

# **K.A.R.L.<sup>®</sup>-PRO ERGEBNISBERICHT**

NATURGEFAHREN- UND RISIKOANALYSE



K.A.R.L.<sup>®</sup>-Analysen dienen ausschließlich der Schadenprävention und Früherkennung von Risiken. Sie basieren auf wissenschaftlichen Daten, Fakten und Zusammenhängen. Außerdem werden potenzielle Schadengrade berücksichtigt, die sich in Abhängigkeit von der spezifischen physischen Empfindlichkeit bestimmter Güter unter Einwirkung von außen einstellen können.

Schadenstatistiken der Versicherungswirtschaft fließen nicht in die Analysen ein. Über K.A.R.L.<sup>®</sup> errechnete Risiko-Kennzahlen sind deshalb zur Herleitung von Versicherungsprämien ungeeignet.

## AUFTRAG

Auftrags-ID: Taj Mahal, Indien

Standortanalyse erstellt am: 12.09.2025 15:31:31

von: KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH

Version: 5.1.0.4

## UNTERSUCHTER STANDORT

Taj Mahal, Indien

### GEOGRAPHISCHE VERHÄLTNISSE

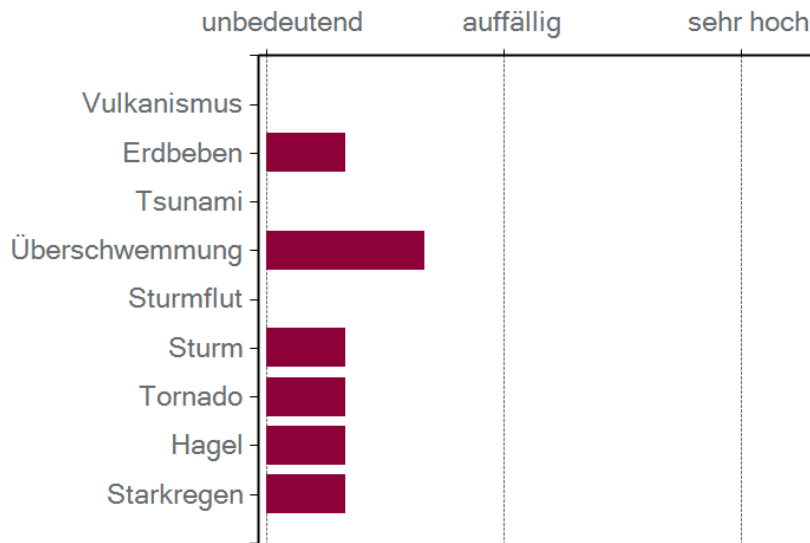
Latitude / Longitude (dezimal):	27,175027 78,042159
Angenommene Ortshöhe (m ü. Meeresspiegel):	148,00
Ortshöhe aus Höhenmodell (m ü. Meeresspiegel):	148,00
Landschaftstyp:	Hochebene
Tiefster Punkt im Umkreis von 1 km (m ü. Meeresspiegel):	148,00
Höchster Punkt im Umkreis von 1 km (m ü. Meeresspiegel):	170,19
Ungefähre Distanz zur Küste (km):	835

Diese Angaben wurden teilweise automatisch aus einem globalen digitalen Höhenmodell übernommen, das auf Radarmessungen beruht. Abweichungen von der tatsächlichen Geländehöhe können dort auftreten, wo der Radarstrahl von Dächern oder Baumkronen reflektiert wurde. (Datenquelle: NASA, SRTM V4)

**Achtung:** Der angenommene Höhenwert wurde unter Worst-Case-Aspekten aus dem Höhenmodell interpoliert und liegt möglicherweise unterhalb der tatsächlichen Geländehöhe.

Die angegebene Distanz zur Küste entspricht der Luftlinie zum nächstgelegenen Punkt im Höhenmodell, der nicht als Festland definiert ist. Deshalb können unter Umständen auch Ästuar- oder breite Flussmündungen bereits als Meeresgebiete interpretiert werden.

## ZUSAMMENFASSUNG DER RISIKOANALYSE



Standort: Taj Mahal, Indien

Bei der Ermittlung des Erdbeben-Risikos wurden im vorliegenden Fall aufgrund der landschaftlichen Gegebenheiten sehr ungünstige Bodenverhältnisse unterstellt. Unter solchen Bedingungen kann es im Erdbebenfall zu schweren Setzungen, Sackungen, Rutschungen und/oder Bodenverflüssigung (Liquefaction) kommen. Es ist dringend zu empfehlen, den Baugrund diesbezüglich vor Ort zu überprüfen.

**ACHTUNG:** Die genaue Ortshöhe wurde nicht angegeben, ist aber bezüglich einer korrekten Einstufung des Überschwemmungsrisikos sehr wichtig. Es ist zu empfehlen, diese zu ermitteln und die Analyse damit zu wiederholen.

### VULNERABILITÄTEN UND GEFÄHRDETE WERTE

#### gefährdete Werte

TOTAL (%):	100
------------	-----

Die durchgeführte Risikoanalyse betrifft folgende Güter / Anlagen / Gebäude:

Büroimmobilie oder Geschosswohnungsbau, über 7 Etagen

## RISIKO-KENNZAHLEN

### GEFAHR RISIKO in %/Jahr

Vulkanismus:	0,0000 (-)
Erdbeben:	0,0354 (sehr gering)
Tsunami:	0,0000 (-)
Überschwemmung:	0,0607 (gering)
Sturmflut:	0,0000 (-)
Sturm:	0,0021 (sehr gering)
Tornado:	0,0089 (sehr gering)
Hagel:	0,0010 (sehr gering)
SUMME (ohne Starkregen):	0,1081 (auffällig)
Starkregen:	0,0499 (sehr gering)

Die Risikoanalyse wurde unter Berücksichtigung der vom unten angegebenen Anwender vordefinierten Vulnerabilitäten (spezifische Empfindlichkeiten der potenziell betroffenen Güter / Anlagen / Gebäude gegenüber den untersuchten Naturgefahren) berechnet.

Die angegebenen Risiken werden über Modellrechnungen ermittelt. Hierbei werden zunächst für alle statistischen Wiederkehrperioden zwischen 1 und max. 10.000 Jahren die potenziellen Schadenssummen berechnet. Hieraus wird dann ein jährlicher Durchschnitts-Schaden abgeleitet, der das lokale Risiko charakterisiert.

Beispiel (vereinfacht): Ist durch Überschwemmungen nur 1 Mal pro Jahrhundert ein Totalschaden von 1 Mio. EUR zu erwarten, so beträgt das Risiko 10.000 EUR pro Jahr. Das gleiche Risiko ergäbe sich aber auch, wenn pro Jahrhundert 4 Teilschäden von z.B. 0,1 Mio., 0,3 Mio., 0,4 Mio. und 0,2 Mio. EUR eintreten würden. Der Mittelwert beträgt dann ebenfalls 10.000 EUR pro Jahr.

Unabhängig vom Objektwert kann das RELATIVE RISIKO als jährlicher Prozentsatz angegeben werden, der in diesem Beispiel 1,0 % des potenziell betroffenen Objektwertes pro Jahr ausmachen würde.

Einzelne Schadenereignisse können die angegebenen Risiken erheblich übersteigen. Sie werden deshalb weiter unten zusammen mit den entsprechenden statistischen Wiederkehrperioden separat aufgeführt. Der BERECHNETE MAXIMALSCHADEN gibt den jeweils höchsten im Rahmen der durchgeführten Modellrechnungen aufgetretenen Einzelschaden an. Diesem wird keine statistische Wiederkehrperiode zugeordnet.

## HINWEISE ZUR BEWERTUNG

Die über K.A.R.L.<sup>®</sup> gewonnenen und im vorliegenden Bericht wiedergegebenen Aussagen sind als HINWEISE zu betrachten, die aufzeigen sollen, aus welchen Gefahren bestimmte Risiken erwachsen könnten und wo möglicherweise Handlungsbedarf besteht. Sie sind dazu gedacht, den Einsatz weiterer Erkundungs-, Schutz- und Sicherungsmaßnahmen gezielt nach Prioritäten planen zu können. Sie können jedoch auf keinen Fall eine detaillierte Standortanalyse vor Ort durch einen wissenschaftlichen Experten ersetzen.

Weiterhin gilt: Wenn ein Risiko identifiziert und benannt ist, liegt auch eine Gefährdung vor, die im Einzelfall zu hohen Schäden führen kann. Die Risikoeinstufungen "SEHR GERING" und "GERING" bedeuten vor diesem Hintergrund lediglich, dass ein solches Extremereignis äußerst selten eintritt, nicht aber, dass es unmöglich ist. Ob und inwieweit bei geringen Risiken Schutz- und Abwehrmaßnahmen notwendig sind, hängt von den am Standort vorhandenen Sach- und Vermögenswerten sowie den spezifischen Empfindlichkeiten der potenziell betroffenen Güter ab. Bei Risiken, die als "AUFFÄLLIG" bis "SEHR HOCH" angegeben werden, ist in jedem Fall eine genauere Untersuchung der Faktenlage anzuraten, um die Risikoeinstufung präzisieren zu können.

Dies kann durch eine detaillierte Standortanalyse (K.A.R.L.<sup>®</sup>-EXPERT) erfolgen, die direkt bei der KA in Auftrag gegeben werden kann.

Die vorliegende Risikoanalyse wurde automatisch erstellt. Es erfolgte keine Sichtung und Plausibilitätskontrolle durch einen wissenschaftlichen Experten. Bestimmte Umgebungsbedingungen, die nur optisch in Landkarten, Luftaufnahmen oder Satellitenbildern erkennbar sind und die Risikoeinstufung möglicherweise entscheidend beeinflussen würden, konnten deshalb nicht identifiziert und berücksichtigt werden.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Team K.A.R.L.<sup>®</sup> (team.karl@koeln-assekuranz.com)

## KLIMATISCHE BEDINGUNGEN (Stand: 2025)

Jahresmitteltemperatur:	26,6 °C
Kältester Monat:	Jan. mit 8,3 °C
Wärmster Monat:	May mit 42,4 °C
Anzahl Tage pro Jahr $\geq 20^{\circ}\text{C}$ (Mitteltemperatur):	277
Mittlere Höhe der Frostgrenze über Meeresspiegel:	3697 m
Jahresniederschlag:	862 mm
Niederschlagsreichstes Quartal:	J-A-S mit 639 mm
Niederschlagsärmstes Quartal:	N-D-J mit 25 mm

Die hier angegebenen Klimadaten werden auf Basis eines Klimamodells (NCAR Community Climate System Model (CCSM), Szenario A1b) dynamisch an das jeweils laufende Jahr angepasst.

Theoretische Wasserverfügbarkeit:	42 mm pro Jahr
-----------------------------------	----------------

Erläuterung: 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 durch Versickerung den Grundwasservorrat. Die Wasserverfügbarkeit unterschreitet im vorliegenden Fall einen Wert von 50 mm/a. Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels besteht hohe Dürregefahr. Darum ist die Situation gegebenenfalls als dringend überwachungsbedürftig einzustufen.

Unwetterpotenzial:	hoch (3,26)
--------------------	-------------

Erläuterung: Das Unwetterpotenzial ist eine von der Köln.Assekuranz aus verschiedenen Klimaparametern abgeleitete Maßzahl, mit der die Häufigkeit und Intensität von Unwettern als Vergleichswert zu den Verhältnissen in Westeuropa beschrieben werden kann. Folgende Unwetterpotenziale sind für bestimmte Regionen charakteristisch: Stockholm: 0,6 London: 0,7 Köln: 1,0 München: 1,3 Milano: 1,5 Osaka: 2,3 Hong-Kong: 4,2 Cayenne (Franz.Guayana): 5,1 West-Kolumbien: 11,7 Mumbai: 12,7

Blitzaktivität (Ereignisse pro km<sup>2</sup> und Jahr): 11,3

---

Erläuterung: Von NASA-Satelliten wird die Blitzhäufigkeit global überwacht. Folgende Blitzhäufigkeiten (Anzahl pro Jahr und km<sup>2</sup>) sind für bestimmte Regionen charakteristisch: Stockholm: 0,4 London: 1,0 Cayenne (Franz.Guayana): 1,6 Köln: 2,0 München: 2,0 Osaka: 4,7 Mumbai: 6,0 Milano: 12,0 Hong-Kong: 15,0 West-Kolumbien: 25,0

Nur etwa 10 Prozent der registrierten Blitze schlagen auf der Erdoberfläche ein.

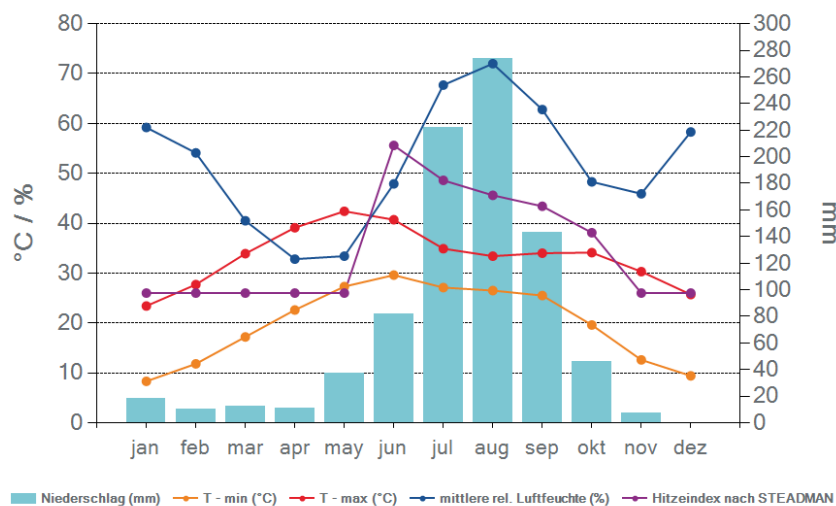
Berechnete maximale Schneelast (kg/m<sup>2</sup>): 0

---

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind keine signifikanten Schneelasten zu erwarten.

**FÜR BAUSTATISCHE BERECHNUNGEN SIND AUSSCHLIESSLICH DIE VON DEN ÖRTLICHEN BAUBEHÖRDEN HERAUSGEGEBENEN SCHNEELASTEN ZU VERWENDEN!**

### Klimadiagramm



Erläuterung: Der Hitzeindex nach STEADMAN gibt die gefühlte Temperatur im Bereich höherer Temperaturen wieder. In seine Berechnung fließen die langjährigen Mittelwerte der realen Temperaturen und Luftfeuchten ein. Sein als gesundheitlich unkritisch angesehener Normalwert, der bei 26 °C liegt, wird am untersuchten Standort mit einem Wert von 55,6 °C zeitweise überschritten. Dies bedeutet, dass es in den betreffenden Monaten zu folgenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann:

Hitzeindex 27 bis 32 °C: Vorsicht – Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen.

Hitzeindex 32 bis 41 °C: Erhöhte Vorsicht – Es besteht die Möglichkeit von Hitzeschäden wie Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps.

Hitzeindex 41 bis 54 °C: Gefahr – Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich.

Hitzeindex über 54 °C : Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich.



## **GEFÄHRDUNGS- UND RISIKOANALYSEN**

Die nachfolgend genannten GEFÄHRDUNGEN werden von K.A.R.L.<sup>®</sup> bei jeder einzelnen Auswertung auf Basis naturwissenschaftlicher Daten neu berechnet. Bestehende Gefahrenkarten (siehe Abschnitt Datenquellen) werden lediglich zu Kontroll- und Vergleichszwecken herangezogen. Die aus den Gefährdungen abgeleiteten RISIKEN hängen darüber hinaus von lokalen Faktoren (Geländehöhe, vorhandene Schutzmaßnahmen, Gebäudequalität etc.) sowie den vom unten angegebenen Anwender vordefinierten Vulnerabilitäten (spezifische Empfindlichkeiten der potenziell betroffenen Güter / Anlagen / Gebäude gegenüber den untersuchten Naturgefahren) ab.

### **1. Vulkanismus**

Im Umkreis von 200 km um den untersuchten Standort ist keine rezente vulkanische Aktivität bekannt.

### **2. Erdbeben**

Der untersuchte Standort liegt in einem Gebiet, wo von einer geringen Erdbeben-Gefährdung auszugehen ist.

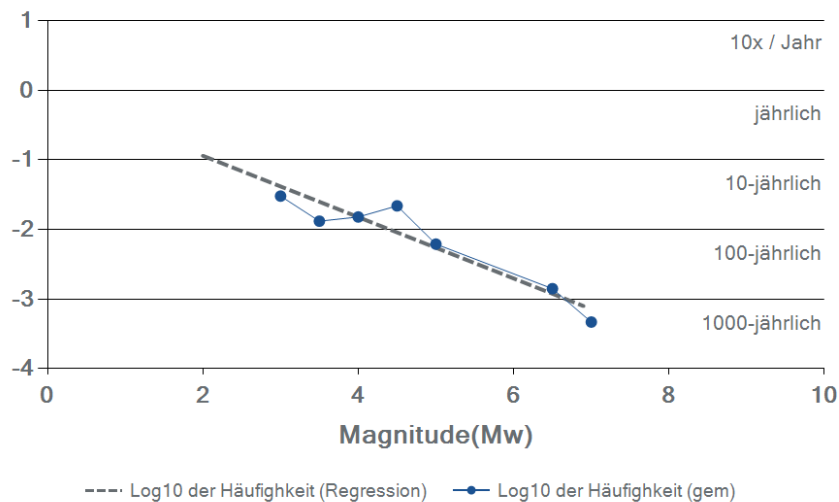
Aufgrund ungünstiger geologischer Rahmenbedingungen (möglicherweise problematischer Untergrund, geringe Distanz zu historisch bekannten Erdbebenherden etc.) ist zusätzlich von einem lokal erhöhten Gefährdungsgrad auszugehen.

Im Umkreis von 180 km um den untersuchten Standort wurden seit dem Jahre 1721 insgesamt 22 Erdbeben registriert, deren Hypozentren in einer Tiefe von weniger als 100 km unter der Erdoberfläche lagen. Die mittlere Herdtiefe betrug 28 km.

Dieser Datensatz wurde statistisch ausgewertet, was zu folgenden Ergebnissen führte:

#### **Erdbebenhäufigkeit**

Die Erdbeben-Stichprobe wurde nach Magnitudenklassen kategorisiert und deren Eintrittshäufigkeiten ermittelt. Die Eintrittshäufigkeiten wurden auf eine Bezugsfläche von 7854 km<sup>2</sup> (R = 50 km) vereinheitlicht. Aus der Gutenberg-Richter-Relation im nachfolgenden Diagramm können die Eintrittswahrscheinlichkeiten (Y) für verschieden hohe Magnituden (X) abgelesen werden.



Das stärkste bislang registrierte Erdbeben ereignete sich am 10.10.1956 15:31 in einer Entfernung von 114 km zum untersuchten Standort. Seine Magnitude lag bei UK = 6,7.

Zur Einstufung der Erdbebengefährdung wird in der Regel das aus der statistischen Häufigkeitsanalyse abgeleitete 475-jährliche Ereignis herangezogen. Dieses entspräche im vorliegenden Fall einer Magnitude von Mw = 5,9 und wäre am untersuchten Standort mit einer MM-Intensität von VI-VII (stark bis sehr stark, leichte bis mittelschwere Gebäudeschäden möglich) verbunden. Zur Ermittlung der Erdbeben-Intensität wurden dabei aufgrund der landschaftlichen Gegebenheiten sehr ungünstige Bodenverhältnisse unterstellt (z.B. Baugrund aus feinkörnigen und wassergesättigten Sedimenten geringer Lagerungsdichte sowie künstlich aufgeschütteter Untergrund). Unter solchen Bedingungen kann es im Erdbebenfall zu schweren Setzungen, Sackungen, Rutschungen und/oder Bodenfließen (Liquefaction) kommen. Es ist dringend zu empfehlen, den Baugrund diesbezüglich vor Ort zu überprüfen.

### Mögliche MM-Intensitäten am Standort

Return Period 10 years:	(-)
Return Period 20 years:	(-)
Return Period 50 years:	I
Return Period 100 years:	II
Return Period 200 years:	IV-V
Return Period 475 years:	VI-VII
Return Period 1000 years:	VIII

### Vulnerabilität Erdbeben

Die Vulnerabilität ist definiert als prozentualer Schadenanteil in Abhängigkeit von der MM-Intensität am Standort und gilt für "Büroimmobilie oder Geschosswohnungsbau, über 7 Etagen". Sie wird zur Berechnung der nachfolgenden Risikokennzahlen verwendet.



### Risikokennzahlen Erdbeben

Probable Maximum Loss, Return Period 50 years (%):	0
Probable Maximum Loss, Return Period 200 years (%):	0,028
Probable Maximum Loss, Return Period 500 years (%):	0,87
Probable Maximum Loss, Return Period 1000 years (%):	15
Berechneter Maximalschaden (%):	32
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0354

Erläuterungen hierzu im Abschnitt RISIKO-KENNZAHLEN.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Erdbeben-Risiko als sehr gering einzustufen.

### 3. Tsunami

Aufgrund der großen Distanz zur Küste von mehr als 30 km besteht kein Untersuchungsbedarf. Tsunamis sind am untersuchten Standort auszuschließen.

### 4. Überschwemmung (Hochwasser, Sturzflut, Drainageversagen)

Die Gefährdungsanalyse auf Basis des digitalen Höhenmodells kam zu folgendem Ergebnis:

Der Standort befindet sich im Nahbereich oder innerhalb einer tief liegenden Senke oder einer sehr flachen Ebene. Die natürlichen Abflussmöglichkeiten sind stark eingeschränkt, so dass die MÖGLICHKEIT von Überschwemmungen aufgrund der lokalen Landschaftsform als sehr hoch anzusehen ist.

Im vorliegenden Fall stützt sich die Berechnung der Überschwemmungsgefährdung durch Ausuferung von Gewässern oder extreme Starkniederschläge sowie des daraus resultierenden Risikos auf Interpretationen digitaler Höhenmodelle in Kombination mit überregionalen Klimafaktoren und wissenschaftlichen Analogschlüssen. Dies bedeutet, dass die nachfolgenden Aussagen einen qualitativen Charakter aufweisen und die ausgegebenen Zahlenwerte von den

realen Bedingungen abweichen können. Eine genauere Überprüfung der Risikolage vor Ort - möglichst anhand konkreter hydrographischer Messdaten - ist deshalb anzuraten.

**Hydrographische Kenndaten (K.A.R.L.<sup>®</sup>-Modell)**

HW-10 (m above sea level)	147,55
HW-20 (m above sea level)	147,93
Local elevation (m above sea level)	148,00
HW-50 (m above sea level)	148,37
HW-100 (m above sea level)	148,65
HW-200 (m above sea level)	148,90
HW-500 (m above sea level)	149,16
HW-1000 (m above sea level)	149,32
HW-MAX (m above sea level)	149,54

Unter der Voraussetzung, dass die angegebene bzw. angenommene Ortshöhe von 148,00 m über dem Meeresspiegel für den Standort repräsentativ ist, liegt dieser im Vergleich zu seiner weiteren Umgebung (1 bis 2 km) sehr tief.

Aufgrund der örtlichen Situation am Standort ist davon auszugehen, dass die Überschwemmungsgefahr den verantwortlichen Personen bekannt ist und Schutz- und Sicherungsmaßnahmen existieren. Unter dieser Annahme und Berücksichtigung der lokalen hydrologischen Gegebenheiten wurde das berechnete Risiko durchschnittlich um den Faktor 0,5 reduziert.

Es wurde von K.A.R.L.<sup>®</sup> unter den vorgefundenen Bedingungen davon ausgegangen, dass am Standort keine technische Schutzvorrichtungen gegen Überschwemmung existieren. Da es sich hierbei um eine von K.A.R.L.<sup>®</sup> vorgenommene Schätzung handelt, ist dringendst zu empfehlen, diesen Sachverhalt vor Ort zu verifizieren.

**Vulnerabilität Überschwemmung**

Die Vulnerabilität ist definiert als prozentualer Schadenanteil unter Einwirkung von Süßwasser in Abhängigkeit von der möglichen Überflutungshöhe am Standort und gilt für "Büroimmobilie oder Geschosswohnungsbau, über 7 Etagen". Sie wird zur Berechnung der nachfolgenden Risikokennzahlen verwendet.



## Risikokennzahlen Überschwemmung

Probable Maximum Loss, Return Period 50 years (%):	1,0
Probable Maximum Loss, Return Period 100 years (%):	2,6
Probable Maximum Loss, Return Period 200 years (%):	3,6
Probable Maximum Loss, Return Period 500 years (%):	4,3
Probable Maximum Loss, Return Period 1000 years (%):	4,7
Berechneter Maximalschaden (%):	5,3
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0607

Erläuterungen hierzu im Abschnitt RISIKO-KENNZAHLEN.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Überschwemmungsrisiko als gering einzustufen.

**ACHTUNG:** Die genaue Ortshöhe wurde nicht angegeben, ist aber bezüglich einer korrekten Einstufung des Überschwemmungsrisikos sehr wichtig. Es ist dringend zu empfehlen, diese zu ermitteln und die Analyse damit zu wiederholen.

## 5. Starkregen

Starkregen ist meist ein relativ eng begrenztes Phänomen und kann auch in hochwassersicheren Zonen vorkommen. Umgekehrt können Überschwemmungen bzw. Sturzfluten durch Starkregen-Ereignisse hervorgerufen werden, die weitab vom untersuchten Standort stattfinden, diesen jedoch nicht direkt treffen. Die Gefahrenorte eines niedergehenden Starkregens und der davon ausgelösten Sturzflut sind also nicht identisch. Deshalb werden die Risiken für Überschwemmung und Starkregen von K.A.R.L.<sup>®</sup> separat bewertet, denn es handelt sich um voneinander unabhängige Risiken.

Starkregen kann Schäden verursachen, die sich - anders als bei einer Überschwemmung - unter ungünstigen Bedingungen auf kleinstem Raum realisieren. An erster Stelle sind hier Wassereinträge in Kellerräume und Tiefgaragen sowie deren Einfahrten, in allseitig geschlossene Innenhöfe, Unterführungen und kleine lokale Senken zu nennen. Alle genannten Strukturen sind oft baulicher Natur und von einer nur geringen flächigen Ausdehnung. Sie können deshalb von K.A.R.L.<sup>®</sup> auf Basis der verwendeten Höhenmodelle nicht erkannt werden. Hinzu kommen mögliche Schäden durch das Eindringen von Regenwasser in Gebäude, Fahrzeuge und Transportmittel (Wagons, Container, Kisten, Verpackungsfolien etc.) sowie Beeinträchtigungen durch unterspülte Infrastruktursysteme.

Weiterhin hängt das Risiko, durch Starkregen beeinträchtigt zu werden oder Schaden zu erleiden, in hohem Maße von der Aufnahmekapazität der lokalen Abwassersysteme ab. Diese sind aufgrund von Wirtschaftlichkeitserwägungen normalerweise nur auf Regenmengen ausgelegt, die in statistischen Intervallen von 3 bis 10 Jahren auftreten (Bemessungsregen). Ein höherer Schutzgrad ist selten zu finden und wird daher im vorliegenden Zusammenhang nicht

betrachtet. Wird der Bemessungsregen überschritten, kommt es zum Überstau, zum Austritt von Kanalwasser an der Oberfläche und den damit verbundenen Folgeschäden.

Zur Berechnung der Starkregen-Gefährdung und des daraus resultierenden Risikos kommt ein bei der KA entwickeltes Modell zum Einsatz, das auf global verfügbaren Klimadaten basiert und das anhand gemessener Niederschlagsdaten von mehr als 1.700 weltweit verbreiteter Wetterstationen kalibriert wurde. Dieses Modell liefert für jeden Punkt der Erde (außer der Antarktis) die für Wiederkehrperioden zwischen 1 und 10.000 Jahren zu erwartenden Näherungswerte der maximalen Tagesniederschläge.

### Maximale Tagesniederschläge (K.A.R.L.<sup>®</sup>-Modell)

5-year (mm per day)	158
10-year (mm per day)	201
20-year (mm per day)	250
50-year (mm per day)	323
100-year (mm per day)	385
200-year (mm per day)	452
500-year (mm per day)	550
1000-year (mm per day)	630
MAX (mm per day)	938

Es gibt keine global gültigen und miteinander vergleichbaren Definitionen zu den Begriffen Bemessungs- und Starkregen. Was als Starkregen empfunden wird, hängt hauptsächlich vom regionalen Klima ab. Außerdem sind die lokalen Umgebungsbedingungen, die einen Starkregen zu einem Schadenereignis werden lassen, kaum zu spezifizieren. Da vor diesem Hintergrund einerseits eine Festlegung auf bestimmte Vulnerabilitäten nicht möglich ist und andererseits auch keine global flächendeckenden Informationen zur Dimensionierung von Abwassersystemen vorliegen, wird im Rahmen der vorliegenden Analyse von folgenden generalisierten Annahmen ausgegangen:

1. Der Bemessungsregen orientiert sich am lokalen 5-jährlichen Tagesniederschlag, anzugeben als Niederschlagshöhe in mm (von K.A.R.L.<sup>®</sup> auf- bzw. abgerundet auf die nächsten vollen 50 mm/Tag). Als maximaler Bemessungsregen wird ein Wert von 250 mm/Tag angenommen. Weiterhin wird unterstellt, dass der von K.A.R.L.<sup>®</sup> berechnete Bemessungsregen nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% in die Dimensionierung von Abwassersystemen eingegangen ist. Dagegen wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 75% davon ausgegangen, dass der Bemessungsregen kaum höher als 100 mm/Tag sein dürfte.

2. Niederschlagsereignisse unterhalb oder in Höhe des angenommenen Bemessungsregens erzeugen keine Schäden.

3. Niederschlagsereignisse, die den angenommenen Bemessungsregen überschreiten, gelten als Starkregen.

4. Maßgeblich für den potenziellen Schadegrad ist der Faktor, um den ein Starkregen einer bestimmten Wiederkehrperiode den angenommenen Bemessungsregen übertrifft.

5. Der höchstmögliche Schaden wird von K.A.R.L.<sup>®</sup> dann unterstellt, wenn ein Starkregeneignis die 5-fache Niederschlagsmenge des angenommenen Bemessungsregens erbringt. Er wird mit dem Maximalschaden gleichgesetzt, der laut verwendeter Vulnerabilität für Überschwemmungen gilt. Zwischen dem ersten Überschreiten des Bemessungsregens und dem potenziellen Maximalwert wird ein exponentieller Anstieg des Schadenpotenzials angenommen.

Auf dieser Grundlage wird im vorliegenden Fall davon ausgegangen, dass die lokalen Drainagesysteme am untersuchten Standort auf einen Bemessungsregen von 150 mm pro Tag ausgelegt sein sollten und bis zu dieser Niederschlagsmenge keine Schäden durch Starkregen zu erwarten sind. Unter den regionalen meteorologischen Bedingungen können Niederschläge erst dann als Starkregen eingestuft werden, wenn sie diesen Wert überschreiten.

Hieraus ergeben sich die nachfolgenden Risikokennzahlen.

### Risikokennzahlen Starkregen

Probable Maximum Loss, Return Period 50 years (%):	0
Probable Maximum Loss, Return Period 100 years (%):	1,3
Probable Maximum Loss, Return Period 200 years (%):	3,1
Probable Maximum Loss, Return Period 500 years (%):	10
Probable Maximum Loss, Return Period 1000 years (%):	10
Berechneter Maximalschaden (%):	10
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0499

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Starkregen-Risiko als sehr gering einzustufen.

### 6. Sturmflut

Aufgrund der ausreichend großen Entfernung zur Küste von mehr als 30 km besteht kein Untersuchungsbedarf. Sturmfluten sind am untersuchten Standort nach menschlichem Ermessen auszuschließen.

### 7. Sturm

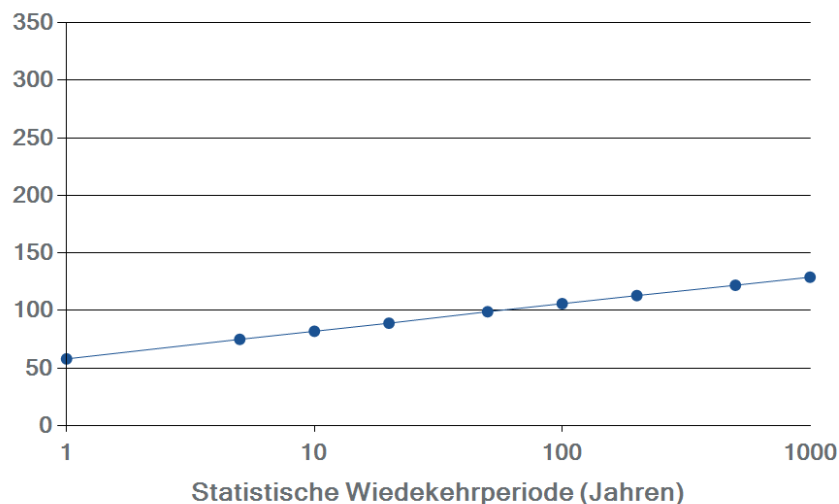
Der untersuchte Standort liegt in einem Gebiet, wo von einer geringen Sturm-Gefährdung auszugehen ist.

Die Berechnung der Sturm-Gefährdung mit K.A.R.L.<sup>®</sup> beruht auf eigenen Auswertungen der KA von ca. 5000 weltweit verteilten Wetterstationen, über die auswertbare langjährige Messreihen bezüglich der lokalen Windgeschwindigkeiten vorliegen. Hierbei wird nicht zwischen tropischen Wirbelstürmen und außertropischen Stürmen unterschieden. Darüber hinaus wurde mithilfe digitaler Höhenmodelle untersucht, inwieweit die morphologische Exposition des Standortes Einfluss auf die dort zu erwartenden maximalen Windgeschwindigkeiten ausüben könnte.

Die statistische Analyse der Daten ergab, dass Windstärken  $\geq 8$  Bft ( $\geq 72$  km/h) etwa alle 3 Jahre auftreten können. Das 100-jährliche Sturmereignis entspricht einer lokalen maximalen Windgeschwindigkeit von 106 km/h.

### Sturm-Häufigkeit

Aus dem nachfolgenden Diagramm können die in lokalen Starkböen maximal zu erwartenden Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Wiederkehrperioden abgelesen werden. Es gilt folgende Einteilung: Sturm 89-102 km/h, schwerer Sturm 103-117 km/h, Orkan und tropischer Wirbelsturm 118-177 km/h; starker tropischer Wirbelsturm  $> 178$  km/h



### Vulnerabilität Sturm

Die Vulnerabilität ist definiert als prozentualer Schadenanteil in Abhängigkeit von der möglichen Windgeschwindigkeit am Standort und gilt für "Büroimmobilie oder Geschosswohnungsbau, über 7 Etagen". Sie wird zur Berechnung der nachfolgenden Risikokennzahlen verwendet.





### Risikokennzahlen Sturm

Probable Maximum Loss, Return Period 50 years (%):	0,055
Probable Maximum Loss, Return Period 100 years (%):	0,064
Probable Maximum Loss, Return Period 200 years (%):	0,076
Probable Maximum Loss, Return Period 500 years (%):	0,093
Probable Maximum Loss, Return Period 1000 years (%):	0,15
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0021

Erläuterungen hierzu im Abschnitt RISIKO-KENNZAHLEN.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Sturm-Risiko als sehr gering einzustufen.

### 8. Tornado

Der untersuchte Standort liegt in einem Gebiet, wo die Tornado-Gefährdung nach derzeitigem Kenntnisstand unbedeutend ist.

Die Tornado-Gefährdung wurde von K.A.R.L.<sup>®</sup> anhand der regionalen Klimaparameter und geographischen Faktoren ermittelt. Hierbei wurde im Rahmen von Modellrechnungen außerdem berücksichtigt, dass weite Ebenen oder nur leicht hügeliges Gelände das Auftreten von Tornados begünstigen, hingegen eine stark strukturierte Landschaft ihr Entstehen eher behindert bzw. lediglich Tornados von relativ kurzer Lebensdauer zulässt. Die Kalibrierung des Modells erfolgte auf Basis von Wetter- und Klimadaten aus den USA (Quelle: NOAA).

Hieraus ergibt sich, dass in der Region des untersuchten Standorts im ungünstigsten Falle mit einer statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,0889 schweren Tornados pro Jahr auf einer Bezugsfläche von 10.000 Quadratkilometern zu rechnen ist.

Weiterhin wurde unterstellt, dass nennenswerte Schäden nur dann entstehen, wenn ein Tornado, dessen mittlere Breite etwa 500 m beträgt, einen lokal begrenzten Standort frontal trifft. Dann allerdings sollte von einem Totalschaden auszugehen sein. Da diese Situation jedoch selbst in Gebieten mit hoher Tornado-Gefährdung nur selten eintritt, fallen die berechneten Risiken im Vergleich zu anderen Naturgefahren generell relativ niedrig aus.

Zur Definition der Vulnerabilität gegenüber Tornados wurde ein maximales Schadenpotenzial von 100 % angesetzt.

### Risikokennzahlen Tornado

Berechneter Maximalschaden (%):	100
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0089

Erläuterungen hierzu im Abschnitt RISIKO-KENNZAHLEN.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Tornado-Risiko als sehr gering einzustufen.

## 9. Hagel

Der untersuchte Standort liegt in einem Gebiet, wo von einer mittleren Hagel-Gefährdung auszugehen ist.

Die Berechnung der Hagel-Gefährdung mit K.A.R.L beruht auf einem von Experten der KA entwickelten Modell. Hierbei wurde auf der Grundlage regionaler Klimaparameter untersucht, inwieweit diese das Auftreten von Hagel entweder begünstigen oder verhindern und sich in ihrer Wirkungsweise eventuell auch gegenseitig kompensieren können. Da Hagel zudem in den meisten Fällen an Gewitter gebunden ist, wurde auch die Blitzhäufigkeit in die Modellrechnungen einbezogen. Die Kalibrierung des Modells erfolgte auf Basis von Wetter- und Klimadaten aus den USA (Quelle: NOAA).

Dies bedeutet, dass statistisch etwa jedes Jahr mit Hagelkörnern eines mittleren Durchmessers von  $< 1$  cm, alle 10 Jahre mit  $1,6 \pm 0,8$  cm, alle 100 Jahre mit  $3,1 \pm 0,9$  cm und etwa alle 1000 Jahre mit  $4,7 \pm 1,0$  cm gerechnet werden sollte. Die genannten Wiederkehrperioden beziehen sich auf eine Grundfläche von 1 km<sup>2</sup>.

Für die Risikoanalyse wird hier angenommen, dass keine Hagelschutzmaßnahmen bestehen.

### Vulnerabilität Hagel

Die Vulnerabilität ist definiert als prozentualer Schadenanteil in Abhängigkeit vom mittleren Durchmesser der aufschlagenden Hagelkörner und gilt für "Büroimmobilie oder Geschosswohnungsbau, über 7 Etagen". Sie wird zur Berechnung der nachfolgenden Risikokennzahlen verwendet.



### Risikokennzahlen Hagel

Probable Maximum Loss, Return Period 50 years (%):	0
Probable Maximum Loss, Return Period 500 years (%):	0,15
Probable Maximum Loss, Return Period 1000 years (%):	0,35
Berechneter Maximalschaden (%):	1,8
Relatives Risiko (%/Jahr):	0,0010

Erläuterungen hierzu im Abschnitt RISIKO-KENNZAHLEN.

Unter den beschriebenen Bedingungen ist das Hagel-Risiko als sehr gering einzustufen.

## METHODIK

Die mit K.A.R.L.<sup>®</sup> ermittelten Risiko- und Gefährdungseinstufungen stützen sich auf global verfügbare geologische, geographische und meteorologische Datensätze, die bei der KA vorgehalten, kontinuierlich gepflegt, erweitert und präzisiert werden. Ebenso werden die verwendeten Berechnungsmethoden ständig verbessert und dem aktuellen Wissensstand angepasst. Somit spiegeln die Ergebnisse ausschließlich den aktuellen Wissensstand zum Zeitpunkt der Berichtserstellung wider.

Informationen über Schadenereignisse der Vergangenheit werden lediglich zur Verifizierung der eingesetzten Rechenmodelle herangezogen, nicht aber als deren Grundlage. Damit ist gewährleistet, dass sich die Risikomodellierung weitestmöglich an naturwissenschaftlichen Prinzipien orientiert und nicht durch die zufallsbehaftete und manchmal auch lückenhafte Erhebung von Schadendaten beeinflusst ist.

Fehlende oder unvollständige Daten werden durch spezielle, bei der KA entwickelte Schätzverfahren plausibel ergänzt. Hierbei wird generell nach dem WORST-CASE-PRINZIP vorgegangen, d.h. Risikobewertungen mit einem hohen Anteil an geschätzten Parametern fallen deshalb meistens etwas zu hoch aus.

### WICHTIGER HINWEIS:

Die vorliegende Risikoanalyse wurde automatisch erstellt. Es erfolgte keine Sichtung und Plausibilitätskontrolle durch einen wissenschaftlichen Experten. Bestimmte Umgebungsbedingungen, die nur optisch in Landkarten, Luftaufnahmen oder Satellitenbildern zu erkennen sind und von denen die Risikoeinstufung möglicherweise entscheidend beeinflusst würde, konnten deshalb nicht identifiziert werden und bleiben unberücksichtigt.

## DATENQUELLEN

A.Jarvis, H.I.Reuter, A.Nelson, E.Guevara, 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT)

Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. M. and Zhang, P.: The GSHAP Global Seismic Hazard Map. In: Lee, W., Kanamori, H., Jennings, P. and Kisslinger, C. (eds.): International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology, International Geophysics Series 81 B, Academic Press, Amsterdam, 1233-1239, 2003

KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH, eigene Datenerhebungen und Recherchen

Munich RE, "topics" (diverse Jahrgänge)

NASA - Global Hydrology Resource Center (GHRC)

NCAR GIS Program. 2012. Climate Change Scenarios, version 2.0. Community Climate System Model, June 2004 version 3.0. <http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm3.0/> was used to derive data products. NCAR/UCAR. URL: <http://www.gisclimatechange.org>. Data Access Date june 2017

NOAA - National Geophysical Data Center (NGDC)

NOAA - National Climatic Data Center (NCDC)

Smithsonian Institution (Washington), Global Volcanism Program

Stive, Marcel J.F. et al, How the Dutch plan to stay dry over the next Century, published in ICE-Civil Engineering (164) 2011, CE3, pp 114-212, ISSN0965 089X

U.S. Geological Survey, Department of the Interior/USGS

Van Dantzig, D. (1956) Economic decision problems for flood prevention, *Econometrica* 24(3): 276–287

Yongcun Cheng, Ole Baltazar Andersen, (2010). Improvement in global ocean tide model in shallow water regions. Poster, SV.1-68 45, OSTST, Lisbon, Oct.18-22

Daten aus den angegebenen Quellen werden von der KA lediglich ausgewertet und interpretiert. Es erfolgt keinerlei Weitergabe der originalen Datensätze an Dritte.

## **IMPRESSUM**

KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH

Scheidtweilerstr. 4

50933 Köln

Tel.: +49 (221) 3 97 61 – 200

Fax: +49 (221) 3 97 61 – 301

[info@koeln-assekuranz.com](mailto:info@koeln-assekuranz.com)

[www.koeln-assekuranz.com](http://www.koeln-assekuranz.com)

© 2025

KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH