

---

**Integration von Climate Value at Risk und Geospatial  
Analyse zur Risikobewertung von  
Immobilienportfolios**  
Uyen Truong

---

Masterarbeit

an der Hochschule für angewandte Wissenschaften München

Fakultät für Informatik und Mathematik

Studienrichtung: Stochastic Engineering in Business and Finance

vorgelegt von

Uyen Truong

München, den 28. August 2024

Erstgutachter: Prof. Dr. Silja Grawert

## **Abstract**

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Quellcodeverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>8</b>
1.1 Zitate . . . . .	8
1.2 Bilder . . . . .	8
1.3 Tabellen . . . . .	8
1.4 Quellcode . . . . .	8
<b>2 Theoretischer Hintergrund</b>	<b>9</b>
2.0.1 Stichprobenumfang . . . . .	9
<b>3 Daten und Portfolio-Vorbereitung</b>	<b>11</b>
3.1 Hypothekendaten . . . . .	11
3.2 Geodaten zu Hypotheken und Hochwasser . . . . .	12
3.2.1 Hypothekengeodaten . . . . .	12
3.2.2 Hochwassergeodaten . . . . .	16
<b>Literatur</b>	<b>20</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Mooresches Gesetz . . . . .	8
2	Verteilung der Bevölkerungsdichte Bayerns nach Postleitzahlenbereichen . . .	14
3	Datenpunktverteilung im Hypothekenportfolio Bayern . . . . .	16
4	EU-Hochwasserrisikokarte.Quelle: EZB 2022 Klimarisiko-Stresstest . . . . .	17
5	Exemplarische Darstellung klimatischer Daten aus dem EU-Klimarisiko-Modell für Ingolstadt. Quelle: European Climate Risk Typology, <a href="https://european-crt.org/map.html">https://european- crt.org/map.html</a> . . . . .	18
6	Kartografische Visualisierung der potenziellen Hochwassergefahrenzonen in Bayern . . . . .	19

---

## Tabellenverzeichnis

1	Prozessoren . . . . .	8
2	Verteilung des Beleihungsauslaufs im Wohnimmobilienportfolio der Münchener Hypothesenbank zum 31.12.2023 . . . . .	12
3	Beschreibung der Geodaten in verschiedenen Postleitzahlgebieten in Bayern . .	13
4	Beschreibung der Geodaten in verschiedenen Postleitzahlgebieten in Bayern . .	15

---

## Quellcodeverzeichnis

1	Hello World in Java . . . . .	9
---	-------------------------------	---

## Abkürzungsverzeichnis

**EZB**            Europäische Zentralbank

# 1 Einleitung

Im Folgenden wird beispielhaft gezeigt, wie Zitate, Bilder, Tabellen oder Quellcode in die Arbeit eingefügt werden können.

## 1.1 Zitate

Menschen, die mit ihrem IQ prahlen, sind Versager.

## 1.2 Bilder

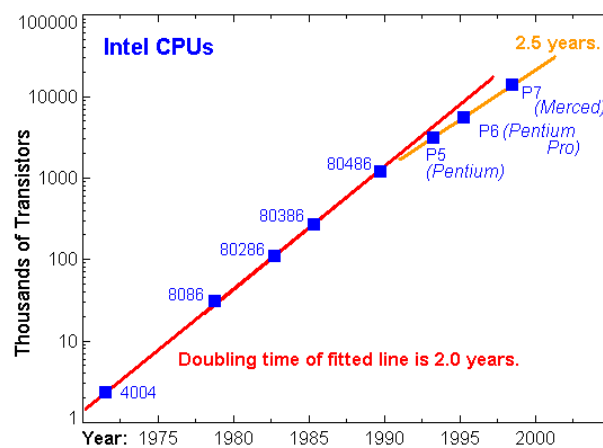


Abbildung 1: Mooresches Gesetz

## 1.3 Tabellen

Bezeichnung	Kerne	TDP
Intel Core i5	6	111 W
AMD Ryzen 7	8	178 W

Tabelle 1: Prozessoren

## 1.4 Quellcode



---

```
1    class HelloWorld {
2        public static void main(String[] args) {
3            // Display the string.y
4            System.out.println("Hello World!");
5        }
6    }
```

---

Quellcode 1: Hello World in Java

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.0.1 Stichprobenumfang

Stichprobenverfahren zielen darauf ab, die Merkmalsverteilungen der Grundgesamtheit zu schätzen. Während Schlussfolgerungen aus einer Stichprobe mit Sicherheit nur für diese selbst gelten, basiert die Verallgemeinerung auf die Grundgesamtheit auf statistischer Inferenz. Aufgrund des Ziels, eine möglichst kleine Teilmenge zu untersuchen, unterliegt die Stichprobenziehung strengen statistischen Kriterien. Zur Gewährleistung der Repräsentativität ist sowohl die Berechnung des erforderlichen Stichprobenumfangs als auch die Auswahl der geeigneten Stichprobenmethode durch sorgfältige organisatorische Evaluation unerlässlich.

Der initiale Schritt bei der Portfolioerstellung besteht in der Ermittlung des erforderlichen Umfangs, um das Bankportfolio präzise abzubilden. Die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs beginnt mit der Bestimmung der theoretischen Stichprobengröße für ein Portfolio mit unendlicher Grundgesamtheit. Diese Basisberechnung ist fundamental für die anschließende Ermittlung des Stichprobenumfangs bei einer endlichen Anzahl von Immobilien.

Für die Berechnung des erforderlichen Stichprobenumfangs bei einer theoretisch unendlichen Grundgesamtheit wird die Cochran-Formel (Cochran, 1953) herangezogen. Die Cochran-Formel lautet:

$$n = \frac{Z^2 \cdot P(1 - P)}{\varepsilon^2} \quad (1)$$

Hierbei repräsentiert  $n$  den initialen Stichprobenumfang. Ein entscheidender Faktor in dieser Formel ist die Festlegung der gewünschten Sicherheit, ausgedrückt durch den Z-Wert. Die Aussagewahrscheinlichkeit einer Stichprobe gibt an, in wie vielen Fällen das angewendete Verfahren zuverlässige Ergebnisse liefert. Das Organisationshandbuch empfiehlt eine Aussagewahrscheinlichkeit von 95%, was einem Z-Wert von etwa 1,96 entspricht. Diese Wahl beeinflusst direkt die Größe der erforderlichen Stichprobe und stellt einen Kompromiss zwischen Präzision und praktischer Durchführbarkeit dar.

Die Stärke der Cochran-Formel liegt in ihrer Flexibilität und Anwendbarkeit auf verschiedene Forschungsszenarien. Sie berücksichtigt sowohl das gewünschte Konfidenzniveau als auch die erwartete Variabilität in der Population.

Für Populationen mit bekannter, endlicher Größe wird die Cochran-Formel modifiziert. Diese angepasste Formel dient als Eingabeparameter für die nachfolgende Gleichung, die den notwendigen Portfolioumfang für eine statistische Repräsentation eines Portfolios der Größe  $N$  berechnet:

$$n' = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{N}} \quad (2)$$

In diesen Formeln steht  $Z$  für den z-Wert des gewählten Konfidenzintervalls,  $N$  für den Umfang der Originalpopulation,  $\varepsilon$  für die Fehlermarge, die das Ausmaß des zufälligen Stichprobenfehlers quantifiziert und ein Maß für die akzeptable Abweichung vom wahren Wert darstellt.  $P$  bezeichnet den Populationsanteil, der den Anteil der Population in einer spezifischen Kategorie angibt. In diesem Kontext wird  $P$  mit 0,5 angesetzt, da der spezifische Wert unbekannt ist und 0,5 den erforderlichen Stichprobenumfang maximiert. Diese konservative Schätzung gewährleistet, dass die Stichprobe groß genug ist, um auch bei unbekannten Populationsparametern zuverlässige Ergebnisse zu liefern.

## 3 Daten und Portfolio-Vorbereitung

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Erstellung eines repräsentativen Hypothekenportfolios erläutert. Der Prozess der Portfoliokonstruktion sowie die herangezogenen Datenquellen werden dargelegt. Diese methodische Grundlage ermöglicht die Analyse von physischen Risiken und Transitionsrisiken für Immobiliendarlehen.

Im Rahmen dieses Kapitels wird die Methodik zur Generierung eines repräsentativen Musterportfolios erläutert, das als Grundlage für die Prognose klimabedingter Schäden dient. Trotz des umfangreichen Datenbestands der Finanzinstitute über ihre Kreditengagements hat die limitierte Zugänglichkeit zu detaillierten Datensätzen bisher umfassende empirische Analysen der Kreditrisiken eingeschränkt. Zur Überwindung dieser Limitation wird ein Musterportfolio konstruiert, das eine fundierte Approximation der erwarteten Verluste aus Wohnimmobilienkrediten ermöglicht. Die Quantifizierung essenzieller Risikoparameter basiert primär auf dem Geschäftsbericht der Münchener Hypothekenbank (Münchener Hypothekenbank eG, 2023), ergänzt durch ausdifferenzierte Datensätze zur Distribution von Energieeffizienzklassen und regionalen Verteilung von Wohneinheiten. Diese Datenaggregation bildet die Basis für eine detaillierte Analyse der Anfälligkeit verschiedener Immobilienarten und Standorte gegenüber umweltbedingten Wertänderungen, physischen Risiken sowie Transitionsrisiken.

### 3.1 Hypothekendaten

In diesem Abschnitt wird der von der Münchener Hypothekenbank bereitgestellte Geschäftsbericht analysiert. Für die Prognose von Schäden an bestimmten Gebäuden wird ein Portfolio benötigt, das ein repräsentatives Bankportfolio darstellt. Da die vertraulichen Wohnimmobilien-Hypothekenportfolios von Banken nicht offengelegt werden, ist die Konstruktion eines annähernd realistischen Portfolios erforderlich. Es wird untersucht, welche Faktoren bei der Bestimmung von Größe und Zusammensetzung eines Wohnimmobilien-Hypothekenportfolios berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird dargelegt, wie Daten zu Kreditmerkmalen, insbesondere Beleihungsquoten, in das Portfolio integriert werden.

Zum Stichtag 31.12.2023 belief sich der ausstehende Bestand an Wohnimmobilienfinanzierungen im Portfolio der Münchener Hypothekenbank eG (2023) in Bayern auf 8.921.489.311,00 €, wobei die durchschnittliche Größe der Darlehen für Wohnimmobilien circa 163.700,00 €

betrug. Zur Ermittlung der Anzahl der Darlehen im Portfolio wird zunächst der Gesamtbestand durch die durchschnittliche Größe der Darlehen dividiert, was gerundet 54.500 Darlehen ergibt. Unter Anwendung der Gleichung 1 zur Berechnung der erforderlichen Stichprobengröße für das theoretische Szenario einer unendlichen Anzahl von Immobilien im Portfolio ergibt sich bei einem Konfidenzintervall von 99% und einer Fehlermarge von 2% ein notwendiger Stichprobenumfang von 4.147 Datenpunkten. Die in Gleichung 2 präsentierte Formulierung für endliche Populationen führt jedoch zu einer Reduktion auf 3.853 Darlehen als erforderliche Stichprobengröße für Portfolios mit 54.500 Elementen.

Neben der Anzahl der Darlehen ist auch deren Qualität, insbesondere der Beleihungsauslauf, von entscheidender Bedeutung für die Repräsentativität des Portfolios. Da die in den Geschäftsberichten ausgewiesenen Kreditbestände lediglich das Risikoexposure des Kreditinstituts reflektieren und nicht den realen Immobilienwert repräsentieren, ergibt sich die Notwendigkeit, den Property Value in Relation zum Gesamtrisikoexposure zu evaluieren. Die Münchener Hypothekenbank hat in ihrem Jahresbericht die Verteilung des Beleihungsauslaufs in tabellarischer Form offengelegt (siehe Tabelle 2). Darüber hinaus wurde ein durchschnittlicher Beleihungsauslauf von 54,1% für die Wohnimmobilienfinanzierung angegeben. Diese Informationen stellen die fundamentalen finanziellen Parameter dar, die für die Konstruktion eines repräsentativen Immobilienportfolios essenziell sind.

Tabelle 2: Verteilung des Beleihungsauslaufs im Wohnimmobilienportfolio der Münchener Hypothekenbank zum 31.12.2023

LtV	$\leq 60\%$	60–70%	70–80%	80–90%	90–100%	$> 100\%$
Prozentanteil	39,2%	15,0%	16,4%	10,2%	8,2%	11,0%

## 3.2 Geodaten zu Hypotheken und Hochwasser

### 3.2.1 Hypothekengeodaten

Für die Kompatibilität von Hypotheken- und Hochwasserdaten sind geografische Koordinaten erforderlich. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Generierung präziser Koordinaten für die Datenpunkte.

Eine zufällige Verteilung in Bayern würde die Struktur eines Kreditportfolios nicht korrekt abbilden, da eine ungleichmäßige Verteilung von Immobilien sowohl in Deutschland

als auch in Bayern zu beobachten ist. Zurek (2022) analysierte die Beziehung zwischen Bevölkerungsdichte und Kreditvergabe in Deutschland. Die Studie zeigt, dass Regionen mit stärkerem Wirtschaftswachstum höhere Immobilienpreise aufweisen. Dies führt zu einer erhöhten Kreditnachfrage. Auf Basis dieser empirischen Erkenntnisse wird die Bevölkerungsdichte als Grundlage für die Zuweisung spezifischer Koordinaten zu jedem Datenpunkt herangezogen.

Die verwendete Datenquelle stammt von [www.suche-postleitzahl.org](http://www.suche-postleitzahl.org) (2023). Sie kombiniert OpenStreetMap-Daten mit Einwohnerzahlen von Statistisches Bundesamt (2023). Dies ermöglicht eine präzise Segmentierung in Postleitzahlzonen. Tabelle 3 zeigt die Daten dieser geographischen Strukturierung.

Tabelle 3: Beschreibung der Geodaten in verschiedenen Postleitzahlgebieten in Bayern

plz	einwohner	qkm	geometry	ort	landkreis	bundesland
81248	121	1984763	POLYGON((...))	München		Bayern
96103	8519	14585957	POLYGON((...))	Hallstadt	Landkreis Bamberg	Bayern
63930	1552	16628516	POLYGON((...))	Neunkirchen	Landkreis Miltenberg	Bayern
94530	2071	2414777	POLYGON((...))	Auerbach	Landkreis Deggendorf	Bayern
85051	31592	3878506	POLYGON((...))	Ingolstadt		Bayern
63916	4002	51878059	POLYGON((...))	Amorbach	Landkreis Miltenberg	Bayern
...	...	...	...	...	...	...
83024	16249	9466746	POLYGON((...))	Rosenheim		Bayern

Tabelle 3 wurde aus Shapefile-Daten der Postleitzahlenregionen generiert und umfasst die Bevölkerungsverteilung. Vier Spalten sind von besonderer Relevanz: Ort, Landkreis, Geometrie und Einwohner. Die Geometriespalte enthält die geografischen Koordinaten der Gemeinden, dargestellt als Polygon oder Multipolygon. Ein Multipolygon setzt sich aus mehreren Einzelpolygonen verschiedener Formen zusammen. Zur räumlichen Referenzierung dient das Koordinatensystem EPSG:3035. Abbildung 2 visualisiert die aus diesen Daten abgeleitete Bevölkerungsdichteverteilung Bayerns nach Postleitzahlenbereichen.

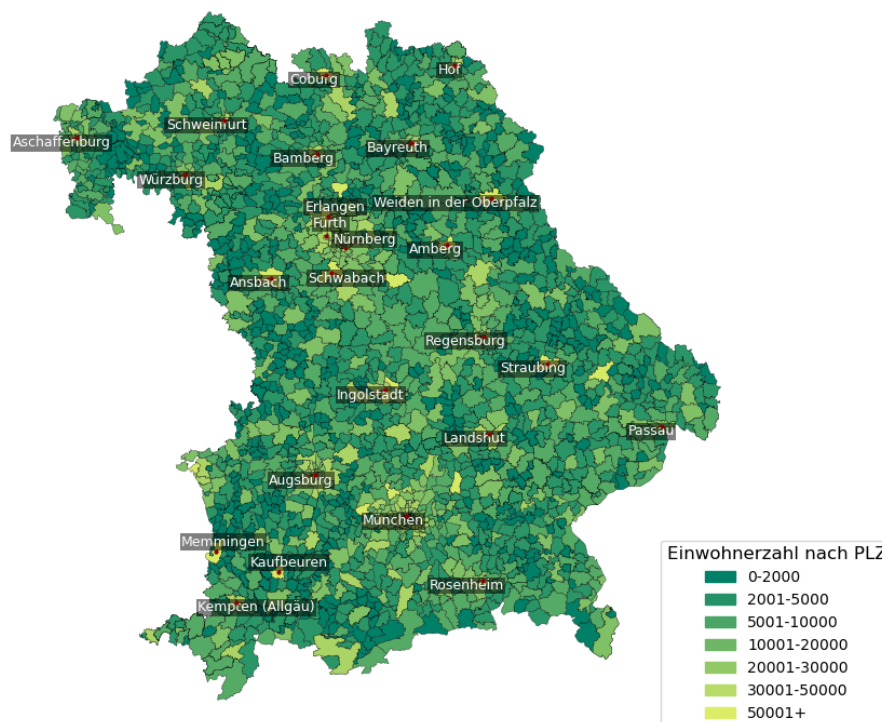


Abbildung 2: Verteilung der Bevölkerungsdichte Bayerns nach Postleitzahlenbereichen

Zur repräsentativen Verteilung der 3853 Datenpunkte, entsprechend der Anzahl der Hypothekarkredite, wird ein proportionaler Ansatz implementiert, der auf der Einwohnerzahl jeder Region basiert. Innerhalb der Postleitzahlgebiete erfolgt die Platzierung mittels eines kontrollierten stochastischen Verfahrens. Für jede Region wird eine zuvor determinierte Anzahl von Zufallspunkten innerhalb der definierten Gebietsgrenzen generiert. Jedem Punkt werden spezifische Koordinaten in Form von Latitude (Breitengrad) und Longitude (Längengrad) zugewiesen. Anschließend wird eine Verifikation der Lage innerhalb des jeweiligen Polygons durchgeführt. Bei erfolgreicher Validierung wird der Punkt mit seinen Latitude- und Longitude-Koordinaten in die Liste der akzeptierten Datenpunkte integriert. Die resultierenden Daten werden in Tabelle 4 dargestellt. Abbildung 3 zeigt die resultierende Distribution der Datenpunkte auf der Karte Bayerns.

Tabelle 4: Beschreibung der Geodaten in verschiedenen Postleitzahlgebieten in Bayern

plz	ort	landkreis	latitude	longitude
637390	Aschaffenburg		49.9725	9.1401
979040	Dorfprozelten	Landkreis Miltenberg	4.9711	9.3921
815470	München		48.1047	11.5764
850980	Großmehring	Landkreis Eichstätt	48.7748	11.5158
820640	Oberhaching	Landkreis München	47.9859	11.4903
863430	Königsbrunn	Landkreis Augsburg	48.2435	10.8994
972470	Eisenheim	Landkreis Würzburg	49.8850	10.1471
...	...	...	...	...
852380	Petershausen	Landkreis Dachau	48.4000	11.5212

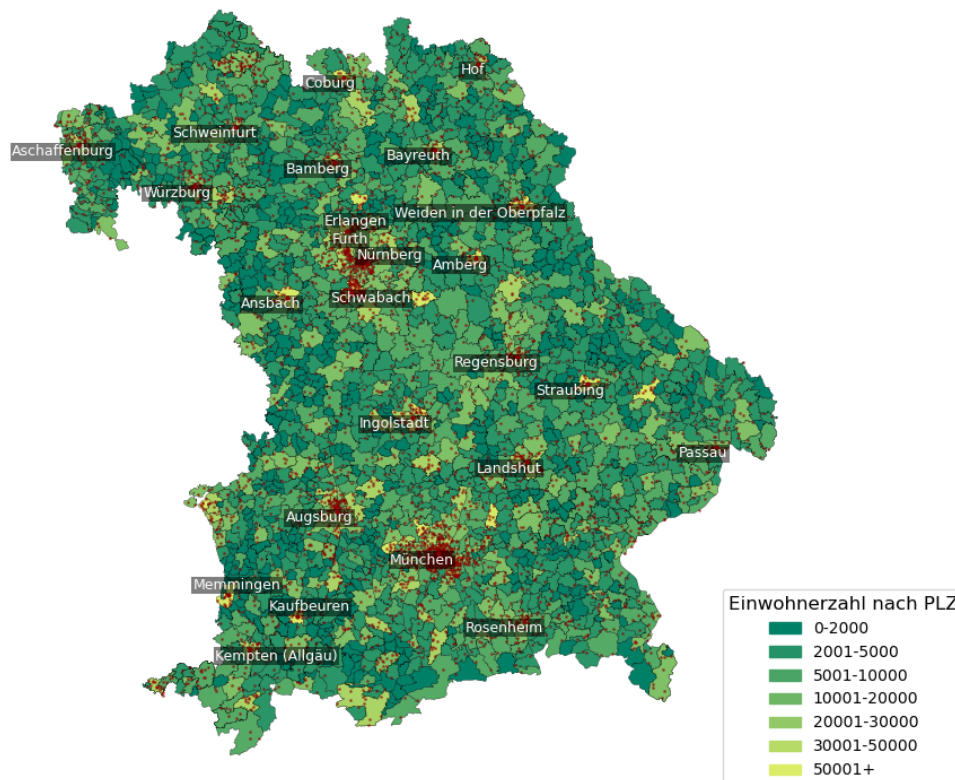


Abbildung 3: Datenpunktverteilung im Hypothekenportfolio Bayern

### 3.2.2 Hochwassergeodaten

Nach der Erfassung der geographischen Koordinaten der Hypothekendarlehen ist es erforderlich, die Lage der entsprechenden Immobilien in Bezug auf Hochwasserrisikogebiete zu ermitteln. Infolgedessen erläutert dieser Abschnitt die Methodologie zur Erstellung einer detaillierten Hochwasserrisikokarte für Bayern. Diese basiert auf EU-Stresstest-Szenarien sowie regionalen Daten und beschreibt die Integration diverser Datenquellen zur präzisen Risikoanalyse.

Im Rahmen eines EU-weiten Stresstests stellt die Europäische Zentralbank (EZB) den Banken zur Simulation eines schweren Überschwemmungsszenarios eine Hochwasserrisikokarte (Abbildung 4) zur Verfügung.

Diese Karte basierend auf Informationen der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission und ergänzt durch Daten von Four Twenty Seven kategorisiert Regionen nach Risikoklassen (European Central Bank, 2022). Da jedoch die zugrundeliegenden Daten



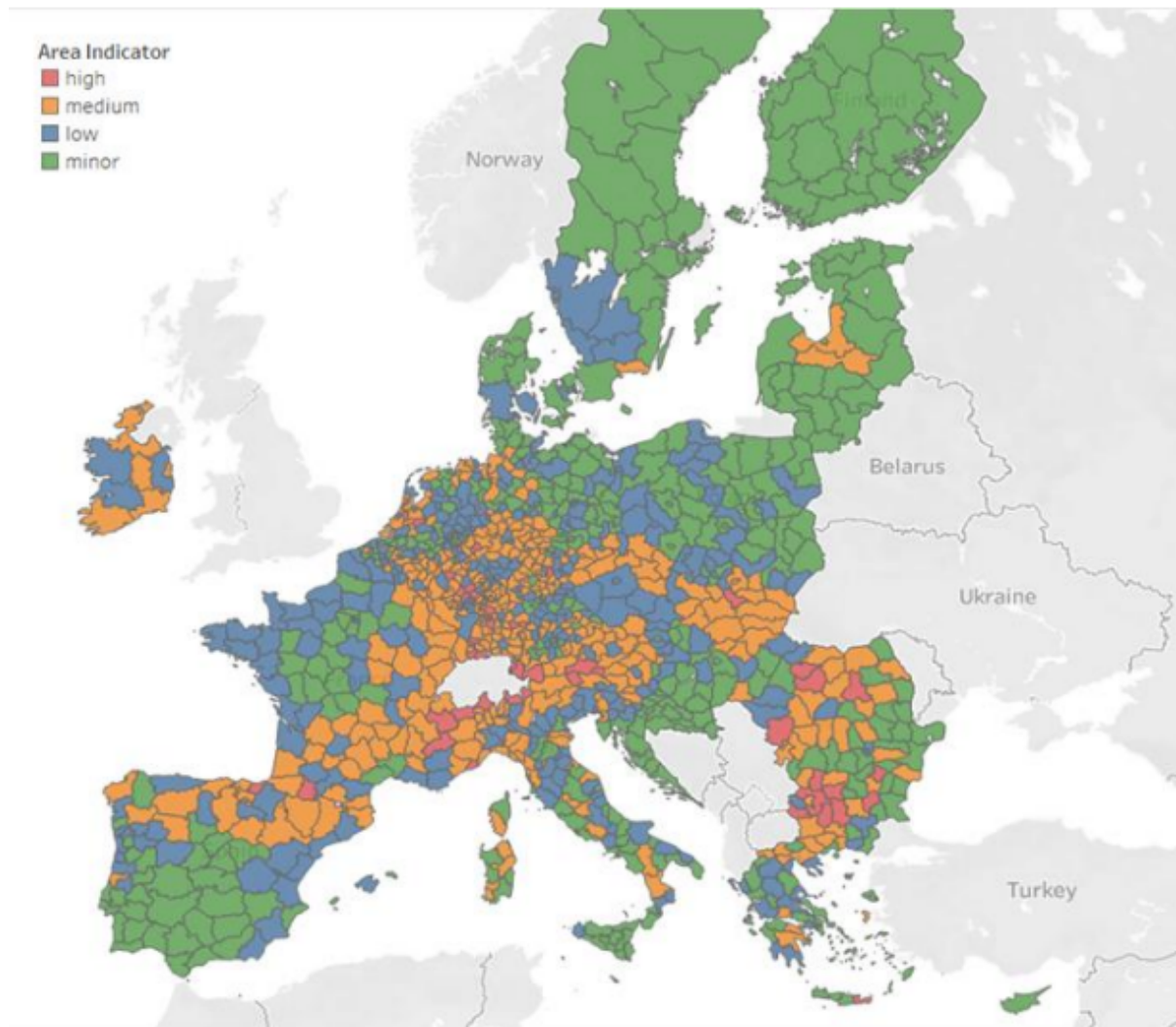


Abbildung 4: EU-Hochwasserrisikokarte. Quelle: EZB 2022 Klimarisiko-Stresstest

von der EZB nicht veröffentlicht wurden und die visuelle Repräsentation keine präzise Identifikation spezifischer Regionen ermöglicht, erweist sich für Bayern die Notwendigkeit einer differenzierteren Analyse als evident. Hierfür werden Daten des European Climate Risk Typology (Carter u. a., 2018) herangezogen, dessen Datenerhebungsprozess in Abbildung 5 veranschaulicht wird. Ergänzend dazu erstellt das Bayerische Landesamt für Umwelt im

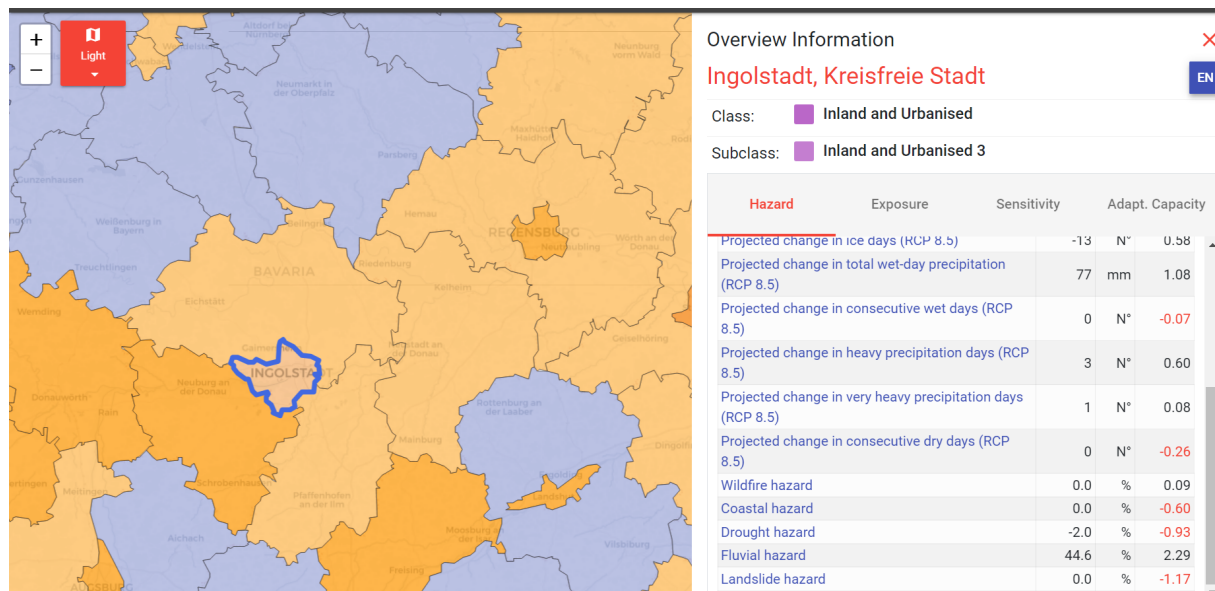


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung klimatischer Daten aus dem EU-Klimarisiko-Modell für Ingolstadt. Quelle: European Climate Risk Typology, <https://european-crt.org/map.html>

Rahmen des Hochwasserrisikomanagements spezifische Karten für die Flussgebiete von Donau, Rhein und Elbe. Diese Karten bieten detaillierte Informationen zur Hochwassergefährdung, betroffenen Nutzungen und historischen Ereignissen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2017). Die ursprünglich im ETRS89-Koordinatensystem vorliegenden Daten werden für die Analyse in das EPSG:3035-System konvertiert. Diese Transformation ermöglicht eine präzise Integration und Darstellung aller Datensätze auf einer einheitlichen Karte Bayerns. Eine abschließende Abbildung 6 präsentiert einen umfassenden Überblick über die potenziell von Hochwasser betroffenen Gebiete in Bayern, wodurch die räumliche Verteilung des Risikos verdeutlicht wird.

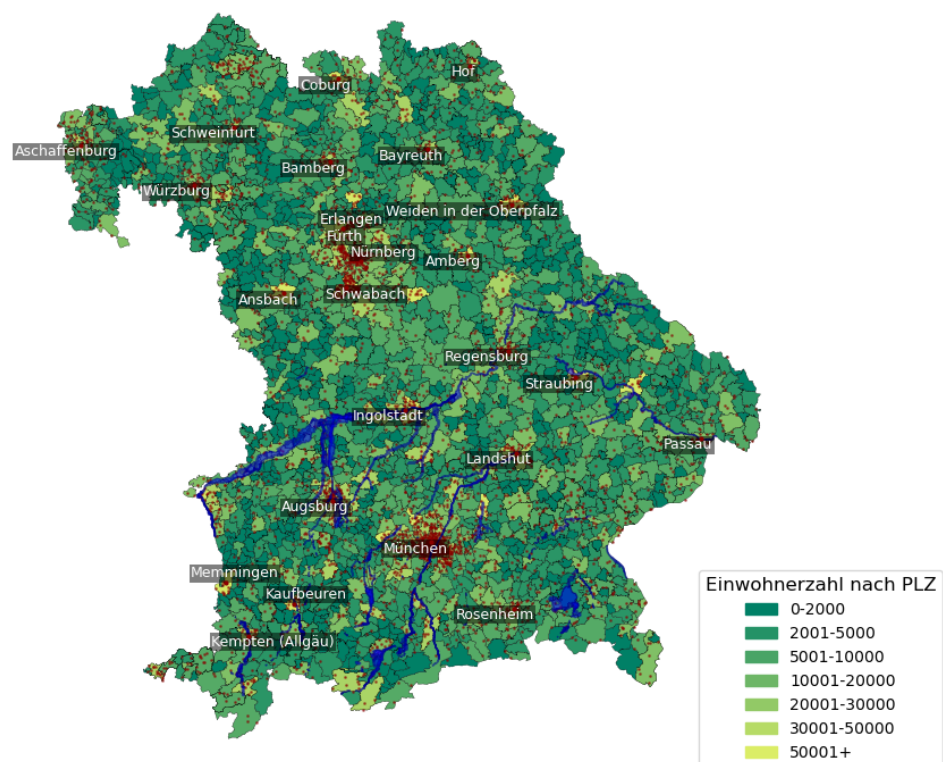


Abbildung 6: Kartografische Visualisierung der potenziellen Hochwassergefahrenzonen in Bayern

## Literatur

- Cochran, William G (1953). *Sampling Techniques*. 1st. New York: John Wiley & Sons, S. 50–51.
- Münchener Hypothekenbank eG (2023). *MünchenerHyp Geschäftsbericht 2023*. Techn. Ber.
- Zurek, Maximilian (2022). „Real estate markets and lending: does local growth fuel risk?“ In: *Journal of Financial Services Research* 62.1, S. 27–59.
- www.suche-postleitzahl.org (2023). *Suche Postleitzahl - Deutsche Postleitzahlenkarte und Gemeinden*. URL: <https://www.suche-postleitzahl.org>.
- Statistisches Bundesamt (2023). *Bevölkerung und Demografie - Bevölkerungsstand*. URL: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html) (besucht am 27.08.2024).
- European Central Bank (Juli 2022). *2022 Climate Risk Stress Test*. Report. Published on July 8, 2022. European Central Bank. URL: [https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/%20ssm.climate\\_stress\\_test\\_report.20220708~2e3cc0999f.en.pdf](https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/%20ssm.climate_stress_test_report.20220708~2e3cc0999f.en.pdf).
- Carter, J.G. u. a. (2018). *European Climate Risk Typology*. Online. Available at: <http://european-crt.org/index.html>.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2017). *Historische Hochwasserereignisse*. Bayerisches Landesamt für Umwelt. URL: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/pretty\\_downloaddienst.htm?dld=historische\\_ereignisse.xml](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/pretty_downloaddienst.htm?dld=historische_ereignisse.xml).

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe.

München, den 28. August 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'Z' followed by a horizontal line and a small upward stroke.