafrostboden auf, hat dies Auswirkungen auf die Landschaft, Infrastruktur, Wirtschaft und Bevölkerung vor Ort. Das Schmelzen des unregelmäßig verteilten Eises führt zu ungleichmäßigem Absinken der Landoberfläche, wodurch u.a. Straßen, Eisenbahnschienen, Landebahnen, Gebäude, und Öl- und Gas-Pipelines absacken können. Durch Rückkopplungseffekte wirkt sich das Auftauen des Permafrostbodens wiederum auf das weltweite Klima und das ganze Ökosystem aus, da dadurch weitere Treibhausgase freigesetzt werden, die die Erderwärmung beschleunigen.

## 1.5 Hitzewelle (akut)

Eine Hitzewelle ist ein Zeitraum mit ungewöhnlich heißem Wetter, der besonders belastend für Menschen und Umwelt ist. Im Sinne dieser Analyse liegt eine Hitzewelle vor, wenn an mindestens drei aufeinander folgenden Tagen die Tageshöchsttemperatur größer als 30 °C („Heiße Tage“) ist und nachts die Temperaturen nicht unter 20 °C („Tropische Nächte“) fallen. Die Risikobestimmung basiert auf der mittleren Anzahl an Hitzewellentagen pro Jahr am Standort und deren schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität).

**Hinweis:** In vielen Regionen, einschließlich Mitteleuropa, werden sehr niedrige Werte ( $< 1$ ) im Referenzzeitraum ausgegeben, die der Definition einer Hitzewelle und der persönlichen Erfahrung zu widersprechen scheinen. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Ein entscheidender Grund ist die Mittelwertbildung, die für eine Klima-Aussage notwendig ist. Beispiel: Ein Hitzewellenwert von 0,5 entspricht insgesamt 15 Hitzewellentagen innerhalb des 30-jährigen Referenzzeitraumes. Jahre ohne Hitzewellen (im Sinne der Definition) gehen mit einem Wert von 0 in die Mittelung ein. Der Referenzzeitraum (1985 – 2014) war noch nicht so deutlich vom Klimawandel beeinflusst und die Wahrscheinlichkeit für Hitzewellen war daher geringer. Lokale Temperaturphänomene (insbesondere solche wie städtische Wärmeinseln, die wiederum auch stadtplanerisch verändert werden können) können von den Klimamodellen nicht ausreichend erfasst werden, was lokal zu geringen Abweichungen von den Beobachtungen führen kann.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) wurden jährlich gemittelt **73,60 Hitzetage** am Standort festgestellt, die Teil einer Hitzewelle waren.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** durch Hitzewellen auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 4 listet mögliche zukünftige Veränderungen der Hitzewellentage auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen am Standort berechnet wurden. Eine maximale Veränderung wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Zunahme** von durchschnittlich **+46,2** Hitzewellentagen gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximalen projizierten Hitzewellentage ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem mittleren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein mittleres Risiko**.

|                                                |           | Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |             |               |             |
|------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                                | Referenz  | Szenario                             | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                                | 1985-2014 |                                      | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Hitzewellentage</b><br><i>Tage pro Jahr</i> | 73,60     | SSP1-2.6                             | +2,70       | +4,90         | +4,40       |
|                                                |           | SSP2-4.5                             | +1,60       | +5,90         | +14,60      |
|                                                |           | SSP5-8.5                             | +3,30       | +12,50        | +46,20      |

**Tabelle 4:** Projizierte Änderungen der Hitzewellentage für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Hitzewellen beeinträchtigen in erster Linie die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit sowie Wohlbefinden – insbesondere in nicht klimatisierten Räumen oder bei der Arbeit im Freien. Darüber hinaus können Hitzewellen zu einer Verschlechterung der Luftqualität führen. Hitze kann auch materielle Schäden (z.B. durch Verformung) verursachen und damit Produktionsanlagen und Infrastruktur beeinträchtigen.

## 1.6 Kältewelle / Frost (akut)

Eine Kältewelle ist ein Zeitraum mit ungewöhnlich kalter Witterung. In dieser Analyse wird das Risiko durch Kältewellen anhand der Anzahl der jährlichen Frosttage (Tagesminimumtemperatur  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) und deren schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt analysiert.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) wurden jährlich gemittelt **20,80 Frosttage** am Standort festgestellt.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch Kältewellen auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 5 listet mögliche zukünftige Veränderungen der jährlichen Frosttage auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen am Standort berechnet wurden. Eine maximale Veränderung wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Abnahme** von durchschnittlich **-25,38** Frosttagen gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximalen projizierten Frosttage ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                          |           | Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |             |               |             |
|------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                          | Referenz  | Szenario                             | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                          | 1985-2014 |                                      | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Frosttage</b><br><i>Tage pro Jahr</i> | 20,80     | SSP1-2.6                             | -6,08       | -7,98         | -8,29       |
|                                          |           | SSP2-4.5                             | -6,41       | -10,06        | -15,28      |
|                                          |           | SSP5-8.5                             | -6,64       | -13,23        | -25,38      |

**Tabelle 5:** Projizierte Änderungen der jährlichen Frosttage für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Extreme Kälte kann negative Auswirkungen auf Materialien und Produktionsprozesse sowie auf die menschliche Gesundheit haben. Spätfröste sind insbesondere für den Obstbau ein Risiko, z.B. zur Zeit der Obstblüte. In Regionen mit bisher vorherrschendem kaltem Klima geht man davon aus, dass die Gebäude an die Kälte angepasst und daher die Auswirkungen niedriger Temperaturen im Allgemeinen gering sind. In ganz Europa ist bereits heute ein Rückgang der Kälteeinbrüche zu beobachten, der sich mit fortschreitendem Klimawandel noch verstärken dürfte. Dagegen hat die Gefahr von Spätfrösten in Europa in den letzten Jahren zugenommen.

## 1.7 Wald- und Flächenbrände (akut)

Wald- und Flächenbrände (im Folgenden als Waldbrand bezeichnet) sind meist nach längerer Trockenheit vorsätzlich, versehentlich oder durch natürliche Ursachen ausgelöste Feuer in Wald- und Flurbeständen. Das Risiko für das Auftreten eines Waldbrandes ist abhängig einerseits von den klimatologischen Bedingungen vor Ort und andererseits von der Menge an brennbaren Vegetationsbestandteilen in der näheren Umgebung des Standortes. Die vorliegende Risikoanalyse orientiert sich daher an zwei Größen, die diese genannten Bedingungen beschreiben:

1. Das **Potenzial für Waldbrand** wird aus verschiedenen, überwiegend klimatologischen Faktoren (relative Feuchte, Dürrestress, vorherrschende Windgeschwindigkeit, etc.) berechnet, die das Auftreten von Waldbränden beeinflussen können. So steigt mit dem Potenzial die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Waldbränden und deren Intensität (z.B. Dauer, Ausbreitungsgebiet). Das Waldbrandpotenzial wird als Indexzahl mit Werten zwischen 0 und 10 ausgegeben, wobei 10 für ein extrem hohes Waldbrandpotenzial auf Grund der vorherrschenden klimatologischen Bedingungen steht.
2. Der aus Landnutzungsdaten abgeleitete, vierstufige **Brennbarkeitsindex** zeigt an, ob und wie viel brennbare Vegetationsbestandteile in der Nähe des Standortes vorhanden sind (z.B. hat geschlossener Wald eine hohe und Graslandschaft eine geringe Brennbarkeit).

Das resultierende Risiko ist am höchsten, wenn die klimatologischen Bedingungen die Entstehung von Waldbränden begünstigen und gleichzeitig ausreichend brennbare Materialien in der Umgebung vorhanden sind.

**Aktuelle Bedingungen** Aufgrund der vorherrschenden klimatologischen Bedingungen am Standort im Referenzzeitraum (1985 – 2014) ist das Potenzial für Waldbrand **gering (3,5)**.

Der Standort befindet sich laut Landnutzungsdaten innerhalb eines urbanen Gebiets und es befinden sich keine Grünflächen in unmittelbarer Umgebung. Daher wird der **Anteil** an Vegetationsbestandteilen als **nicht relevant** eingestuft. Es besteht aufgrund der gewählten Vulnerabilität **kein relevantes Risiko** für Waldbrände.

**Hinweis:** Aufgrund möglicher Datenungenauigkeiten in den Landnutzungsdaten wird dringend empfohlen, die Vegetation in der unmittelbaren Umgebung des Standorts zu prüfen.

**Klimaausblick** Tabelle 6 listet mögliche zukünftige Waldbrandpotenziale auf, die auf Basis verschiedener Klimasimulationen berechnet wurden. Das maximale Potenzial für Waldbrände ist **mittel (3,8)** und wird für das Szenario **SSP1-2.6** und den Zeitraum **2035-2064** projiziert.

Damit besteht aufgrund der gewählten Vulnerabilität zukünftig maximal **ein vernachlässigbares Risiko** für Wald- und Flächenbrände.

**Hinweis:** Da Vorhersagen bzw. mögliche zukünftige Projektionen über die Entwicklung der Vegetationsbedingungen derzeit nicht vorliegen, erfolgt die Risikobewertung auf Grundlage der derzeitigen Landnutzungsdaten.

|                    |           | Projizierte Waldbrandpotenziale |             |               |             |
|--------------------|-----------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                    | Referenz  | Szenario                        | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                    | 1985-2014 |                                 | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| Waldbrandpotenzial | 3,5       | SSP1-2.6                        | 3,2         | 3,8           | 3,8         |
|                    |           | SSP2-4.5                        | 3,2         | 3,2           | 3,2         |
|                    |           | SSP5-8.5                        | 3,8         | 3,2           | 3,8         |

**Tabelle 6:** Projizierte zukünftige Waldbrandpotenziale für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Wald- und Flächenbrände stellen eine erhebliche Gefahr für soziale, wirtschaftliche oder ökologische Werte dar. Brände können nicht nur Objekte vollständig zerstören, sondern auch Schadstoffe (z.B. Feinstaub und Dioxine) freisetzen, die eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen. Zunehmende Hitze- und Dürreperioden aufgrund des Klimawandels tragen zur Ausdehnung der brandgefährdeten Gebiete und zur Verlängerung der Waldbrandsaison bei. Waldbrände verstärken wiederum die globale Erwärmung durch die Freisetzung von Treibhausgasen.

## 2 Windabhängige Risiken

### 2.1 Änderung der Windverhältnisse (chronisch)

Veränderungen der Windverhältnisse beschreiben langsame, chronische Veränderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten, die keine Extremereignisse beinhalten. Das Risiko wird anhand der modellierten Trends der mittleren Windgeschwindigkeit in 10 m über dem Boden und deren negativen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität) ermittelt.

**Aktuelle Bedingungen** Die **mittlere Windgeschwindigkeit** am Standort betrug im Referenzzeitraum (1985 – 2014) **8,27 km/h**.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch die mittleren Windgeschwindigkeiten auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 7 listet mögliche zukünftige Veränderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Die maximale Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit wird für das Szenario **SSP2-4.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Abnahme** von **-0,79 km/h** gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximale projizierte Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                                    |           | Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |             |               |             |
|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                                    | Referenz  | Szenario                             | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                                    | 1985-2014 |                                      | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Mittlere Windgeschwindigkeit</b><br><i>km/h</i> | 8,27      | SSP1-2.6                             | +0,11       | +0,18         | -0,29       |
|                                                    |           | SSP2-4.5                             | -0,54       | -0,58         | -0,79       |
|                                                    |           | SSP5-8.5                             | +0,43       | -0,25         | -0,58       |

**Tabelle 7:** Projizierte Änderungen der mittleren Windgeschwindigkeit für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Sich ändernde mittlere Windgeschwindigkeiten wirken sich in erster Linie auf den Windenergiesektor und die von ihm abhängigen Industrien und Bevölkerungsgruppen aus. Darüber hinaus wirken sich Veränderungen der Windmuster (manchmal in Kombination mit anderen klimatologischen Phänomenen, z.B. Trockenheit) auch auf mehrere anderen Sektoren aus. Stärkere Winde können zum Beispiel Trockenheit verstärken und für eine Intensivierung der Waldbrandsaison sorgen. Schwächere Winde können die Luftverschmutzung in den Städten erhöhen. Aber auch in der Natur spielen Winde eine wichtige Rolle. So beeinflusst der Wind beispielsweise das Wachstum, die Vermehrung und die Ausbreitung von Pflanzen.

## 2.2 Zyklon, Hurrikan, Taifun (akut)

Bei Zyklonen (nördlicher Indischer Ozean), Hurrikanen (Atlantik) und Taifunen (Pazifik) handelt es sich um tropische Wirbelstürme, die in unterschiedlichen Regionen der Welt auftreten. Alle tropischen Wirbelstürme entstehen über tropischen Gewässern (meist zwischen 20° N und 20° S) mit einer Meeresoberflächentemperatur von mindestens 26 °C als gewaltiger Tiefdruckwirbel, die einen Durchmesser von 1000 km erreichen können. Tropische Wirbelstürme können durch hohe Windgeschwindigkeiten, Sturmfluten und intensive Niederschläge enorme Schäden verursachen.

**Aktuelle Bedingungen** Der untersuchte Standort befindet sich in einem Gebiet, das anfällig für Taifune ist. Die Sturmanalyse (Kapitel 2.3) bezieht die mögliche Gefährdung durch Taifune mit ein.

**Klimaausblick** Ob und wie sich die räumliche Ausdehnung der Gebiete tropischer Wirbelstürme zukünftig verändern kann, wird in der vorliegenden Analyse nicht betrachtet. Die möglichen zukünftigen Risiken durch tropische Wirbelstürme sind Bestandteil der Sturmanalyse im nachfolgenden Kapitel.

**Generelle Auswirkungen** Tropische Wirbelstürme können großflächig katastrophale Zerstörungen durch hohe Windgeschwindigkeiten, Erdrutsche und Überschwemmungen anrichten. Dadurch können u.a. Wohnhäuser einer gesamten Region stark beschädigt werden. Auf See können Wirbelstürme durch Sturm und hohen Seegang die Schifffahrt gefährden. Laufen die windinduzierten Wellen auf den Küstenstreifen auf, können sie zu Überschwemmungen und Erosion führen.

## 2.3 Sturm (akut)

Als Sturm werden Starkwindereignisse mit Windgeschwindigkeiten von mindestens 75 km/h bezeichnet, da ab dieser Windgeschwindigkeit üblicherweise erste Sturmschäden auftreten können. Die Analyse des Sturmrisikos wird mit dem Naturgefahrenmodell K.A.R.L. durchgeführt. Die Berechnungen für den Referenzzeitraum basieren dabei auf der Auswertung von Winddaten einer Vielzahl an Wetterstationen weltweit. Zukünftige Trends werden anhand des Ensembles aus 20 Klimamodellen abgeschätzt.

K.A.R.L. unterscheidet nicht zwischen tropischen und extratropischen Stürmen. Darüber hinaus wird das digitale Höhenmodell genutzt, um lokale Windeffekte erfassen zu können.

Das von K.A.R.L. ausgegebene Risiko in Prozent pro Jahr (% p.a.) entspricht dem mittleren, jährlichen Schadenerwartungswert. Dies ist der Schaden, der im langfristigen statistischen Mittel pro Jahr durch die betrachtete Naturgefahr entsteht.

**Aktuelle Bedingungen** Das unter Berücksichtigung der Vulnerabilität von K.A.R.L. berechnete Sturmrisiko (bezogen auf das Jahr 2026) beträgt **0,3947 % p.a.** Damit liegt **ein mittleres Risiko** für das Untersuchungsobjekt vor.

**Klimaausblick** Tabelle 8 listet mögliche zukünftige Sturmrisiken (% p.a.) auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort ermittelt wurden.

Das maximale projizierte Sturmrisiko beträgt **0,4148 % p.a.** und wurde für den Zeitraum **2015-2044** und das Szenario **SSP1-2.6** projiziert. Daraus resultiert in Zukunft maximal **ein mittleres Sturmrisiko** für das Untersuchungsobjekt.

|                              | Referenz | Szenario | K.A.R.L. Sturmrisiko |               |             |
|------------------------------|----------|----------|----------------------|---------------|-------------|
|                              |          |          | kurzfristig          | mittelfristig | langfristig |
|                              | 2026     |          | 2015-2044            | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Sturmrisiko</b><br>% p.a. | 0,3947   | SSP1-2.6 | 0,4148               | 0,3481        | 0,3059      |
|                              |          | SSP2-4.5 | 0,3854               | 0,3743        | 0,3228      |
|                              |          | SSP5-8.5 | 0,3903               | 0,3624        | 0,3053      |

**Tabelle 8:** Projektionen des K.A.R.L. Sturmrisikos (% p.a.) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6) und unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität. Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus einer Vielzahl von weltweiten Beobachtungen gewonnen.

**Generelle Auswirkungen** Bei Stürmen mit anhaltend hoher Windgeschwindigkeit können vor allem der Winddruck und darauf aufsetzende stärkere Böen zu schweren Schäden an Infrastruktur und Gebäuden führen, wie z.B. abgedeckte Dächer und abgeknickte Bäume oder Strommasten. Durch herabfallende oder herumfliegende Gegenstände kann es zu Personenschäden kommen.

## 2.4 Tornado (akut)

Ein Tornado ist ein kleinräumiges, aber sehr intensives Sturmsystem, dessen Windgeschwindigkeiten von teilweise mehr als 400 km/h deutlich höher liegen als bei anderen Stürmen und damit ein hohes Schadenpotenzial bergen. Tornados sind in der Regel kurzlebig und haben eine geringe räumliche Ausdehnung mit Zugbahnen von normalerweise 1 km Länge oder weniger.

Das Tornado-Risiko wird mit Hilfe des Naturgefahrenmodells K.A.R.L. analysiert. Dazu werden regionale Klimaparameter und geografische Faktoren analysiert. Es wird angenommen, dass überall dort, wo Gewitter und Hagel möglich sind, auch Tornados auftreten können. Darüber hinaus wird berücksichtigt, dass weite Ebenen oder nur leicht hügeliges Gelände das Auftreten von Tornados begünstigen, während Tornados in hochalpinen Regionen fast unmöglich sind.

Da auf Grund der schmalen Zugschneise die Wahrscheinlichkeit gering ist, von einem Tornado getroffen zu werden, fallen selbst in Gebieten mit hoher Tornadogefährdung die berechneten Risiken im Vergleich zu anderen Gefahren niedrig aus. Das von K.A.R.L. ausgegebene Risiko in Prozent pro Jahr (% p.a.) entspricht dem mittleren, jährlichen Schadenerwartungswert. Dies ist der Schaden, der im langfristigen statistischen Mittel pro Jahr durch die betrachtete Naturgefahr entsteht.

**Aktuelle Bedingungen** Das von K.A.R.L. berechnete Tornadorisiko (bezogen auf das Jahr 2026) beträgt **0,0089 % p.a.** Damit liegt **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt vor.

**Klimaausblick** Tabelle 9 listet mögliche zukünftige Tornadorisiken (% p.a.) auf, die mit einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort ermittelt wurden. Das maximale projizierte Tornadorisiko beträgt **0,0087 % p.a.** und wurde für den Zeitraum **2015-2044** und das Szenario **SSP2-4.5** projiziert. Daraus resultiert in Zukunft maximal **ein geringes Tornadorisiko** für das Untersuchungsobjekt.

|                                | Referenz | Szenario | K.A.R.L. Tornadorisiko |               |             |
|--------------------------------|----------|----------|------------------------|---------------|-------------|
|                                |          |          | kurzfristig            | mittelfristig | langfristig |
|                                | 2026     |          | 2015-2044              | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Tornadorisiko</b><br>% p.a. | 0,0089   | SSP1-2.6 | 0,0085                 | 0,0076        | 0,0072      |
|                                |          | SSP2-4.5 | 0,0087                 | 0,0073        | 0,0058      |
|                                |          | SSP5-8.5 | 0,0082                 | 0,0062        | 0,0040      |

**Tabelle 9:** Projektionen des K.A.R.L. Tornadorisikos (% p.a.) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Die Schadenswirkung von Tornados ist zwar auf eine schmale Zugschneise beschränkt, jedoch bedingen die sehr hohen Windgeschwindigkeiten und die Windscherung (rasche Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderung) selbst für Massivbauten ein hohes Risiko. Grundsätzlich können Tornados Häuser und Autos zerstören und stellen eine Gefahr für Tiere, Menschen und Umwelt dar.

### 3 Wasserabhängige Risiken

#### 3.1 Änderung der Niederschlagsmuster und –arten (Regen, Hagel, Schnee/Eis) (chronisch)

Veränderungen in den Niederschlagsmustern beschreiben langsame Veränderungen von akkumulierten Niederschlagsmengen oder saisonalem Auftreten, wobei keine Extremereignisse berücksichtigt werden.

Die Risikobestimmung basiert auf den durchschnittlichen, jährlichen Niederschlagsmengen und deren schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität).

**Hinweis:** Es wird nicht nach der Niederschlagsart unterschieden. Grundsätzlich wird es aufgrund der langfristigen Erwärmung der Atmosphäre weniger Niederschlag in gefrorener Form geben. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass in einigen begrenzten Regionen lokale Phänomene auch zu mehr Hagel oder Schneefall führen können. Diese Themen werden im Kapitel 3.8 behandelt.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) beträgt die jährliche Niederschlagsmenge am Standort **1500,70 mm** pro Jahr. Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** durch die jährliche Niederschlagsmenge auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 10 listet mögliche zukünftige Änderungen der jährlichen Niederschlagsmenge auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Eine maximale Veränderung des Jahresniederschlags wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Zunahme von +104,6 mm** gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximale projizierte jährliche Niederschlagsmenge ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

|                                 |           | Projizierte Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |             |               |             |
|---------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                 | Referenz  | Szenario                                         | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                 | 1985-2014 |                                                  | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| jährl. Niederschlagsmenge<br>mm |           | SSP1-2.6                                         | +14,30      | +49,00        | +95,10      |
|                                 | 1500,70   | SSP2-4.5                                         | +10,80      | +55,00        | +85,10      |
|                                 |           | SSP5-8.5                                         | +1,50       | +37,80        | +104,60     |

**Tabelle 10:** Projizierte Änderungen der jährlichen Niederschlagsmengen für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Sich ändernde Niederschläge wirken sich vor allem auf die Wasserwirtschaft und Ökosysteme sowie auf die Produktion in der Land- und Forstwirtschaft aus. Dies ist auch für andere Aktivitäten in Zusammenhang mit Wassernutzung, wie Tourismus und Binnenschifffahrt von Bedeutung.

Die Veränderung von mittleren Niederschlägen hat keinen direkten oder nur einen geringen schädlichen Einfluss auf ein Gebäude. Lediglich durch anhaltende Feuchtigkeit können das Raumklima verändert und eventuell Schimmelbildung begünstigt werden. Darüber hinaus kann eine anhaltende Trockenheit zu einem Rückgang von Grundwasser und damit zu Bodenabsenkungen führen, die sich im Extremfall negativ auf Gebäudestrukturen auswirken können.

### 3.2 Variabilität von Niederschlägen oder der Hydrologie (chronisch)

Bei der Niederschlagsvariabilität handelt es sich um eine langsame, chronische Veränderung von Niederschlagschwankungen, die keine einzelnen Extremereignisse einbezieht. Starke Schwankungen der Niederschlagsmengen haben Einfluss auf die Verfügbarkeit von Wasser und auf Wasserstände und können auch zu Extremereignissen wie z.B. Trockenheit (siehe auch Kapitel 3.6 und 3.7) führen.

Die Risikobestimmung basiert auf Schwankungen der Jahresniederschlagsmengen (Standardabweichung des jährlichen Niederschlags) und deren schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität). Eine hohe Standardabweichung des jährlichen Niederschlags bedeutet, dass sehr starke Schwankungen der Regenmengen von Jahr zu Jahr auftreten.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1985 – 2014) betrug die Standardabweichung für die jährlichen Jahresniederschlagsmengen am Standort **185,80 mm**.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch die Niederschlagsvariabilität auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 11 listet mögliche zukünftige Veränderung der Niederschlagsvariabilität auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen am Standort projiziert wurden. Eine maximale Veränderung der Niederschlagsvariabilität wird für das Szenario **SSP1-2.6** und den Zeitraum **2070-2099** mit einer **Zunahme** der Niederschlagsvariabilität von **+30,1 mm** gegenüber dem Referenzzeitraum projiziert.

Für die maximale projizierte Veränderung der Niederschlagsvariabilität ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                               |           | Projizierte Änderungen im Vergleich zu 1985-2014 |             |               |             |
|-----------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                               | Referenz  | Szenario                                         | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                               | 1985-2014 |                                                  | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Niederschlagsvariabilität</b><br><i>mm</i> | 185,80    | SSP1-2.6                                         | +3,80       | -0,90         | +30,10      |
|                                               |           | SSP2-4.5                                         | +8,20       | +9,30         | +17,20      |
|                                               |           | SSP5-8.5                                         | -1,50       | +25,10        | +26,90      |

**Tabelle 11:** Projizierte Veränderungen der Niederschlagsvariabilität (Standardabweichung der jährlichen Niederschlagssummen) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis eines Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Die Variabilität der Niederschläge wirkt sich vor allem auf die Verfügbarkeit von Wasser und auf Wasserstände aus. Somit hat sie Auswirkungen auf verschiedene Wassernutzer, wie z.B. Wasserwirtschaft und Ökosysteme sowie alle Wirtschaftszweige, die auf ausreichende Mengen an Wasser angewiesen sind (z.B. Fischerei, Tourismus, Binnenschifffahrt, Produktion, Kühlung und Reinigung). Die Variabilität des Niederschlages hat keinen direkten Einfluss auf Gebäude, abgesehen von damit verbundenen akuten Gefahren (z.B. Überschwemmungen in Kap. 3.9), die gesondert behandelt werden, kann jedoch die Lebensqualität und -umstände der Hausbewohner durch eine längerfristige veränderte Wasserverfügbarkeit beeinträchtigen (siehe Kap. 3.6).

### 3.3 Versauerung der Ozeane (chronisch)

Bei der Ozeanversauerung wird (v.a. anthropogenes) Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) von den Ozeanen aufgenommen, was zu einer chemischen Änderung des Meerwassers führt. Wenn Kohlenstoffdioxid mit dem Meerwasser reagiert, bildet sich Kohlensäure, die den pH-Wert der Ozeane senkt und somit in einer allmählichen Versauerung der Ozeane resultiert. Der pH-Wert ist ein Maß des Säuregehaltes und hat sich seit Beginn des Industriezeitalters um 0,1 reduziert, was bedeutet, dass das Meerwasser saurer geworden ist.

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Das untersuchte Objekt liegt an Land und ist daher nicht direkt von den Auswirkungen der Ozeanversauerung betroffen. Somit können negative Auswirkungen am Standort aktuell und in Zukunft **ausgeschlossen** werden.

**Generelle Auswirkungen** Die Versauerung der Ozeane hat negative Auswirkungen auf die Ökosysteme und Artenvielfalt der Weltmeere. Der Verlust von Biodiversität kann Millionen von Menschen beeinflussen, die abhängig von Fischerei, Aquakultur oder dem natürlichen Küstenschutz durch z.B. Korallenriffe oder Mangroven sind. Die Korrosion von Objekten im Meer kann durch die Versauerung der Ozeane beeinflusst werden, wobei davon ausgegangen wird, dass pH-Wert Schwankungen zwischen 7,8 und 8,2 keine signifikanten Veränderungen bewirken.

### 3.4 Salzwasserintrusion (chronisch)

Als Salzwasserintrusion wird das Eindringen von Salzwasser in küstennahe Grundwasserleiter und Oberflächengewässer bezeichnet. Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte sind durch übermäßige Grundwasserentnahme meist besonders von Salzwasserintrusion betroffen.

Die vorliegende Analyse befasst sich nur mit Standorten, die maximal 150 km von der Küste entfernt sind. Die Risikoermittlung basiert auf einem Potenzial für Salzwasserintrusion und dessen schädlichen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität). Das Potenzial wird aus der Bevölkerungsdichte und der Entfernung zur Küste errechnet. Grundsätzlich gilt: Je näher sich ein Standort an der Küste befindet und je höher die Bevölkerungsdichte ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit (bzw. Potenzial), dass es zu Salzwasserintrusion kommen kann.

**Aktuelle Bedingungen** Im Referenzzeitraum (1995 – 2014) wird am Standort das Salzwasserintrusionspotenzial als **hoch** eingestuft.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 12 listet die Potenziale für Salzwasserintrusion auf. Das maximale zukünftige Potenzial für Salzwasserintrusion ist als **hoch** einzustufen.

Für das maximale projizierte Salzwasserintrusionspotenzial ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem geringen schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein geringes Risiko**.

|                                          | Referenz  | Szenario | Projizierte Salzwasserintrusionspotenziale |               |             |
|------------------------------------------|-----------|----------|--------------------------------------------|---------------|-------------|
|                                          |           |          | kurzfristig                                | mittelfristig | langfristig |
|                                          | 1995-2014 |          | 2021-2040                                  | 2041-2060     | 2081-2100   |
| <b>Potenzial für Salzwasserintrusion</b> | hoch      | SSP1-2.6 | hoch                                       | hoch          | hoch        |
|                                          |           | SSP2-4.5 | hoch                                       | hoch          | hoch        |
|                                          |           | SSP5-8.5 | hoch                                       | hoch          | hoch        |

**Tabelle 12:** Gefährdungseinstufung durch Salzwasserintrusion. Die Zukunftswerte basieren auf Szenarien über die Entwicklung der Bevölkerungsdichte vom IPCC.

**Generelle Auswirkungen** Salzwasserintrusion stellt eine große Bedrohung für die Trinkwasserversorgung küstennaher Gebiete dar. Etwa 40 % der Weltbevölkerung lebt in weniger als 100 km Entfernung zur Küste. Durch Salzwasserintrusion sind derzeit mehr als 100 Länder und Küstenregionen auf der ganzen Welt betroffen. Insbesondere die Trinkwasserbewirtschaftung und Produktion in der Land- und Forstwirtschaft werden durch Salzwasserintrusion beeinträchtigt. Auch die Tourismusbranche kann aufgrund der Auswirkungen auf die Ökosysteme betroffen sein. Außerdem sind Korrosionsschäden am Gebäude möglich, wenn diese dem eindringenden Salz ausgesetzt sind.

### 3.5 Anstieg des Meeresspiegels (chronisch)

Infolge der globalen Erwärmung ist der Meeresspiegel weltweit angestiegen, bisher im globalen Mittel um etwa 20 cm gegenüber vorindustriellen Zeiten. Die Hauptursachen für diesen Anstieg sind die thermische Ausdehnung der Ozeane und das Abschmelzen von Eis und Gletschern. Dieser Prozess wird sich auch in Zukunft fortsetzen, insbesondere wenn sich die Erde weiter erwärmt.

Projektionen des Meeresspiegelanstiegs werden verwendet, um zu prüfen, ob das Untersuchungsobjekt von einem Anstieg des Meeresspiegels betroffen sein könnte. Dazu werden die Meeresspiegelanstiegsdaten mit der Geländehöhe des Standortes und der Entfernung zur Küste abgeglichen. Bei der Risikobestimmung wird auch die Anfälligkeit des Untersuchungsobjekts (Vulnerabilität) berücksichtigt.

**Aktuelle Bedingungen** Der Standort befindet sich in ca. **746,0 m** Entfernung zur Küste. In der Nähe des Standortes wird aktuell (bezogen auf 2026) ein Anstieg des Meeresspiegels um **0,08 m** seit dem Referenzzeitraum (1995 – 2014) festgestellt.

In Kombination mit einer Standorthöhe von **1,70 m ü. NN** und aufgrund der gewählten Vulnerabilität ist mit **einem mittleren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. In Verbindung mit **einem von K.A.R.L. angenommenen Sturmflutschutz** resultiert daraus **ein mittleres Risiko**.

**Hinweis:** Die Existenz dieses Sturmflutschutzes sollte vor Ort überprüft werden.

**Klimaausblick** Tabelle 13 listet mögliche zukünftige Meeresspiegelanstiege auf, die anhand des Ensembles von Klimamodellen in der Nähe des Standortes ermittelt wurden. Ein maximaler Anstieg wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** mit einem Wert von **0,63 m** gegenüber dem Referenzzeitraum (1995 – 2014) projiziert.

Für den maximalen Anstieg des Meeresspiegels ist in Kombination mit der Geländehöhe des Standortes und unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität mit **einem mittleren schädlichen Einfluss** durch den gestiegenen Meeresspiegel zu rechnen. In Verbindung mit **einem von K.A.R.L. angenommenen Sturmflutschutz** resultiert daraus **ein mittleres Risiko**.

**Hinweis:** Die Existenz dieses Sturmflutschutzes sollte vor Ort überprüft werden.

|                                  |      | Projizierter Meeresspiegelanstieg |          |             |               |             |
|----------------------------------|------|-----------------------------------|----------|-------------|---------------|-------------|
|                                  |      | Referenz                          | Szenario | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                  |      | 1995-2014                         |          | 2021-2040   | 2041-2060     | 2081-2100   |
| Meeresspiegelanstieg<br><i>m</i> |      |                                   | SSP1-2.6 | 0,10        | 0,19          | 0,36        |
|                                  | 0,08 |                                   | SSP2-4.5 | 0,10        | 0,21          | 0,45        |
|                                  |      |                                   | SSP5-8.5 | 0,10        | 0,25          | 0,63        |

**Tabelle 13:** Projektionen des Meeresspiegelanstiegs (m) für drei 20-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Der Anstieg des Meeresspiegels kann zu dauerhaften Überschwemmungen führen, die Landgebiete unbewohnbar machen. Weitere Folgen sind das Eindringen von Salzwasser in das Grundwasser und in landwirtschaftlich genutzte Böden, Überschwemmungen an der Küste und Küstenerosion. Dadurch können bewässerte landwirtschaftliche Flächen und Trinkwasserreservoirs unbrauchbar werden und Infrastruktureinrichtungen, Industrien und Gebäude zerstört werden.

### 3.6 Wasserknappheit (chronisch)

Wasserknappheit bzw. Wasserstress bezeichnet die chronische Situation, in der nicht genügend Wasser in ausreichender Qualität vorhanden ist, um den Bedarf von Mensch und Umwelt zu decken. Die Risikobestimmung basiert auf der jährlichen Wasserverfügbarkeit am Standort und deren negativen Auswirkungen auf das Untersuchungsobjekt (Vulnerabilität). Die Wasserverfügbarkeit errechnet sich aus der Differenz zwischen der jährlichen Niederschlagsmenge und der effektiven Verdunstung (Evapotranspiration). Theoretisch ist diese Wassermenge als Oberflächenwasser nutzbar oder sie ergänzt den Grundwasservorrat durch Versickerung. Wird ein jährlicher **Grenzwert von 200 mm** überschritten, muss grundsätzlich nicht mit einer langanhaltenden Wasserknappheit gerechnet werden. Der menschliche Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit, z.B. durch intensive Entnahme von Grundwasser zu industriellen und agrarwirtschaftlichen Zwecken, wird nicht betrachtet.

Die hier analysierten Werte der Wasserverfügbarkeit werden mit dem Naturgefahrenmodell K.A.R.L. berechnet.

**Aktuelle Bedingungen** Der untersuchte Standort liegt in einem Gebiet mit einer derzeitigen Wasserverfügbarkeit von **700,0 mm pro Jahr**.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch Wasserknappheit auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 14 listet mögliche zukünftige Wasserverfügbarkeiten auf, die mit K.A.R.L. unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Ein maximaler Wasserstress, und damit einhergehend eine minimale Wasserverfügbarkeit, wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** projiziert und beträgt **597,0 mm pro Jahr** am Standort.

Für die projizierte minimale Wasserverfügbarkeit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                              | Referenz | Szenario | Projizierte Wasserverfügbarkeit |               |             |
|----------------------------------------------|----------|----------|---------------------------------|---------------|-------------|
|                                              |          |          | kurzfristig                     | mittelfristig | langfristig |
|                                              |          |          | 2015-2044                       | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Wasserverfügbarkeit</b><br><i>mm/Jahr</i> | 700,0    | SSP1-2.6 | 689,0                           | 702,0         | 712,0       |
|                                              |          | SSP2-4.5 | 698,0                           | 680,0         | 660,0       |
|                                              |          | SSP5-8.5 | 667,0                           | 659,0         | 597,0       |

**Tabelle 14:** Die projizierte Wasserverfügbarkeit für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien wurde mit K.A.R.L. berechnet.

**Generelle Auswirkungen** Auswirkungen von Wasserknappheit umfassen eine Reihe von gesellschaftlichen Folgen, wie verunreinigtes Trinkwasser, ausgetrocknete Äcker und ein damit verbundenes steigendes Risiko für Ernährungskrisen, Ausbreitung von Krankheiten, Flucht oder politische bzw. soziale Konflikte. Darüber hinaus birgt der Wassermangel auch ökologische Folgen wie z.B. in der Zunahme von extremen Dürren, einem sinkenden Grundwasserspiegel und dem Austrocknen von Flüssen und Seen, was sich wiederum negativ auf Wirtschaft und Industrie auswirken kann.

Auf Immobilien hat die Wasserknappheit keinen direkten schädlichen Einfluss, jedoch kann es durch einen langfristigen Rückgang von Grundwasser zu Bodensenkungen kommen, die sich negativ auf Gebäudestrukturen auswirken können.

### 3.7 Dürre (akut)

Dürre definiert eine außergewöhnliche Periode von Wasserknappheit aufgrund von geringen Niederschlägen, hohen Temperaturen und/oder Wind. Die Belastung durch Dürre wird in dieser Analyse anhand eines von der KA definierten Dürrestress-Index analysiert. Dieser Index umfasst niederschlagsbezogene Parameter, wie z.B. den Jahresniederschlag, die Länge von Dürrephasen und die mittlere jährliche Höchsttemperatur. Die Indexwerte reichen von 0 bis 10, wobei 0 für keine Belastung und 10 für extreme und häufig wiederkehrende Belastungssituationen steht.

**Aktuelle Bedingungen** Mit einem derzeitigen Dürrestress von **2,20** liegt der untersuchte Standort in einem Gebiet mit **einer niedrigen Belastung**.

Somit ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** durch Dürre auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 15 listet mögliche zukünftige Dürrestress-Indizes auf, die auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Ein maximaler Stress durch Dürre wird für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** projiziert und beträgt **2,7**, was **einer niedrigen Belastung** entspricht.

Für den maximalen projizierten Dürrestress ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                    |           | Projizierte Dürrestress-Indizes |             |               |             |
|--------------------|-----------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                    | Referenz  | Szenario                        | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                    | 1985-2014 |                                 | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Dürrestress</b> | 2,20      | SSP1-2.6                        | 2,30        | 2,30          | 2,20        |
|                    |           | SSP2-4.5                        | 2,30        | 2,30          | 2,40        |
|                    |           | SSP5-8.5                        | 2,30        | 2,40          | 2,70        |

**Tabelle 15:** Projizierte Dürrestress-Indizes für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte sind Summen aus den Werten des Referenzzeitraumes (ERA5) und den mittleren Anomalien des Modellensembles. Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Dürreperioden haben große Auswirkungen auf die Landwirtschaft, wie Ernteausfällen und das vermehrte Auftreten von Pflanzenkrankheiten. Sie gefährden das Leben und die Gesundheit der Menschen und verursachen Sachschäden und Betriebsunterbrechungen. Auch Industriebranchen, wie die Schifffahrt oder Energiewirtschaft, sind betroffen, wenn die Wasserstände der Flüsse sinken oder Kraftwerke aufgrund mangelnder Flusswasserkühlung abgeschaltet werden müssen. Nicht zuletzt ist auch eine Verschärfung der Gefahr von Waldbränden und Buschfeuern möglich.

### 3.8 Starke Niederschläge (Regen, Hagel, Schnee/ Eis) (akut)

Als Niederschlag wird alles Wasser bezeichnet, das in flüssiger oder fester Form aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche gelangt. Regen, Hagel und Schnee sind drei Arten von Niederschlag, die als Extremereignis ein hohes Gefahrenpotenzial bergen. Im Folgenden wird für jede dieser drei Niederschlagsarten eine Risikoanalyse durchgeführt.

#### 3.8.1 Regen

Als Starkregen werden heftige, wolkenbruchartige Regenfälle bezeichnet, bei denen in kurzer Zeit sehr hohe Niederschlagsmengen fallen. Im Gegensatz zu Dauerregen ist Starkregen ein eher lokal begrenztes Phänomen, bei dem die Niederschlagsmenge über dem saisonalen Durchschnitt des Ortes liegt. Häufig kommt es zu Starkregen in der Sommerzeit in Verbindung mit Gewittern.

Das Naturgefahrenmodell K.A.R.L. wird zur Berechnung des Risikos von Starkregen verwendet. Die Auswirkungen von Starkregen hängen in hohem Maße von der Aufnahmekapazität der örtlichen Abwassersysteme ab. Meist sind diese Abwassersysteme auf ein 3- bis 10-jährliches Niederschlagsereignis (Bemessungsregen) ausgelegt. Wird der Bemessungsregen überschritten, kommt es zum Überstau und Austritt von Kanalwasser an der Oberfläche sowie den damit verbundenen Folgeschäden. Für die Risikobewertung von K.A.R.L. ist es entscheidend, um wie viel die Bemessungsregenmenge überschritten wird und mit welchen Wiederkehrperioden.

Das von K.A.R.L. ausgegebene Risiko in Prozent pro Jahr (% p.a.) entspricht dem mittleren, jährlichen Schadenerwartungswert. Dies ist der Schaden, der im langfristigen statistischen Mittel pro Jahr durch die betrachtete Naturgefahr entsteht.

**Aktuelle Bedingungen** Das von K.A.R.L. unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität berechnete Starkregenrisiko (bezogen auf das Jahr 2026) beträgt **0,0126 % p.a.** Damit liegt **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt vor.

**Klimaausblick** Tabelle 16 listet mögliche zukünftige Starkregenrisiken (% p.a.) auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und mit einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort abgeschätzt wurden. Das maximale projizierte Starkregen-Risiko beträgt **0,0174 % p.a.** und wurde für das Szenario **SSP2-4.5** und den Zeitraum **2035-2064** projiziert. Daraus resultiert **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt.

|                                   |          | K.A.R.L. Starkregenrisiko |             |               |             |
|-----------------------------------|----------|---------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                                   | Referenz | Szenario                  | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                                   | 2026     |                           | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Starkregenrisiko</b><br>% p.a. | 0,0126   | SSP1-2.6                  | 0,0135      | 0,0149        | 0,0155      |
|                                   |          | SSP2-4.5                  | 0,0135      | 0,0174        | 0,0142      |
|                                   |          | SSP5-8.5                  | 0,0145      | 0,0135        | 0,0127      |

**Tabelle 16:** Projektionen des K.A.R.L. Starkregenrisikos (% p.a.) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Starkregen kann Sturzfluten auslösen, was in Überschwemmungen abseits vom Ort des Starkregenereignisses resultieren kann. Außerdem können Überschwemmungen ausgelöst werden, wenn es z.B. zu einem Rückstau im Kanalsystem kommt, wodurch auch die Infrastruktur beeinträchtigt wird. Das Eindringen von Wasser kann Gebäude, Fahrzeuge und Transportmittel beschädigen und es kann zu Wassereintritten in Kellerräumen und Tiefgaragen kommen.

### 3.8.2 Hagel

Hagel ist gefrorener Niederschlag mit einem Durchmesser von mindestens 0,5 Zentimetern. Hagel wird vor allem in den Sommermonaten und in den mittleren Breiten beobachtet. Erste Hagelschäden (z.B. Schäden an Pflanzen, Lackschäden an Autos) treten meist ab einer Hagelkorngröße von 1,5 cm auf.

Das Risiko wird mit Hilfe des in K.A.R.L. integrierten Hagelmodells ermittelt. Das Modell basiert auf der Berechnung eines weltweiten Hagelpotenzials, in das verschiedene regionale Klimaparameter (z.B. Temperatur, Höhe der Nullgradlinie, Blitzhäufigkeit) einfließen, die das Auftreten von Hagel begünstigen oder verhindern.

Das von K.A.R.L. ausgegebene Risiko in Prozent pro Jahr (% p.a.) entspricht dem mittleren, jährlichen Schadenerwartungswert. Dies ist der Schaden, der im langfristigen statistischen Mittel pro Jahr durch die betrachtete Naturgefahr entsteht.

**Aktuelle Bedingungen** Das von K.A.R.L. unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität berechnete Hagelrisiko (bezogen auf das Jahr 2026) beträgt **0,0010 % p.a.** Damit liegt **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt vor.

**Klimaausblick** Tabelle 17 listet mögliche zukünftige Hagelrisiken (% p.a.) auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Das maximale projizierte Hagelrisiko beträgt **0,0009 % p.a.** und wurde für das Szenario **SSP1-2.6** und den Zeitraum **2015-2044** projiziert. Daraus resultiert **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt.

|                              | Referenz | Szenario | K.A.R.L. Hagelrisiko |               |             |
|------------------------------|----------|----------|----------------------|---------------|-------------|
|                              |          |          | kurzfristig          | mittelfristig | langfristig |
|                              | 2026     |          | 2015-2044            | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Hagelrisiko</b><br>% p.a. | 0,0010   | SSP1-2.6 | 0,0009               | 0,0008        | 0,0007      |
|                              |          | SSP2-4.5 | 0,0009               | 0,0007        | 0,0005      |
|                              |          | SSP5-8.5 | 0,0009               | 0,0006        | 0,0002      |

**Tabelle 17:** Projektionen des K.A.R.L. Hagelrisikos (% p.a.) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Hagelschauer können beachtliche Schäden an Pflanzen und Tieren verursachen, aber auch an Gebäuden und Autos. Auch für die Luftfahrt und für Industrieanlagen stellen sie eine ernste Gefahr dar. Entwässerungssysteme auf Dächern oder in Straßen können durch Hagel verstopft werden, was zu einem Wasserstau und somit zu einer lokalen Überschwemmung führen kann. Außerdem kann Hagel Personenschäden verursachen sowie u.a. zu Schäden an Kraftfahrzeugen und Solaranlagen führen.

### 3.8.3 Schnee

Starke Schneefälle sind Ereignisse, bei denen in kurzer Zeit große Schneemengen fallen. Bei gleichen Schneemengen und -zeiten sind Regionen, in denen häufiger starke Schneefälle auftreten, weniger schadenanfällig.

Bei der statischen Planung eines Gebäudes sollte die maximal mögliche Schneelast berücksichtigt werden, die sich auf dem Dach ansammeln kann. Diese Schneelast unterscheidet sich je nach Region und Höhe des Standortes (klimatologische Faktoren) bzw. nach Bauform des Gebäudes (vor allem des Daches).

Die vorliegende Analyse bezieht sich auf Schneelastwerte, die rein auf Basis global verfügbarer Klimadaten mit dem Naturgefahrenmodell K.A.R.L. abgeschätzt werden. Das hierzu verwendete Modellierungsverfahren wurde anhand zahlreicher konkreter lokaler Empfehlungen und Bauvorschriften, die aus weltweit unterschiedlichen Klimazonen und topographischen Höhenlagen stammen, kalibriert. Die Risikoberechnung berücksichtigt nicht die Bauform eines Gebäudes.

**Hinweis:** Die hier angegebenen Schneelasten beziehen sich auf ein extrem seltenes Ereignis ( $> WKP 100$ ). Diese Werte sind aus Risikomanagementperspektive interessant, aber als Grundlage für die statische Auslegung von Bauwerken nicht geeignet. Hierfür sollten die offiziell vorgegebenen Normwerte verwendet werden. Diese normierten Schneelasten liegen i.d.R. weit unter den hier angegebenen Werten.

**Aktuelle Bedingungen** Die Schneelast unter aktuellen Bedingungen beträgt **33,3 kg/m<sup>2</sup>**.

Somit ist unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren Risiko** durch Schneelast zu rechnen.

**Klimaausblick** Tabelle 18 listet mögliche zukünftige Schneelasten auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und auf Basis eines Ensembles aus 20 Klimamodellen für den Standort berechnet wurden. Eine maximale Schneelast wird für das Szenario **SSP2-4.5** und den Zeitraum **2015-2044** projiziert und beträgt **31,0 kg/m<sup>2</sup>** am Standort.

Für die projizierte maximale Schneelast ist aufgrund der gewählten Vulnerabilität mit **einem vernachlässigbaren schädlichen Einfluss** auf das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert **ein vernachlässigbares Risiko** durch Schneelast.

|                                 | Referenz | Szenario | K.A.R.L. Schneelast |               |             |
|---------------------------------|----------|----------|---------------------|---------------|-------------|
|                                 |          |          | kurzfristig         | mittelfristig | langfristig |
|                                 |          |          | 2015-2044           | 2035-2064     | 2070-2099   |
| Schneelast<br>kg/m <sup>2</sup> | 33,3     | SSP1-2.6 | 20,3                | 19,7          | 6,8         |
|                                 |          | SSP2-4.5 | 31,0                | 6,4           | 0,0         |
|                                 |          | SSP5-8.5 | 19,8                | 0,0           | 0,0         |

**Tabelle 18:** Projektionen der K.A.R.L. Schneelasten (kg/m<sup>2</sup>) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Wenn in kurzer Zeit große Schneemassen durch starke Schneefälle zusammenkommen, kann dies große Schäden anrichten. So beschädigt das Gewicht der Schneemassen nicht nur Bäume, Stromleitungen und Gebäude, sondern beeinträchtigt auch die Nutzbarkeit von Verkehrsinfrastrukturen (Straße, Schiene, Luft), was zu Versorgungsengpässen führen kann. Darüber hinaus können große Schnee- und Eismengen auch für die Land- und Forstwirtschaft sowie für die Tourismus- und Veranstaltungsbranche von Bedeutung sein.

### 3.9 Hochwasser (Küsten-, Fluss-, pluviales, Grund HW) (akut)

Hochwasser wird in dieser Analyse unterschieden in Küstenhochwasser, also Sturmfluten, und allgemeines Hochwasser. Dieses basiert auf Überschwemmungen, die ausschließlich durch ein temporäres Überangebot von Wasser hervorgerufen werden. Dabei kann es sowohl durch Flusshochwasser (fluvial) als auch durch Starkregenereignisse (pluvial) entstehen. Grund-Hochwasser (Überschwemmungen oder eindringendes Wasser durch Grundwasser) wird hier nicht betrachtet.

#### 3.9.1 Küstenhochwasser (Sturmflut)

Als Sturmflut wird ein ungewöhnlich hoher Anstieg des Wassers an Meeresküsten und Tidenflüssen bezeichnet, der über den normalen Gezeitengang hinausgeht. Besonders hohe Wasserstände treten auf, wenn eine Sturmflut während einer Springflut auftritt. Sturmfluten entstehen, wenn starke Winde (Stürme, Orkane und Hurrikane) über den Ozean fegen und die Wassermassen in Richtung der Küste drücken und dabei aufstauen.

**Aktuelle Bedingungen** Der Standort befindet sich in ca. **746,0 m** Entfernung zur Küste. In Kombination mit einer Standorthöhe von **1,70 m ü. NN** und aufgrund der gewählten Vulnerabilität resultiert daraus **ein geringes Risiko**. Dabei wird von **einem von K.A.R.L. angenommenen Sturmflutschutz** gegen das **100-jährliche Ereignis** ausgegangen.

**Hinweis:** Die Existenz dieses Sturmflutschutzes sollte vor Ort überprüft werden.

**Klimaausblick** Tabelle 19 listet mögliche zukünftige Sturmflutrisiken (% p.a.) auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und mit einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort abgeschätzt wurden.

Unter der Annahme, dass sich die geografische Situation am Standort nicht ändert, beträgt das maximale projizierte Sturmflutrisiko **0,0496% p.a.** und wurde für das Szenario **SSP1-2.6** und den Zeitraum **2015-2044** projiziert. Daraus resultiert **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt. Dabei wird von **einem von K.A.R.L. angenommenen Sturmflutschutz** gegen das **100-jährliche Ereignis** ausgegangen.

**Hinweis:** Die Existenz dieses Sturmflutschutzes sollte vor Ort überprüft werden.

|                                  | Referenz | Szenario | K.A.R.L. Sturmflutrisiko |               |             |
|----------------------------------|----------|----------|--------------------------|---------------|-------------|
|                                  |          |          | kurzfristig              | mittelfristig | langfristig |
|                                  | 2026     |          | 2015-2044                | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Sturmflutrisiko</b><br>% p.a. | 0,0452   | SSP1-2.6 | 0,0496                   | 0,0346        | 0,0300      |
|                                  |          | SSP2-4.5 | 0,0435                   | 0,0414        | 0,0372      |
|                                  |          | SSP5-8.5 | 0,0386                   | 0,0391        | 0,0386      |

**Tabelle 19:** Projektionen des K.A.R.L. Sturmflutrisikos (% p.a.).

**Generelle Auswirkungen** Sturmfluten können extreme Überschwemmungen in Küstenregionen verursachen, was zu Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen oder Schutzmaßnahmen (z.B. Deichanlagen) führen kann. Sturmfluten können Sachschäden an Booten und Schiffen in Häfen verursachen und tragen zur Erosion von Stränden bei. In Flussmündungen und Buchten kann Meerwasser im Zuge von Sturmflutereignissen ins Landesinnere vordringen und den Grundwasserspeicher versalzen, was negative Folgen für die Wasserversorgung haben kann.

### 3.9.2 Flusshochwasser

Unter Flusshochwasser versteht man den Anstieg des Wasserspiegels von Flüssen oder Bächen infolge von Starkniederschlägen, oft auch in Verbindung mit Schneeschmelze. Bei größeren Flusssystemen sind es in der Regel großflächige und lang anhaltende, ergiebige Niederschläge im oberen Flusseinzugsgebiet, die zu Überschwemmungen führen. Bei kleineren Flusssystemen reichen oft lokale Starkniederschläge aus, um örtlich begrenzte Überschwemmungen zu verursachen.

Das Risiko für Flusshochwasser (auch als Überschwemmung bezeichnet) wird mit Hilfe des in K.A.R.L. integrierten Hochwassermodells ermittelt. Das Hochwassermodell bestimmt zunächst die Überschwemmungsgefährdung (z.B. liegt der Standort in einer Senke oder gibt es einen guten Abfluss) des Standorts, indem das Geländeprofil (Höhenmodell) der unmittelbaren Umgebung des Standorts untersucht wird. Mit Hilfe von klimatologischen, hydrologischen und geographischen Faktoren werden dann maximale Wasserstände sowie Wiederkehrperioden abgeschätzt.

**Aktuelle Bedingungen** Der Standort befindet sich in Küstennähe innerhalb einer leichten Senke oder einer Ebene mit einem nur flachen Gefälle. Die natürlichen Abflussmöglichkeiten sind teilweise eingeschränkt, so dass die MÖGLICHKEIT von Überschwemmungen aufgrund der lokalen Landschaftsform als moderat einzustufen ist.

Das von K.A.R.L. unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität berechnete Überschwemmungsrisiko (bezogen auf das Jahr 2026) beträgt **0,0005 % p.a.** Damit liegt **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt vor.

**Klimaausblick** Tabelle 20 listet mögliche zukünftige Überschwemmungsrisiken (% p.a.) auf, die unter Berücksichtigung der gewählten Vulnerabilität und mit einem Ensemble aus 20 Klimamodellen für den Standort abgeschätzt wurden.

Unter der Annahme, dass sich die geografische Situation am Standort nicht ändert, beträgt das maximale projizierte Überschwemmungsrisiko **0,0075% p.a.** und wurde für das Szenario **SSP5-8.5** und den Zeitraum **2070-2099** projiziert. Daraus resultiert **ein geringes Risiko** für das Untersuchungsobjekt.

|                      |  | K.A.R.L. Flutrisiko |          |             |               |
|----------------------|--|---------------------|----------|-------------|---------------|
|                      |  | Referenz            | Szenario | kurzfristig | mittelfristig |
|                      |  | 2026                |          | 2015-2044   | 2035-2064     |
| Flutrisiko<br>% p.a. |  |                     | SSP1-2.6 | 0,0006      | 0,0009        |
|                      |  |                     | SSP2-4.5 | 0,0006      | 0,0011        |
|                      |  |                     | SSP5-8.5 | 0,0006      | 0,0013        |
|                      |  |                     |          |             | 2070-2099     |
|                      |  |                     |          |             | 0,0022        |
|                      |  |                     |          |             | 0,0032        |
|                      |  |                     |          |             | 0,0075        |

**Tabelle 20:** Projektionen des K.A.R.L. Überschwemmungsrisikos (% p.a.) für drei 30-jährige Zeiträume und Szenarien ermittelt auf Basis des Modellensembles (CMIP6). Die Werte des Referenzzeitraumes wurden aus den ERA5 Reanalysedaten abgeleitet.

**Generelle Auswirkungen** Flusshochwasser kann flussnahe Gebiete und Bereiche überschwemmen und zu Schäden an u.a. Infrastrukturen, Gebäuden, Fahrzeugen und landwirtschaftlichen Flächen führen. Durch Überschwemmung, z.B. im Stadtgebiet, können Schadstoffe freigesetzt werden, die Gewässer, Grundwasser und Böden kontaminieren.

### 3.10 Überlaufen von Gletscherseen (akut)

Gletscherseeausbrüche sind Fluten, die durch Leer- oder Überlaufen von Gletscherseen entstehen. Gletscherseen sind durch Eisdämme oder Moränen natürlich gestaute Seen, die sich innerhalb, auf oder am Rand von Gletschern befinden. Zu Gletscherseeausbrüchen kommt es entweder durch Überlaufen des Sees oder wenn Beschädigungen am Damm entstehen.

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Es befindet sich **kein** bekannter aktueller Gletscher im Umkreis von 30 km um den Standort. Somit können negative Auswirkungen durch das Überlaufen von Gletscherseen am Standort aktuell und in Zukunft **ausgeschlossen** werden.

**Generelle Auswirkungen** Wenn Gletscherseen ausbrechen, fließen innerhalb kürzester Zeit enorme Wasser- und Schuttmengen ab. Diese Überflutungen können ein katastrophales Ausmaß mit schwerwiegenden Auswirkungen auf das Leben im darunter liegenden Tal haben. Nicht zuletzt können die Ausbrüche auch eine hohe Anzahl an Todesopfern fordern. Obwohl eine prognostizierte weitgehende Entgletscherung die meisten Ausbrüche langfristig zum Erliegen bringen könnte, wird die globale Erwärmung kurzfristig dazu beitragen, dass Gletscherseen früher und regelmäßiger ausbrechen. Insgesamt sind heute weltweit etwa 15 Millionen Menschen von diesen Fluten bedroht.

## 4 Feststoffabhängige Risiken

### 4.1 Küstenerosion (chronisch)

Küstenerosion ist die allmählich fortschreitende Veränderung der Küste durch Gezeiten und Wettereinflüsse (z.B. Wind, Niederschlag). Neben Naturereignissen wie Hurrikane, Erdbeben, Sturmfluten und Tsunamis können auch anthropogene Einflüsse (z.B. Bau eines Damms) zur Erosion beitragen. Zudem können Häfen und Infrastrukturen den natürlichen Transportweg von Sand behindern und somit die Küste anfällig für Erosion machen. Neben den direkten Schäden am Gebäude kann die Küstenerosion auch indirekte Auswirkungen zur Folge haben, z.B. durch Schäden an der umliegenden Infrastruktur.

Aufgrund der Datenverfügbarkeit wird in der vorliegenden Analyse nur die Erosion von Sandküsten betrachtet. Zwar kann durch Erosion jede Küstenart verändert werden, die Auswirkungen sind jedoch bei weichem Material (z.B. Sand, Schluff, Ton) am stärksten.

**Hinweis:** Der projizierte Erosionswert kann sowohl positiv als auch negativ ausfallen. Positive Werte bedeuten eine Anlagerung der Küste, die Distanz zur Küste wird daher größer. Negative Werte bedeuten einen Abtrag der Küstenlinie, die Distanz zum Standort verringert sich dadurch. Ausschlaggebend für das Risiko am Standort ist daher der höchste negative Erosionswert, da dieser die geringste Distanz zur Küste zur Folge hat. 'NoData'-Werte weisen nicht zwingend auf fehlende Daten oder eine relevante Gefährdung hin. Sie treten z. B. bei Steilküsten oder küstennahen Städten auf, wo die Gefahr durch Küstenerosion in der Regel begrenzt ist, da angenommen werden kann, dass die Küsten durch entsprechende Schutzmaßnahmen gesichert und stabilisiert sind.

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Die Entfernung zur Küste beträgt **mehr als 2 km**. Somit können negative Auswirkungen durch Küstenerosion am Standort aktuell und in Zukunft **ausgeschlossen** werden.

**Generelle Auswirkungen** Durch die Abtragung der Küste können der menschlichen Lebensraum reduziert und Infrastruktur oder wirtschaftlich genutzten Flächen zerstört werden. In Folge der Küstenerosion und der Verlagerung der Küste ins Landesinnere, kann Salzwasser in den Grundwasserspeicher eindringen und diesen versalzen. Der Tourismus wird durch Küstenerosion ebenfalls negativ beeinflusst, da z.B. Strände nicht mehr entsprechend genutzt werden können. Zusätzlich verändern sich mit fortschreitender Erosion die natürlichen Lebensräume von Flora und Fauna an Land und im Meer, was den Verlust der Biodiversität zur Folge haben kann.

## 4.2 Bodenerosion (chronisch) und Bodendegradierung (chronisch)

Bodendegradierung beschreibt die Verschlechterung von Böden bis hin zur irreversiblen Zerstörung, beispielsweise durch Nährstoffverlust, Versauerung oder Entkalkung. Bodenerosion ist die problematischste und am weitesten verbreitete Form der Bodendegradierung. Bodenfunktionen wie z.B. Bodenfruchtbarkeit oder Speichervermögen können durch die Erosion abnehmen, bis die gesamte Bodensubstanz zerstört ist. Am häufigsten tritt Bodenerosion durch Wasser auf, wobei Starkregenereignisse die Hauptursache darstellen. Anthropogene Einflüsse, wie z.B. Entwaldung, Urbanisierung, landwirtschaftliche Bodenbearbeitung und Düngung, können ebenfalls zu Bodenerosion und Bodendegradierung beitragen.

**Aktuelle Bedingungen** Am Standort wird von **einer geringen Gefährdung** für Bodenerosion und Bodendegradierung ausgegangen. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein vernachlässigbares Risiko**.

**Klimaausblick** Für die maximalen projizierten Erosionsraten ist mit **einer geringen Gefährdung** für das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein vernachlässigbares Risiko**.

|                                            | Referenz<br>1985-2014 | Szenario | Projizierte Gefährdungseinstufung |               |             |
|--------------------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------------------|---------------|-------------|
|                                            |                       |          | kurzfristig                       | mittelfristig | langfristig |
|                                            |                       |          | 2070                              |               |             |
| <b>Bodenerosion,<br/>Bodendegradierung</b> | gering                | SSP1-2.6 | n/V                               | gering        | n/V         |
|                                            |                       | SSP2-4.5 | n/V                               | gering        | n/V         |
|                                            |                       | SSP5-8.5 | n/V                               | gering        | n/V         |

**Tabelle 21:** Gefährdungseinstufung der Bodenerosion. n/V = nicht verfügbar: Für diesen Zeitraum ist aktuell keine Datengrundlage vorhanden.

**Generelle Auswirkungen** Bodendegradierung und Bodenerosion haben insbesondere schwerwiegende Folgen für die Landwirtschaft. Durch Bodendegradierung kann die Qualität des Bodens so weit abnehmen, dass dieser nicht weiter landwirtschaftlich genutzt werden kann. Dies kann zu Nahrungsknappheit für die wachsende Weltbevölkerung führen. Außerdem verliert der Boden seine Fähigkeit zur Wasserspeicherung, wodurch sich das Überschwemmungsrisiko erhöht. Bei der Bodenerosion wird die schützende Vegetationsdecke abgetragen, wodurch der Boden den Witterungseinflüssen schutzlos ausgeliefert ist. Fließt beispielsweise das Niederschlagswasser ab, wird die oberste fruchtbare Bodenschicht abgetragen und die noch vorhandenen Nährstoffe werden ausgespült. Des Weiteren kann sich das abgetragene Bodenmaterial (Sedimente) auf benachbarten Flächen, Straßen oder in Gewässern ablagern.

### 4.3 Solifluktion (chronisch)

Solifluktion (Erdfließen, Bodenfließen) ist eine langsame, hangabwärts gerichtete Fließbewegung von wasser-gesättigtem Gesteinsmaterial des Oberbodens. Solifluktion findet häufig in der Auftauzone des Permafrostes statt und benötigt eine gewisse Neigung des Reliefs. Wenn die Oberfläche des Permafrostes auftaut, kann sich Wasser auf dem gefrorenen Untergrund ansammeln, da es nicht versickern kann. Das gestaute Wasser fließt somit hangabwärts und transportiert darüberliegendes lockeres Gesteinsmaterial.

Da Solifluktion und ein damit einhergehendes Risiko nur in der Nähe von Permafrost auftreten kann, wird in der vorliegenden Analyse lediglich überprüft, ob sich ein Standort im Permafrostgebiet bzw. in der näheren Umgebung davon befindet. Daher ist die Grundlage der Risikobewertung analog zu dem Vorgehen zur Risikoermittlung für das Auftauen von Permafrost (siehe 1.4).

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Es kann ausgeschlossen werden, dass sich der untersuchte Standort aktuell und zukünftig im Permafrostgebiet befindet. Daher können negative Auswirkungen durch Solifluktion am Standort aktuell und in Zukunft ebenfalls **ausgeschlossen** werden.

**Generelle Auswirkungen** Solifluktion beeinflusst die Erosion von Sedimenten und daher die Morphologie der Berglandschaft. In der Nähe oder unmittelbar im Solifluktionsbereich können Hangsicherungsmaßnahmen und Infrastrukturen, sowie Wanderwege und Gebäude von der Fließbewegung gefährdet sein.

#### 4.4 Lawine (akut)

Eine Lawine beschreibt eine Schnee- oder Eismasse, die sich im alpinen Gelände von Berghängen löst und ins Tal niedergeht. Ihr Auftreten ist in der Regel an Hängen mit einer Neigung von 30 Grad oder mehr zu beobachten. Die durch ihre Bewegung verursachten Ablagerungen und die begleitende Luftdruckwelle können erhebliche Schäden anrichten. Bedingungen, die Lawinengefahr signalisieren, umfassen hohe Schneemengen und starke Winde. Die Auslösung von Lawinen erfolgt häufig aufgrund von Temperaturschwankungen, Steinschlägen oder menschlichen Aktivitäten.

In der vorliegenden Analyse wird die Lawinengefährdung auf Basis der Hangneigung, der durchschnittlichen Temperatur in den kältesten Wintermonaten sowie der Niederschlagsmenge während dieses Zeitraums ermittelt. Aus diesen Kenngrößen wird ein einheitsloser Lawinengefährdungsindex (Werte zwischen 0 und 9, hohe Werte stehen für eine hohe Gefährdung) berechnet, der als Grundlage für die Risikobewertung dient.

**Hinweis:** Bei durchschnittlichen Minimaltemperaturen der kältesten Wintermonate von über 2,5°C wird davon ausgegangen, dass auf Grund der klimatologischen Bedingungen am Standort ein Auftreten von Lawinen ausgeschlossen ist. Ist die Geländestruktur in der Umgebung des Standortes zu flach, wird ein Lawinenrisiko ebenfalls ausgeschlossen.

**Aktuelle und zukünftige Bedingungen** Aufgrund der klimatologischen und topographischen Bedingungen am Standort ist ein Auftreten von Lawinen unter aktuellen und zukünftigen Bedingungen **ausgeschlossen**.

**Generelle Auswirkungen** Die Gefahr einer Lawine resultiert hauptsächlich aus zwei Faktoren: zum einen aus den enormen Schneemassen und mitgerissenen Gegenständen (z.B. Bäume und Steine) und zum anderen aus der gewaltigen Druckwelle, die durch die Lawine erzeugt wird. Trifft diese auf ein Gebäude, so entstehen in Abhängigkeit von der Stärke des Druckes unterschiedliche Auswirkungen, die von Verformungen und Rissen in den Wänden über ein zerstörtes Dach bis hin zur kompletten Zerstörung reichen. Darüber hinaus können Lawinen auf diese Weise auch touristische Aktivitäten sowie Infrastruktur beeinträchtigen.

Der Klimawandel wird die saisonale Schneedecke in Bergregionen deutlich beeinflussen, voraussichtlich mit einer Abnahme der Gesamthäufigkeit von Lawinen. Durch den Rückgang der Schneedecke in tieferen Lagen wird die Fläche, auf der Lawinen entstehen können, kleiner.

## 4.5 Erdrutsch (akut)

Erdrutsch bezeichnet die Abwärtsbewegung von Material an einem Hang, welches je nach geologischen Gegebenheiten fallen, stürzen, rutschen, fließen und sich ausbreiten kann. Die Auslöser für eine solche Bewegung sind vielfältig, jedoch spielen insbesondere Niederschlagsmengen und Erdbeben eine tragende Rolle. Auch menschliche Aktivitäten können Erdrutsche auslösen.

Die für die Analyse verwendete Einstufung zur Anfälligkeit des Standorts für Hangrutschungen beruht auf einem Datensatz des GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery) von 2021 und beinhaltet die Auslösefaktoren Niederschlag und Erdbeben. Der Standort muss sich nicht zwingend im Bereich des Erdrutsches selbst befinden, kann aber durch das ankommende Material beschädigt werden.

**Aktuelle Bedingungen** Am Standort ist mit **einer geringen Gefährdung** durch Erdrutsch zu rechnen. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein geringes Risiko**.

**Klimaausblick** Tabelle 22 stellt die mögliche zukünftige Gefährdungseinstufung für Erdrutsche dar. Sowohl zunehmende Starkregenereignisse als auch große Niederschlagsmengen, die über einen langen Zeitraum fallen, können die Erdrutschgefährdung erhöhen. Der von der KA entwickelte Niederschlagsstress-Index kombiniert diese Faktoren. Es wird angenommen, dass ein Anstieg des Niederschlagsstress-Index auch die Erdrutschgefährdung erhöht. Für die maximal projizierte Erdrutschgefährdung ist mit **einer mittleren Gefährdung** für das Untersuchungsobjekt zu rechnen. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein geringes Risiko**.

|                  |           | Projizierte Gefährdungseinstufung |             |               |             |
|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------|---------------|-------------|
|                  | Referenz  | Szenario                          | kurzfristig | mittelfristig | langfristig |
|                  | 1985-2014 |                                   | 2015-2044   | 2035-2064     | 2070-2099   |
| <b>Erdrutsch</b> | gering    | SSP1-2.6                          | gering      | gering        | gering      |
|                  |           | SSP2-4.5                          | gering      | gering        | gering      |
|                  |           | SSP5-8.5                          | gering      | gering        | mittel      |

**Tabelle 22:** Gefährdungseinstufung durch Erdrutsch.

**Generelle Auswirkungen** Erdrutsche können schwerwiegende Folgen haben. Sie können Häuser und Straßen verschlucken, große Mengen Geröll ins Tal tragen sowie Menschen, Ökosysteme und Infrastruktur schädigen. Durch zunehmende Verstädterung und den Klimawandel wird erwartet, dass die Gefahr durch Erdrutsche weiter ansteigt. Nicht selten führen Erdrutsche auch zu Obdachlosigkeit, Nahrungsmittelverlust oder im schlimmsten Fall zum Tod der betroffenen Menschen.

#### 4.6 Bodenabsenkung (akut)

Bodenabsenkung, bzw. Subsidenz, ist die Absenkung des Bodens. Diese kann zwar durch natürliche geologische Prozesse, wie z.B. Erosion oder Erdbeben entstehen, allerdings überwiegen anthropogene Faktoren. Insbesondere die Grundwassererschöpfung (z.B. durch kontinuierliche Grundwasserentnahme) ist hier von besonderer Bedeutung und wird in der vorliegenden Analyse betrachtet.

Die Analyse beruht auf einem Datensatz, der zum einen die Bodenabsenkungswahrscheinlichkeit für das Jahr 2010 (repräsentiert das aktuelle Klima) und zum anderen die Entwicklung für das Jahr 2040 beschreibt. Für die Erstellung des Datensatzes wurden viele verschiedene Variablen einbezogen, u.a. die Landnutzung, das Klima, die Bevölkerungsdichte und der Grundwasserspeicher.

**Aktuelle Bedingungen** Die **Gefährdung** durch Bodenabsenkung am Standort wird als **hoch** eingestuft. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein mittleres Risiko**.

**Klimaausblick** Für die Zukunftsprojektion wurde abweichend von der restlichen Klimarisikoanalyse das **Szenario SSP2-8.5** verwendet, welches von einem stetigen Bevölkerungswachstum sowie steigenden Treibhausgasemissionen ausgeht. Zukünftig wird die **Gefährdung** für Bodenabsenkung am Standort als **hoch** eingestuft. Daraus resultiert aufgrund der gewählten Vulnerabilität **ein mittleres Risiko**.

**Generelle Auswirkungen** Bodenabsenkung stellt eine schleichende Gefahr für Mensch und Umwelt dar. Zu den möglichen Ursachen des absinkenden Bodens zählen u.a. Wasserknappheit und erhöhte Überschwemmungsgefährdung, vor allem in Küstenbereichen. Des Weiteren kann das Absinken des Bodens Gebäude und Infrastruktur (z.B. Stromversorgung) beschädigen.

## Quellenangaben

- Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L., Ballabio C. (2020): Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 117(36), 21994-22001, DOI: 10.1073/pnas.2001403117
- Buchhorn M., Smets B., Bertels L., De Roo B., Lesiv M., Tsendbazar N.-E., Herold M., Fritz S. (2020): Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe. DOI: 10.5281/zenodo.3939050
- Center for International Earth Science Information Network – CIESIN – Columbia University (2018): Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 11. Palisades, New York: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)
- Chadburn S., Burke E.J., Cox P., Friedlingstein P., Hugelius G., Westermann S. (2017a): An observation-based constraint on permafrost loss as a function of global warming. Nature Climate Change, 7, 340-344, DOI: 10.1038/nclimate3262
- Chadburn S., Burke E.J., Cox P., Friedlingstein P., Hugelius G., Westermann S. (2017b): Estimated future permafrost maps constrained by observed relationships, with link to model result files in NetCDF format [dataset]. PANGAEA
- Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ): Klimamodelldaten CMIP6 (Stand 2021)
- European Commission, Joint Research Centre (JRC) (2019): Global shoreline change projections. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset], DOI: 10.2905/18EB5F19-B916-454F-B2F5-88881931587E PID
- Dinerstein E., *et al.* (2017:) An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. BioScience, 67, 534-545, DOI: 10.1093/biosci/bix014
- GLIMS Consortium (2005): GLIMS Glacier Database, Version 1. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), 2020: Global Landslide Hazard Map
- Gutiérrez J.M., *et al.* (2021): Atlas. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- Herrera-García G., *et al.* (2021): Mapping the global threat of land subsidence. Science, 371(6524), 34-36
- Iturbide M., *et al.* (2021): Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas. Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.3691645
- Kaplan J.O., Lau K.H.-K. (2021): The WGLC global gridded lightning climatology and time series. Earth System Science Data, 13, 3219-3237
- Knapp K.R., Kruk M.C., Levinson D.H., Diamond H.J., Neumann C.J. (2010): The International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS). Bulletin of the American Meteorological Society 91, 363-376, DOI: 10.1175/2009BAMS2755.1

- Knapp K.R., Diamond H.J., Kossin J.P., Kruk M.C., Schreck C.J. (2018): International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) Project, Version 4. NOAA National Centers for Environmental Information, DOI: 10.25921/82ty-9e16
- OpenStreetMap: <http://www.openstreetmap.org/copyright>
- Vousdoukas M., Ranasinghe R., Mentaschi L., Plomaritis T., Athanasiou P., Luijendijk A., Feyen L. (2020): Sandy coastlines under threat of erosion. Nature Climate Change, 10, 260-263, DOI: 10.1038/s41558-020-0697-0

## Disclaimer

Der K.A.R.L.<sup>®</sup>-TAXO Bericht wird von der KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH (KA) erstellt.

Die Inhalte dieses Berichtes und die verwendeten Daten entsprechen dem verfügbaren aktuellen Stand des Wissens. Alle Daten wurden von der KA sorgfältig aufbereitet und geprüft. Der Bericht wird auf dieser Basis automatisiert erstellt und ohne weitere manuelle Prüfung zur Verfügung gestellt.

Soweit dies gesetzlich zulässig ist, übernimmt die KA weder ausdrücklich noch stillschweigend sowohl im eigenen Namen als auch im Namen aller ihrer Anbieter, Lizenzgeber, Mitarbeiter und Vertreter keinerlei Gewährleistung. Dies gilt insbesondere in Bezug auf den Bericht oder die Ergebnisse, die durch die Verwendung des Berichts erzielt werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf

1. alle Garantien in Bezug auf die Genauigkeit, Vollständigkeit, Aktualität oder Nichtverletzung der Berichte und
2. alle Garantien in Bezug auf angemessene Sorgfalt, Marktgängigkeit oder Eignung für einen bestimmten Zweck.

Die Verantwortung für die Nutzung und Interpretation der Klimarisikoanalysedaten liegt allein beim Nutzer.

**WICHTIGER HINWEIS:** Dieser Bericht wurde automatisch erstellt und somit nicht von einem wissenschaftlichen Experten überprüft und auf Plausibilität kontrolliert. Die angegebenen Werte sind keine Vorhersagen, sondern mögliche Entwicklungen, die den Emissionsszenarien entsprechen.

## Impressum

KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH  
Scheidtweilerstraße 4  
50933 Köln  
Tel.: +49 221 39761-200  
Fax: +49 221 39761-301  
info@koeln-assekuranz.com  
www.koeln-assekuranz.com

© 2025 KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH