



## **K.A.R.L.<sup>®</sup> RELEASE 2022**

Technische Überarbeitung - Tornado - Schutzziele

## K.A.R.L.® Release 2022

**Der beste K.A.R.L.® aller Zeiten wird immer besser!**

Das Team der KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH entwickelt das System K.A.R.L.® stetig weiter – sowohl technisch als auch inhaltlich. Neue Erkenntnisse und Daten wurden seit dem letzten Release gewonnen und warten darauf, nun zum Einsatz zu kommen. Zu den Neuerungen des aktuellen Releases zählen:

- **Grundlegende technische Überarbeitung von K.A.R.L. mit der Übersetzung in eine neue Programmiersprache**
- **Überarbeitung des Tornado-Modells**
- **Trennung des Schutzziele für Überschwemmung und Sturmflut**
- **Update der Erdbeben- und Tsunamidatenbank**

### 1. Grundlegende Technische Überarbeitung von K.A.R.L.®

Die größte Änderung, die im Rahmen dieses Releases an K.A.R.L. durchgeführt wurde, hat keinen Einfluss auf die Risikomodellierung und ist für den Nutzer nicht sichtbar. Es geht darum, dass der komplette Programmcode von K.A.R.L. aus der Programmiersprache Visual Basic Classic 6.0 (VB6, Erscheinungsjahr 1991) in Visual Basic.NET (Technischer Status 2021) konvertiert wurde. Die Konvertierung des Programmcodes in Visual Basic.NET bringt folgende Verbesserungen mit sich:

- Durch den Umstieg werden kleinere Rundungsfehler (Auswirkung auf Risiken im Bereich der 4. Nachkommastelle) beseitigt, die auf einem Fehler im Compiler von Visual Basic 6.0 basieren
- Es wird die zukünftige Lauffähigkeit des K.A.R.L.-Rechenkerns auf längere Sicht sichergestellt
- Das System wird insgesamt wartungsfreundlicher, was zu kürzeren Release-Zyklen führen kann
- Durch die Kompilierung als 64-bit-Applikation erreicht man besseres Speichermanagement und damit höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten

### 2. Überarbeitung des Tornado-Modells

Die neue Version von K.A.R.L. enthält ein weiterentwickeltes Tornado-Modell. Vergleiche mit einer Reihe von aktuellen Studienergebnissen (z.B. Ashley 2007; Griesser & Haines 2020; BlueSkies 2014; Strader et al. 2017) haben gezeigt, dass die Tornado-Gefährdung vom bisherigen K.A.R.L.-Modell in vielen Regionen als zu hoch eingeschätzt wurde. Ziel der Überarbeitung des Tornado-Modells ist daher eine realistischere Einschätzung der Tornadohäufigkeit. Im Folgenden werden die neuen Erkenntnisse und die Überarbeitung des Modells vorgestellt.

#### Gefährdungsanalyse -

#### Berechnung der Tornadohäufigkeiten

Zur Abschätzung des Tornado-Risikos an einem Standort werden zunächst Informationen über die Gefährdungslage, genauer die Eintrittshäufigkeit von Tornados, benötigt. Das Verfahren zur Bestimmung von Tornadohäufigkeiten basiert im Wesentlichen auf zwei Annahmen (schematische Darstellung in Abbildung 1):

- Tornado-Häufigkeit korreliert mit der Häufigkeit von Hagelereignissen
- Tornado-Häufigkeit ist abhängig von der Reliefenergie, die sich aus Höhendifferenzen in der Nähe des untersuchten Standortes ergibt

Da sich sowohl Hagel als auch Tornados immer im Zusammenhang mit Gewitterzellen bilden, geht K.A.R.L. von der Annahme aus, dass überall dort, wo Hagel möglich ist, grundsätzlich auch mit dem Auftreten von Tornados zu rechnen ist. Dementsprechend orientiert sich die Einstufung der Tornado-Gefahr in erster Näherung an dem von K.A.R.L. berechneten Hagelpotenzial. Hohe Hagelpotenzial-Werte deuten auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hagel und größeren Hagelkörnern hin (nähere Erläuterungen zum Hagelmodell in K.A.R.L. Release 2019).

#### Weltweite Tornado-Häufigkeiten werden aus der Korrelation zwischen Hagelpotenzial und Tornado-Beobachtungen in der USA ermittelt

Zur Überarbeitung des Tornado-Modells werden als erstes unter der Annahme, dass in Regionen mit hohem Hagelpotenzial die Tornado-Gefährdung ebenfalls erhöht ist, Tornadohäufigkeiten (in Anzahl pro Jahr und 10.000 km<sup>2</sup>) aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien (z.B. Ashley 2007 und Storm Prediction Center, USA) mit den von K.A.R.L. berechneten Hagelpotenzialen korreliert. Bei dieser Analyse werden nur Tornados mit einer

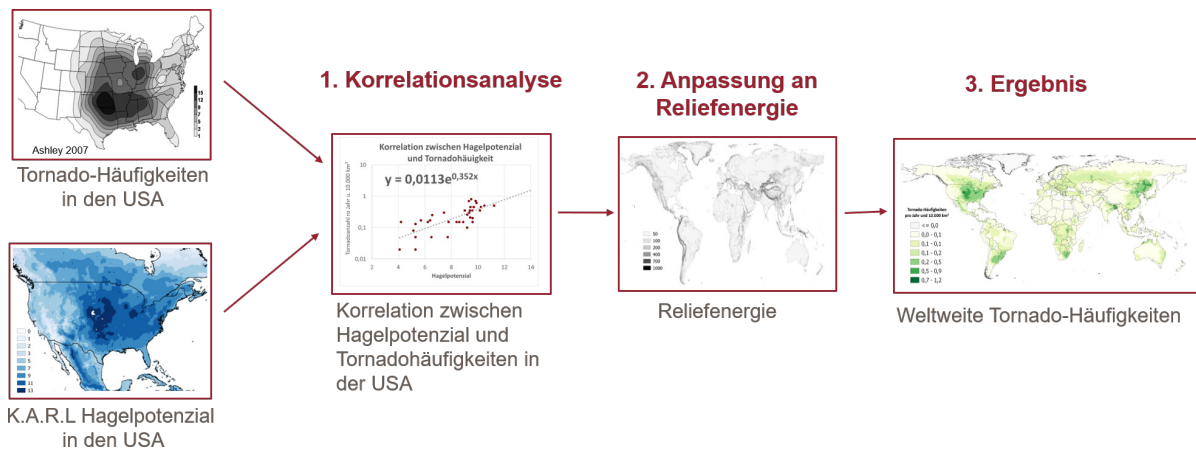


Abb. 1: Schematische Darstellung des Prozesses zur Ermittlung der weltweiten Tornadohäufigkeiten.

Intensität von größer gleich 2 auf der Fujita-bzw. Enhanced Fujita-Skala (siehe auch <https://www.weather.gov/oun/efscale>) berücksichtigt, da erst ab dieser Stärke Tornados erhebliche Schäden verursachen. Die angewandte, statistische Auswertung basiert im Wesentlichen auf Daten der Fläche der USA, da für diese Region die verlässlichsten Beobachtungsdaten für einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren vorliegen. Zur abschließenden Validierung wird der Output des Tornado-Modells jedoch mit weltweiten Tornado-Beobachtungen verglichen.

Der aus der Korrelation ermittelte statistische Zusammenhang wird in einem weiteren Schritt auf die weltweiten Hagelpotenziale angewendet, um so eine Annäherung der globalen Tornadohäufigkeiten zu erhalten.

Als letztes wird die somit errechnete weltweite Tornado-Häufigkeit in Abhängigkeit von der regionalen Reliefenergie nochmals modifiziert. Die Reliefenergie beschreibt die relativen Höhenunterschiede eines Geländes – unabhängig von der absoluten Höhe über dem Meeresspiegel. Sie ist somit ein Maß für die potentielle Energie der Geländeformen.

Zur Modifizierung der Tornado-Häufigkeiten wird davon ausgegangen, dass die Entstehung von Tornados bei einer geringen regionalen Reliefenergie <50 m (schwach hügeliges Gelände, ebene Flächen) in hohem Maße begünstigt wird, bei einer ausgeprägten Reliefenergie >150 m (alpines Hochgebirge) aber nahezu unmöglich ist.

Das Resultat aus den hier beschriebenen Berechnungen

ist in Abbildung 2 als Tornadopotenzial dargestellt. Das Tornadopotenzial gibt die durchschnittliche Anzahl von F2- bis F5-Tornados an, die statistisch pro Jahr auf einer Fläche von 10.000 km<sup>2</sup> zu erwarten sind.

Die statistische Auswertung der Tornado-Ereignisse in den USA von Ashley (2007) über die Jahre 1950 bis 2004 ergab, dass während dieses Zeitraums in den am häufigsten getroffenen Gebieten des US-amerikanischen Mittelwestens mehr als 15 schwere Tornados (Klassen F2, F3, F4 und F5) auf einer Fläche von 60 km x 60 km aufgetreten sind. Dies entspricht ca. 0,8 Tornados pro Jahr auf einer Fläche von rd. 10.000 km<sup>2</sup> (entspricht einer quadratischen Fläche mit 100 km Kantenlänge). Das überarbeitete Tornado-Modell in K.A.R.L. ermittelt in der extrem belasteten Zone im Grenzgebiet Texas/Oklahoma etwa 1,0 schweren Tornado pro Jahr auf einer Fläche von etwa 100 km x 100 km. Damit liegen die K.A.R.L.-Werte leicht über den beobachteten Häufigkeiten und erfüllen damit das in K.A.R.L. angewandte Vorsichts-Prinzip.

Innerhalb Europas liegen die von K.A.R.L. modellierten Werte zwischen 0,01 und 0,25 Tornados pro Jahr und 10.000 km<sup>2</sup>. Dabei ist mit den wenigsten Tornados in den alpinen Regionen und den meisten Tornados in tieferen Ebenen, wie z.B. südlich der Alpen in der Norditalienischen Tiefebene, zu rechnen. Die von K.A.R.L. ermittelten Tornadohäufigkeiten stimmen in vielen Regionen auch außerhalb Europas und den USA gut mit Beobachtungen bzw. wissenschaftlichen Erkenntnissen aus derzeitiger Literatur überein.

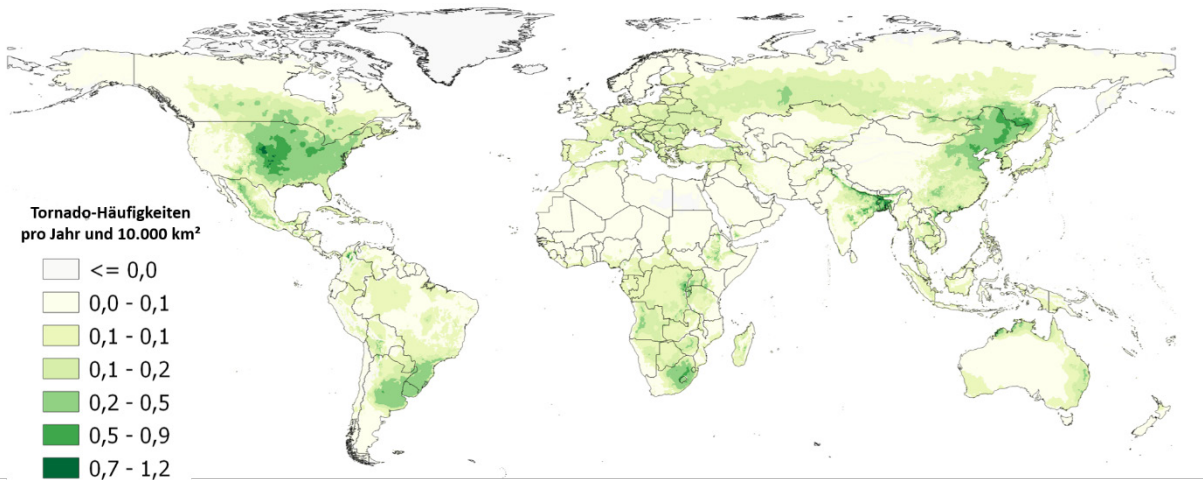


Abbildung 2: Tornadopotenzial - Abgeschätzte Tornado-Häufigkeit in Anzahl von Tornados pro Jahr und einer Fläche von 10.000 km². Das Tornadopotenzial wurde von K.A.R.L. mit dem hier beschriebenen Verfahren berechnet.

### Risikoanalyse -- Berechnung des Tornado-Risikos

Anhand von wissenschaftlichen Studien (z.B. Groenemeijer & Kühne, 2014) wird deutlich, dass die Größe der zerstörten Fläche sehr stark variiert vor allem je nach Intensität des Tornados. Für die Berechnungen des Tornado-Risikos in K.A.R.L. wurden auf Grund des Vorsichts-Prinzips wiederum mittlere Werte aus dem oberen Wertebereich (aus Groenemeijer & Kühne, 2014) gewählt. Somit ergeben sich folgende Rahmendaten zur Berechnung der von einem Tornado zerstörten Fläche:

- Länge des Tornadopfad: ca. 20 km
- Breite der Tornadoschneise: ca. 0,5 km

Daraus ergibt sich eine mittlere Fläche, in der ein Tornado Zerstörungen anrichten kann:

- Mittlere zerstörte Fläche = 20 km \* 0,5 km = 10 km²

Unter Annahme einer im Mittel betroffenen Fläche von 10 km² ergibt sich für Regionen mit 1 Tornado pro Jahr und 10.000 km² für die Zerstörung eines Objektes durch einen Tornado eine Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren.

Zur Berechnung des Risikos wird vereinfacht davon ausgegangen, dass ein Tornado immer 100 % Schaden an direkt getroffenen Objekten verursacht. Somit beträgt das mittlere, jährliche Risiko in den stark betroffenen Regionen der USA ca. 0.1 % pro Jahr (siehe Abbildung 3). Dies entspricht einem auffälligen Risiko. In weniger stark betroffenen Regionen kann von einem geringen bis sehr geringen Risiko ausgegangen werden.

### Risiko pro Standort in den USA in stark betroffenen Regionen (mit 1 Tornado pro 10.000 km²):

$$1 \text{ Tornado / 10.000 km}^2 \cdot 10 \text{ km}^2 \cdot 100 \% = 0.1 \% \text{ p.a.} \rightarrow \text{auffälliges Risiko}$$

Tornadohäufigkeit pro Jahr
Zerstörungsfläche
Schadenpotential

Abbildung 3: Formel zur Berechnung des Tornado-Risikos am Beispiel eines Standortes in den USA

### 3. Trennung der Schutzziele für Sturmflut und Überschwemmung

Mit einem Schutzziel wird eine technische Maßnahme gegen das Eindringen von Wasser (z.B. Deich, Mauer oder eine künstliche Geländeerhöhung) beziffert, die bis zu einem gewissen Level Schutz gegen Überschwemmungen im Binnenland und/oder gegen Sturmflut und Tsunami an Küsten bieten soll. Um die jeweiligen Risiken zu bewerten, prüft K.A.R.L., ob ein solcher Schutz gegen die jeweilige Gefahr vorhanden sein sollte. Ist dem Nutzer ein Schutzziel bekannt, das das Objekt oder den Standort bis zu einer bestimmten Jährlichkeit vor einem Hochwasserereignis schützt, kann diese Information an K.A.R.L. weitergegeben werden, der diese in seiner Analyse nutzt.

Wird bei einem hochgefährdeten Standort kein solches Schutzziel vom Nutzer angegeben, so schätzt K.A.R.L. automatisch einen gewissen Schutz für Objekte in Hochrisikogebieten. Dieses Verfahren basiert auf der Annahme, dass in der Regel keine Gebäude oder andere Objekte in Regionen errichtet werden, die erkennbar re-

gelmäßig überfluten, ohne dass entsprechende Schutzmaßnahmen vorhanden sind. Bei der Abschätzung des Schutzziels orientiert sich K.A.R.L. an der Höhe des relativen Risikos. Je höher das relative Risiko der jeweiligen Naturgefahr berechnet wurde, desto höher wird das Schutzziel angesetzt – bis zu einem Maximum von einem 100-jährlichem Schutz.

**Was ist neu?**

Bisher hat K.A.R.L. mit ein und demselben Schutzziel für Hochwasser und Sturmflut gearbeitet und bei Standorten, die von beiden Gefahren betroffen sein könnten, in der Regel das höher geschätzte Schutzziel berücksichtigt. Für alle Standorte, die nicht in unmittelbarer Nähe eines Flusses oder des Meeres liegen, ist dieser Ansatz nicht falsch. Es gibt jedoch vereinzelte Standorte, die sowohl durch Flussüberschwemmungen, als auch durch Sturmfluten gefährdet sein können. In diesen Fällen ist es notwendig, die Schutzziele zu trennen, da sonst eines der beiden Risiken unterschätzt würde. Im Folgenden wird diese Problematik anhand eines Standortbeispiels erläutert.

**Beispiel für Standort in den Niederlanden**

Der für eine Beispielanalyse ausgewählte Standort befindet sich in den Niederlanden auf der Insel Goeree-Overflakkee, in ca. 15 km Entfernung zur Nordseeküste und in unmittelbarer Nähe zum Haringvliet. Der Haringvliet ist ein Binnengewässer, welches auf der einen Seite durch einen Damm von der Nordsee getrennt und am anderen Ende Teil des unteren Rheinlaufs ist.

Für den hier untersuchten Standort wurde laut Kok et al. (2017 und Dutch Water Act) an der Nordseeküste ein 1.000-jährliches Schutzziel gegen Sturmflut und Tsunami errichtet, aber nur ein 300-jährliches Schutzziel in Richtung des Binnengewässers Haringvliet (siehe Abbildung 4). Diese unterschiedlichen Schutzziele können jetzt in der neuen Version von K.A.R.L. berücksichtigt werden.

Für den gezeigten Standort bedeutet dies, dass sich das Überschwemmungsrisiko nahezu verdoppelt (von 0.0348 % p.a. auf 0.065 % p.a.) und von gering zu auffällig wechselt. Zuvor hat K.A.R.L. immer nur das höhere Schutzziel für beide Naturgefahren berücksichtigt, was jeweils eine Unterschätzung eines der beiden Risiken für jene Standorte zur Folge hatte, die von beiden Gefahren betroffen sein können.



Abb. 4: Demo-Standort in den Niederlanden in ca. 12 km Entfernung zur Nordsee und wenige Meter bis zum Binnengewässer Haringvliet. Karte mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten stammt aus Kok et al. (2017).

## 4. Update der Erdbeben- und Tsunami-Datenbank

Für die Berechnung der Erdbeben- und Tsunamigefährdung verwendet K.A.R.L. zwei Datensätze mit weltweiten Beobachtungen von Erdbeben- und Tsunamiereignissen. Diese Datensätze müssen in K.A.R.L. in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden, damit möglichst immer alle neu beobachteten Ereignisse in die Analysen von K.A.R.L. einfließen. Aufgrund von Änderungen in den Datenformaten der Quellen, mussten diese Aktualisierungen längere Zeit aussetzen. Für das anstehende Release wurden die Erdbeben- und Tsunami-daten wieder auf den neusten Stand gebracht.

- Die aktuellen Erdbebenbeobachtungen stammen aus einer Datenbank des United States Geological Survey (USGS)
- Die Daten zu Tsunami-Beobachtungen werden von der U.S. Weather and Oceanographic Administration (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration) bereitgestellt

## 5. Ausblick

Bereits jetzt arbeitet das Team an der Weiterentwicklung von K.A.R.L. In naher Zukunft stehen zwei große Neuerungen an:

- Integration von Klimasimulationen zur Abschätzung zukünftiger Naturgefahren
- Implementierung eines neuen, wesentlich höher aufgelösten Höhenmodells

Mit dem Naturgefahrenanalyse-Tool K.A.R.L. werden aktuell die meteorologischen Gefahren Überschwemmung, Sturmflut, Sturm, Tornado, Hagel und Starkregen sowie ein Index zu Schneelast für aktuelle Klimabedingungen modelliert. Darüber hinaus werden auch die geophysikalischen Gefahren Erdbeben, Vulkanismus und Tsunami analysiert. Diese finden sich in der Beschreibung der „akuten“ Gefahren wieder.

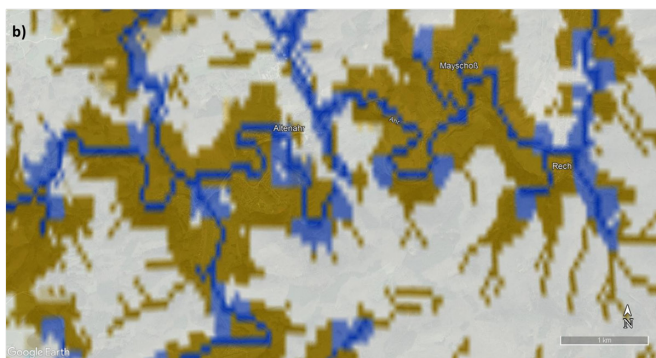
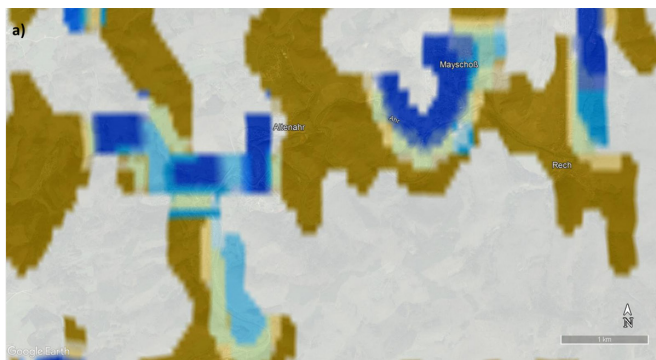
Im Verlauf des Jahres 2022 sollen in die Modellierung dieser Gefahren auch Klima-Modelldaten (CMIP6) mit einfließen, um zukünftige Risiken berechnen zu können. Dabei werden Daten eines Ensembles aus globalen Klimamodellen sowie verschiedene Emissionsszenarien (SSP-Szenarien) und unterschiedliche zukünftige Zeiträume bis ins Jahr 2100 berücksichtigt.

Aktuell wird K.A.R.L. dahingehend erweitert, dass zusätzlich zu den akuten Gefahren auch chronische Gefahren und deren zukünftigen Veränderungen bewertet werden können. Dazu werden auf Basis von Klimamodell-daten (CMIP6) Klima-Indizes berechnet, die in erster Linie die mit dem Klimawandel verbundenen Änderungen von Temperatur- und Niederschlagsextremen beschreiben. Damit bilden diese Indizes im Wesentlichen die Anforderungen an die chronischen Risiken aus der EU-Taxonomie ab. Auch bei der Berechnung der chronischen Gefahren werden unterschiedliche Klimamodelle, Emissionsszenarien sowie Zeiträume analysiert.

Ein weiteres großes Entwicklungsprojekt ist die Implementation eines neuen, wesentlich höher aufgelösten Höhenmodells in K.A.R.L. Bisher verwendet K.A.R.L. das Höhenmodell SRTM500 mit einer Knotenauflösung von ca. 500 Metern. Dieses soll zukünftig durch ein engmaschigeres Höhenmodell mit einer Knotenauflösung von ca. 90 Metern ersetzt werden, das auf dem ALOS-Höhenmodell der Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) beruht. Da es sich hierbei um ein Oberflächenmodell handelt, welches noch die Höhenwerte beispielsweise von Wäldern oder künstlicher Bebauung enthält, sind aufwendige Korrekturrechnungen erforderlich, um flächendeckend die Höhe des Geländes darzustellen zu können. Wie die folgende Abbildung (Ahrtal bei Altenahr, Abb. 5) zeigt, können hiermit Fluss- und Bachläufe wesentlich genauer identifiziert und überschwemmungsgefährdete Zonen demzufolge auch präziser eingegrenzt und bewertet werden.

## 6. Noch eine Kleinigkeit zum Abschluss

Mit diesem Release erhält K.A.R.L. eine Versionsnummer nach „klassischem“ IT-Schema. Da K.A.R.L. mit seinen ca. 14 Jahren „Berufserfahrung“ schon weit von einer Version 1.0 entfernt ist, starten wir mit der Versionsnummer 5.0.0.0. Die erste Stelle werden wir nur bei großen Veränderungen in K.A.R.L. erhöhen (z.B. mit der Integration des neuen Höhenmodells). Die zweite Stelle kennzeichnet kleinere Veränderungen mit Auswirkungen auf die Ergebnisse der Risikoberechnung. Die dritte Stelle werden wir bei Änderungen der Datenbasis erhöhen. Die vierte Stelle schließlich wird kleinste Änderungen kennzeichnen, die keine Auswirkung auf die Ergebnisse der Berechnungen haben (wie z.B. eine Textänderung im Ergebnis-Bericht).



**Flutpotenzial**

	<b>1 = Sehr hoch</b> (tief liegende Mulden, Gebiete unter Meeresspiegel)
	<b>2 = Hoch</b> (Mulden, Flussauen, Ebenen mit behinderter Abflussmöglichkeit)
	<b>3 = Moderat</b> (leichte Mulden, Ebenen mit leicht behinderter Abflussmöglichkeit)
	<b>4 = Leicht</b> (Ebenen mit Abflussmöglichkeit)
	<b>5 = Gering</b> (schräge Ebenen mit Abflussmöglichkeit)
	<b>6 = Sehr gering</b> (schräge Ebenen mit guter Abflussmöglichkeit)
	<b>7 = Sturzflutgefahr</b> (Tal in hügeligem bzw. gebirgigem Gelände)
	<b>Keine erkennbare Überschwemmungsgefährdung</b>

Abb. 5: Flutpotenzial im Ahrtal bei Altenahr für das a) alte Höhenmodell SRTM500 und b) neue, deutlich höher aufgelöste Höhenmodell ALOS.

Groenemeijer, P., Kühne, T. (2014). A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. Monthly Weather Review 142 (12), 4775-4790. Published Dec, 2014. Link: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/142/12/mwr-d-14-00107.1.xml>

K.A.R.L.® Release 2019 (Starkregen – Hagelmodell – Klimadaten): <https://www.koeln-assekuranz.com/documents/20147/76732/KARL-Release+2019.pdf/c7834d91-3b29-a6a4-8880-21b2c54d6dd2>

Kok, M., Kolen, B., Slomp, R. (2017). Risk-informed flood protection in the Netherlands. Conference Paper. Published Oct, 2017.

Link: [https://www.researchgate.net/profile/Robert-Slomp/publication/322626092\\_Risk-informed\\_flood\\_protection\\_in\\_the\\_Netherlands/links/5b2f744baca2720785e04c92/Risk-informed-flood-protection-in-the-Netherlands.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Robert-Slomp/publication/322626092_Risk-informed_flood_protection_in_the_Netherlands/links/5b2f744baca2720785e04c92/Risk-informed-flood-protection-in-the-Netherlands.pdf)

National Oceanic and Atmospheric Administration. NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database.

Link: <https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/tsunami/event-search>

National Oceanic and Atmospheric Administration. Storm Prediction Center WCM. Link: <https://www.spc.noaa.gov/wcm/>

National Oceanic and Atmospheric Administration. The Enhanced Fujita Scale (EF Scale). Link: <https://www.weather.gov/oun/efscale>

Strader, S.M., Ashley, W.S., Pingel, T.J., Krmeneč, A.J. (2017). Projected 21st century changes in tornado exposure, risk, and disaster Potenzial. Climatic Change 141, 301-313. Published Jan 21, 2017. Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-017-1905-4>

United States Geological Survey (USGS). Earthquake Catalog. Link: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

## Links & Quellenangaben

Ashley, W. S. (2007). Spatial and Temporal Analysis of Tornado Fatalities in the United States: 1880–2005, Weather and Forecasting, 22(6), 1214-1228. Retrieved Oct 26, 2021. Link: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/22/6/2007waf2007004\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/22/6/2007waf2007004_1.xml)

BluesSkies Meteorological Services (2014). Where Tornadoes are Deadliest – Probably Not Where You Think. Published June 25, 2014. Link: <https://blueskiesmeteorology.com/where-tornadoes-are-deadliest-probably-not-where-you-think/>

Grieser, J., Haines, P. (2020). Tornado Risk Climatology in Europe. Atmosphere 2020, 11, 768, 1-21. Published July 21, 2020. Link: <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/7/768/htm>

KA Köln.Assekuranz Agentur GmbH  
 Hohenzollernring 72, 50672 Köln  
 Tel.: +49 221 39761-200  
 Fax: +49 221 39761-301  
 info@koeln-assekuranz.com  
<https://karl.koeln-assekuranz.com>

© 2022