

# **Ermittlung von Hochwasserschäden unter Berücksichtigung der Bauwerksverletzbarkeit**

## **Erweitertes EDAC-Hochwasserschadensmodell**

Holger Maiwald

Jochen Schwarz

**Bauhaus-Universität  
Weimar**



**EDAC**

Earthquake Damage Analysis Center  
Bauhaus-Universität Weimar

**Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden  
Earthquake Damage Analysis Center (EDAC)  
am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bauhaus-Universität Weimar**

## **2. erweiterte und überarbeitete Ausgabe**

### **Impressum:**

scientific technical reports 1, 2022

### **Herausgeber:**

© Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (Erdbebenzentrum) am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau ([www.edac.biz](http://www.edac.biz))

### **Besuchen Sie uns im Internet:**

[www.asw-verlage.de](http://www.asw-verlage.de)

© Bauhaus-Universitätsverlag als Imprint von arts + science weimar GmbH, Ilmtal-Weinstraße 2023

**Druck:** Beltz Bad Langensalza GmbH

**ISBN:** 978-3-95773-305-4

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind über <http://d-nb.de> abrufbar.

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort zur Neuauflage und Aktualisierung des Schadensmodells.....	7
2	Schema zur Schadensabschätzung von Hochwasserereignissen unter Berücksichtigung der Bauwerksverletzbarkeit .....	10
2.1	Felddatenbasierte Vorgehensweise .....	10
2.2	Aufwandsreduzierte Methode unter Verwendung von Geodaten .....	12
2.2.1	Mesoskalige Vorgehensweise.....	12
2.2.2	Mikroskalige Vorgehensweise.....	13
3	Datenbasis.....	14
3.1	Bauwerksaufnahmen .....	14
3.1.1	Untersuchungsgebiete.....	14
3.1.2	EQUIP-Bauwerkserhebungstool.....	15
3.2	Überflutungsmodelle.....	17
3.3	Schadensdaten .....	20
3.3.1	Datensatz 1.....	20
3.3.2	Datensatz 2.....	20
3.3.3	Datensatz 3.....	21
3.3.4	Datensatz 4.....	22
3.3.5	Datensatz 5.....	23
3.4	EDAC-Hochwasserschadensdatenbank .....	25
3.4.1	Allgemeines .....	25
3.4.2	Struktur .....	25
3.4.3	Generalisierung für die Anwendung.....	29
4	Klassifikation von Hochwasserschäden .....	30
4.1	Einteilung von Hochwasserschäden.....	30
4.1.1	Direkte und indirekte Schäden.....	30
4.1.2	Einteilung nach ingenieurmäßigen Kriterien .....	31
4.2	Charakteristische Schadensbilder.....	32
4.3	Definition von Schadensgraden.....	33
4.4	Anwendungsbeispiele.....	35
5	Berücksichtigte Parameter.....	38
5.1	Einwirkungsparameter .....	38
5.1.1	Überflutungshöhe.....	38
5.1.2	Fließgeschwindigkeit.....	38
5.2	Verletzbarkeitsbestimmende Parameter .....	40
5.2.1	Ausführung der Tragstruktur .....	40
5.2.2	Bauwerksalter .....	41
5.2.3	Etagenzahlen.....	41
5.2.4	Zustand des Bauwerks .....	41
6	Bewertungssystem für Bauwerke .....	42
6.1	Verletzbarkeitsklassen.....	42
6.2	Wertermittlung .....	46
6.2.1	Einheitswert 1914 .....	46
6.2.2	Normalherstellungskosten .....	46
6.3	Modulare Typisierung des Bauwerksbestandes (Bauwerksschlüssel) .....	48

7	Zusammensetzung des Bauwerksbestandes.....	49
7.1	Vor-Ort Bauwerkserhebungen .....	49
7.2	Amtliche, freie und kommerzielle Geodaten.....	50
7.2.1	Mesoskalige Ebene .....	50
7.2.2	Mikroskalige Ebene.....	52
7.2.2.1	Eignung der Geodaten.....	52
7.2.2.2	Zuweisung der Bauwerksnutzung.....	54
7.2.3	Zuweisung der Hochwasserverletzbarkeitsklassen und fehlender Geometrieparameter ..	55
8	Prognose struktureller Schäden .....	59
8.1	Grundlegende Eigenschaften von Verletzbarkeitsfunktionen.....	59
8.2	Berücksichtigung der Überflutungshöhe - SVF Typ 1.....	60
8.2.1	Verletzbarkeitsfunktionen für Bauweisen - SVF Typ 1a.....	60
8.2.2	Verletzbarkeitsfunktionen für Verletzbarkeitsklassen - SVF Typ 1b.....	61
8.3	Berücksichtigung von Überflutungshöhe und Fließgeschwindigkeit - SVF Typ 2.....	63
8.3.1	Verletzbarkeitsfunktionen für den Gesamtbestand - SVF Typ 2* .....	63
8.3.2	Verletzbarkeitsfunktionen für Bauweisen SVF Typ 2a.....	63
8.3.3	Verletzbarkeitsfunktionen für Verletzbarkeitsklassen SVF Typ 2b .....	63
8.4	Neue Modelle zur Berücksichtigung von Überflutungshöhe und Fließgeschwindigkeit.....	65
8.4.1	Verletzbarkeitsfunktionen zur Berücksichtigung von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit – SVF Typ 3b.....	65
8.4.2	Verletzbarkeitsfunktionen zur Berücksichtigung von Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und Etagenanzahl – SVF Typ 4b.....	66
8.5	Berücksichtigung der Streuung .....	69
9	Verlustermittlung.....	72
9.1	Verlustermittlung unter Verwendung von detailliert erhobenen Bauwerksdaten .....	72
9.1.1	Schadensfunktionen in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe - SDF Typ 1 .....	72
9.1.1.1	Empfehlung für die Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 1.....	72
9.1.1.2	Schadensfunktionen für Bauweisen SDF Typ 1a .....	75
9.1.1.3	Schadensfunktionen für Verletzbarkeitsklassen SDF Typ 1b.....	77
9.1.2	Verlustermittlung in Abhängigkeit vom Schadensgrad $D_i$ - SDF Typ 2 .....	79
9.1.2.1	Empfehlung für die Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 2.....	79
9.1.2.2	Schadensfunktionen für Schadensgrade SDF Typ 2.....	81
9.1.3	Verlustermittlung mit synthetischen Schadensfunktionen.....	83
9.2	Aufwandsreduzierte Verlustermittlung in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe .....	83
9.2.1	Mesoskalige Vorgehensweise.....	83
9.2.1.1	Empfehlung für die Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 3b.....	83
9.2.1.2	Schadensfunktionen für die NEXIGA Gebäudetypologie - SDF Typ 3b .....	84
9.2.2	Mikroskalige Vorgehensweise.....	87
9.2.2.1	Empfehlung für die Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 4b.....	87
9.2.2.2	Schadensfunktionen für die NEXIGA Gebäudetypologie - SDF Typ 4b .....	89
10	Validierung und Anwendungsbeispiele.....	92
10.1	Prognose der strukturellen Schädigung .....	92
10.1.1	Auswertung der Ergebnisse mit Verletzbarkeitsfunktionen SVF Typ 1 und 2.....	92
10.1.2	Auswertung der Ergebnisse mit Verletzbarkeitsfunktionen SVF Typ 3b und 4b.....	95
10.2	Prognose der finanziellen Verluste.....	98
10.2.1	Verlustermittlung mit Schadensfunktionen SDF Typ 1 und 2.....	98
10.2.2	Simulative Verlustermittlung.....	104
10.2.3	Aufwandsreduzierte Verlustermittlung mit Schadensfunktionen SDF Typ 4b .....	106

---

10.3 Berechnungsbeispiele.....	107
10.3.1 Felddatenbasierte Verlustermittlung.....	107
10.3.2 Geodatenbasierte Verlustermittlung .....	113
11 Zusammenfassung und Ausblick.....	117
Danksagung.....	119
Literatur.....	120
Fotonachweis.....	129
Verwendete Software .....	129
Nachweis verwendeter Geodaten .....	129
Anlage A: Schadensdokumentation und Zuordnung der Schadensgrade.....	130
Anlage A1: Hochwasser 2002 an der Vereinigten Mulde.....	131
Anlage A2: Sturzflut von Braunsbach 2016.....	146
Anlage A3: Hochwasser 2021 in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen .....	150
Anlage B: Bauwerksklassifikation.....	160



## 1 Vorwort zur Neuauflage und Aktualisierung des Schadensmodells

Die Hochwasserereignisse der Jahre 2002, 2013 und 2021 verdeutlichen, dass auch Extremereignisse mit sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten zeitnah möglich sind und verheerende Schäden nach sich ziehen können. Insbesondere bei den Ereignissen von 2002 und 2021 zeigte sich, dass neben reinen Durchfeuchtungsschäden auch schwere strukturelle Schäden an der Bauwerkssubstanz auftreten können.

Die Schadensauswertungen zum Hochwasser 2002 weisen die größten anteiligen Schadenssummen bei der Wohnbebauung und im gewerblichen Bereich aus (Abbildung 1).

Folgende Feststellungen sind zu treffen:

- Im Vergleich zu anderen Bereichen der Hydrologie und Wasserwirtschaft gab es bis zum Hochwasserereignis 2002 nur wenige Schadensdaten und anwendbare Modelle, mit denen Hochwasserschäden zuverlässig prognostiziert werden können [48].
- Die nach dem Hochwasserereignis vom August 2002 eingeleitete Planung und Umsetzung zahlreicher Hochwasserschutzmaßnahmen und die damit verbundenen Nutzen-Kosten-Untersuchungen, machten den Bedarf an genaueren Schadensfunktionen für die einzelnen Nutzungssektoren deutlich.
- Aus empirisch-statistischen Datenanalysen konnten aus der Zeit vor dem Hochwasser 2002 keine befriedigenden Schadensbeziehungen zur Verfügung gestellt werden, so dass eine Entwicklung der letzten Jahre in der Ableitung von synthetischen Schadensfunktionen besteht. Dabei werden die Schäden für charakteristische Gebäude (sogenannte Repräsentanten) eines Bauwerkstyps nach dem Prinzip von „Was-Wäre-Wenn“-Erhebungen ermittelt [14], [17]. Als Beispiel wird auf die Pilotstudie für die Erstellung des Hochwasserschutzkonzeptes für die Stadt Pirna verwiesen [55].

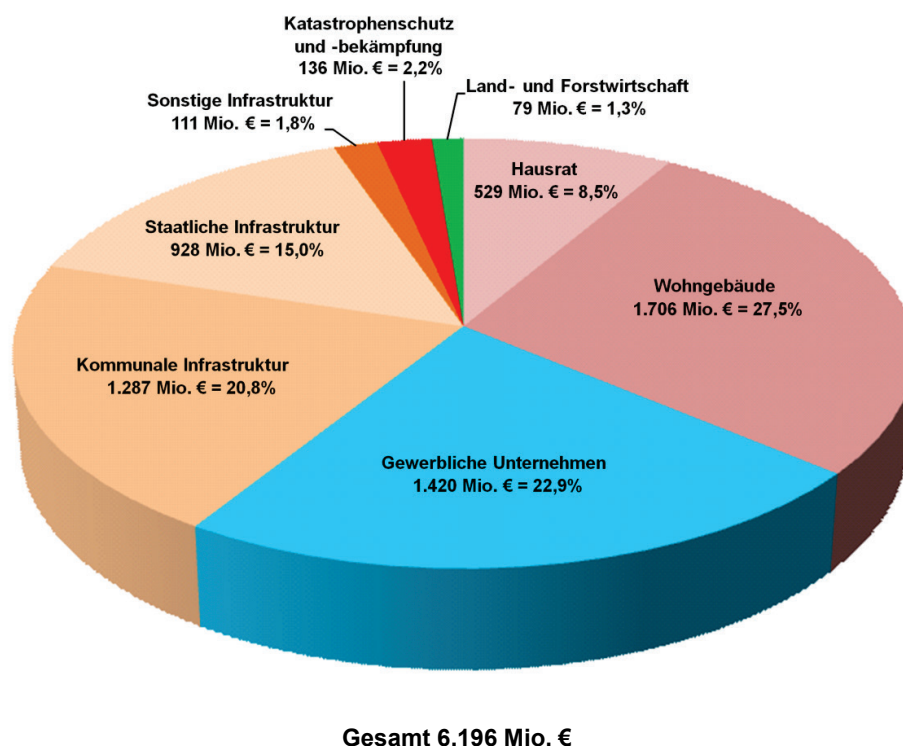


Abbildung 1: Verteilung der Schäden in Sachsen nach dem Hochwasser 2002 [51]

- Nach dem Hochwasser 2002 standen neue, umfangreiche Datenmengen zur Verfügung, aus denen verbesserte empirisch-statistische Schadensmodelle abgeleitet werden konnten.
- Herkömmliche Schadensmodelle berücksichtigen in der Regel nur den Zusammenhang zwischen Überflutungshöhe und den versicherungsseitig nachvollziehbaren Kosten für eine bestimmte Nutzungsklasse (wie z.B. private Wohngebäude). Es fehlt einerseits die notwendige Differenzierung nach den für die Widerstandseite relevanten Merkmalen (vgl. Tabelle 8), andererseits bleiben weitere Einwirkungsgrößen wie die Fließgeschwindigkeit unberücksichtigt.
- Ausgehend von den Erfahrungen im Erdbebenbereich wurde am Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden der Bauhaus-Universität Weimar (EDAC) in verschiedenen Forschungsprojekten [70], [75], [76], [79] ein verletzbarkeitsorientiertes ingenieurmäßiges Schadensmodell für Hochwasserschäden an der Wohnbebauung (bzw. vergleichbarer Konstruktionen) entwickelt, mit dem auch die strukturelle Schädigung eines Bauwerks bzw. eines komplexen Bauwerksbestandes in konkreten Hochwasserszenarien berücksichtigt werden kann.
- Im Ergebnis können verschiedene Typen von Verletzbarkeitsfunktionen (Abschnitt 8) bereitgestellt werden, die den Zusammenhang zwischen Überflutungshöhe, Fließgeschwindigkeit und den Schadensgraden  $D_i$  in Abhängigkeit von der konkreten Bauwerksverletzbarkeit beschreiben [32], [33], [71], [76].
- Mit Hilfe der entwickelten verletzbarkeitsorientierten Schadensfunktionen (Abschnitt 9) kann die Realitätsnähe der Verlustaussagen nachgewiesen werden [33], [44], [71], [75].
- Mit dem gewählten Ansatz können für vorgegebene Szenarien Schäden prognostiziert und Gebiete mit besonders verletzbarer Bauwerksstruktur identifiziert und Empfehlungen für die künftige Bebauung abgeleitet werden. Zudem werden neben den Verlustaussagen mit den zu erwartenden Schadensgraden Informationen bereitgestellt, welche für die Katastrophenbeseitigungsmaßnahmen relevant sind.

Die Teile des Vorgehens, welche die hydrologischen und hydraulischen Aspekte betrachten, werden als gegeben vorausgesetzt. Es sollen nicht nur die Verluste unter Berücksichtigung der Verletzbarkeit des Bauwerksbestandes berechnet, sondern auch qualitative Aussagen über strukturelle Schäden in Form von Schadensgraden getroffen werden (Abschnitt 8), die für die Hilfsmaßnahmen im Katastrophenfall von Bedeutung sein können (s. z.B. [25], [26]).

Der methodische Ablauf des entwickelten Vorgehens wurde erstmals in [69] veröffentlicht und in der ersten Ausgabe dieses Reports [35] zusammengefasst dargestellt. Durch die Auswertung deutlich umfangreichere Schadensdaten (Abschnitt 3.3.3) konnten die Schadens- und Verletzbarkeitsfunktionen des EDAC-Hochwasserschadensmodells [35] weiter detailliert werden (vgl. Abschnitte 8 und 9).

In den Abschnitten 7.2 und 9.2 werden die methodische Erweiterungen zur aufwandsreduzierten Schadensprognose unter Verwendung von Geodaten dargelegt, die in der ersten Ausgabe des EDAC-Hochwasserschadensmodells [35] zunächst konzeptionell vorgestellt wurden. Diese liegen nun, wie die plausiblen Validierungen in Abschnitt 10.2.3 zeigen, in einem für die praktische Anwendung geeigneten Stand vor.



Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes „Innovative Vulnerabilitäts- und Risikobewertung urbaner Räume gegenüber Überflutungsereignissen – INNOVARU“ wurden zuletzt neue Ansätze zur Berücksichtigung von Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und einer differenzierteren Bewertung der Bauwerksverletzbarkeit abgeleitet [44], [45], [46]. Einzelne Abschnitte aus dem INNOVARU-Abschlussbericht [79] wurden in angepasster Form übernommen, um die Projektergebnisse in diese erweiterte Ausgabe des EDAC-Hochwasserschadensmodells zu implementieren.

Das EDAC-Hochwasserschadenmodell basiert (beginnend mit dem Hochwasser 2002) auf den nach verschiedenen Hochwasserereignissen der letzten Jahre durchgeführten Schadensanalysen [32], [38], [41], [47], [94]. Es verdankt sich der Möglichkeit, diese Auswertungen im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte zu verdichten und ihre Anwendungstauglichkeit in den Szenarien zur Re-Interpretation der Schadenssituation und Verluste in betroffenen Gebieten kritisch zu überprüfen. Die unikale Qualität besteht in der Prognose von Schadensgraden auf Grundlage der Bauweisen und ihrer Verletzbarkeit.

Die Arbeiten an der Herausgabe einer aktualisierten und erweiterten Fassung des EDAC-Hochwasserschadensmodells wurden unterbrochen, um sich in die Analyse der Starkregenereignisse 2021 [47] - und hier insbesondere in die Anforderungen und Optionen einer zeitnahen Lagebild-Bereitstellung [80], [95] einzubringen. Im Ergebnis darf konstatiert werden, dass mit dem Schadensgrad - aus Ingenieursicht - der entscheidungsrelevante Parameter gegeben ist, um im Katastrophenfall den Einsatzkräften eine verständliche Beschreibung und Zuordnung des Bauwerkszustands in Schadenklassen zu ermöglichen (vgl. [25], [26]).

Die im Hochwassergebiet 2021 generierten Daten werden dazu beitragen, Prognosemodelle für künftige Ereignisse bereitzustellen, die nicht nur den Wasserstand, sondern auch die zur Kennzeichnung von Sturzfluten erforderlichen Kenngrößen und Einflussparameter differenzierter berücksichtigen [47]. Demzufolge ist das vorliegende Schadensmodell nur als ein weiterer Zwischenschritt zu betrachten. Die Autoren räumen ein, dass im Hinblick auf Schädigung und Bauwerksverletzbarkeit weiterhin Ursachen, zeitliche Entwicklung von Belastungsüberhöhungen durch Schwemmgutanhäufung / Anprall von Treibgut, Fundamenterosionsprozessen sowie die irreversible Schädigung (Kontamination) durch auslaufendes Öl usw. ausgespart bleiben.

Zu berücksichtigen wäre u.a., welche Materialien aus den Hängen abgespült werden können, um entsprechende Planungshilfen nicht nur auf die betroffenen Siedlungsräume, sondern auch auf die Einzugsgebiete insgesamt auszurichten.

Da sich infolge Abriss und anderen Folgemaßnahmen wesentliche Veränderungen an der Bestandsbebauung ergeben, sollten leistungsfähige Schadensmodelle zudem einen längeren Zeithorizont antizipieren, wenn sie frühzeitig längerfristig belastbarer Planungsentscheidungen unterstützen sollen.

Zu diesen Fragestellungen liegen Grundüberlegungen (wie z.B. zu den bereits in [77] eingeführten Expositionsklassen) und erste Lösungsansätze vor. Insofern ist zu wünschen, dass den seit 20 Jahren in bemerkenswerter Kontinuität durchgeführten Arbeiten in den Richtungen der skizzierten Fortführung eine „dritte Ausgabe“ vergönnt ist.

## 2 Schema zur Schadensabschätzung von Hochwasserereignissen unter Berücksichtigung der Bauwerksverletzbarkeit

### 2.1 Felddatenbasierte Vorgehensweise

Bei mikroskaligen Vorgehensweisen wird der Bauwerksbestand auf Ebene der Einzelobjekte betrachtet. Den einzelnen Bauwerken werden Eigenschaften zugeordnet, die für die Klassifikation der Verletzbarkeit unter Hochwassereinwirkungen von Bedeutung sind, wie z.B. typisierte Bauweisen, Baustoffe, vertikale Tragstrukturen und das Bauwerksalter, welche durch Vor-Ort Bauwerksinspektionen zu erheben sind (Abschnitt 7.1). Diese Merkmale ermöglichen die Einordnung in eine für das Objekt charakteristische Verletzbarkeitsklasse (Abschnitt 6.1).

Werden die Objekte mit den Überflutungshöhen (und Fließgeschwindigkeiten) des Gefährdungsmodells überlagert, so kann für jedes Objekt in Abhängigkeit von seiner Bauweise bzw. Verletzbarkeitsklasse der Erwartungswert für einen Schadensgrad als Maß für die strukturelle Schädigung (Abschnitt 8) angegeben werden.

Für jedes Gebäude werden realistische Bauwerkswerte (Abschnitt 6.2) abgeleitet. Es wird der Wert des Bauwerksbestandes mit seiner Ausrüstung (Technische Gebäudeausrüstung - TGA) betrachtet. Bei Entwicklungsbeginn des EDAC-Hochwasserschadensmodells wurden bei mikroskaligen Studien in der Regel Einheitswerte für die Gebäudetypen angesetzt bzw. der Wert wurde nicht direkt berücksichtigt und mit absoluten Schadenswerten pro Objekt (vgl. z.B. [57]) gerechnet. Daher ist / war der Ansatz von konkreten Bauwerkswerten als Neuerung zu betrachten.

Es werden hier zwei Typen von Schadensfunktionen (*Specific Damage Functions* - *SDF*) betrachtet, um den zu erwartenden Verlust zu quantifizieren (Abschnitt 9.1).

Zu Abbildung 2:

- **SDF Typ 1a** (Abschnitt 9.1.1.2) bezieht sich auf die Bauweisen, **SDF Typ 1b** (Abschnitt 9.1.1.3) auf die Verletzbarkeitsklassen (Abschnitt 6.1). Beide Funktionstypen geben die Abhängigkeit des Verlustes von den Überflutungshöhen wieder, wobei eine weitere Differenzierung nach der Nutzung, Unterkellerung, Etagenzahl erfolgt.

Zu Abbildung 3:

- **SDF Typ 2** (Abschnitt 9.1.2) überführen den in Abhängigkeit von der konkreten Bauweise / Verletzbarkeitsklasse über sogenannte Verletzbarkeitsfunktionen (*Specific Vulnerability Functions* - *SVF*, vgl. Abschnitt 8) ermittelten strukturellen Schadensgrad  $D_i$  (Abschnitt 4.3) des Bauwerkes und der Einwirkung in den Verlust (vgl. auch [33], [69]). Eine weitere Differenzierung erfolgt nach Etagenzahl und / oder anderen Parametern.

Beide Typen der Schadensfunktionen SDF lassen eine ingenieurmäßig begründete und realistischere Ermittlung des Schadens erwarten, als dies mit herkömmlichen Schadensfunktionen ermöglicht wird.

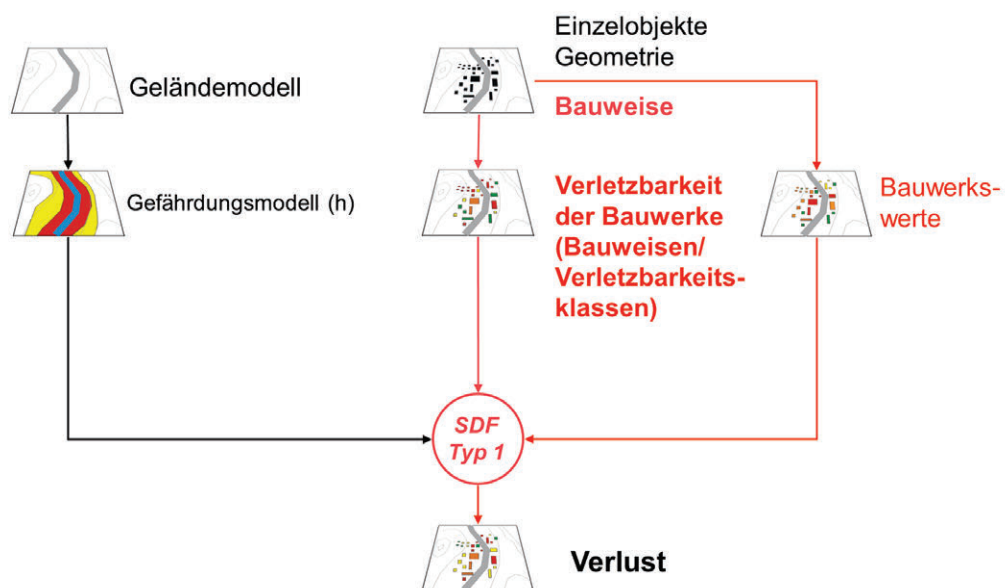


Abbildung 2: Ablaufschema der mikroskaligen Vorgehensweise unter Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 1 (a - Bauweisen, b - Verletzbarkeitsklassen)

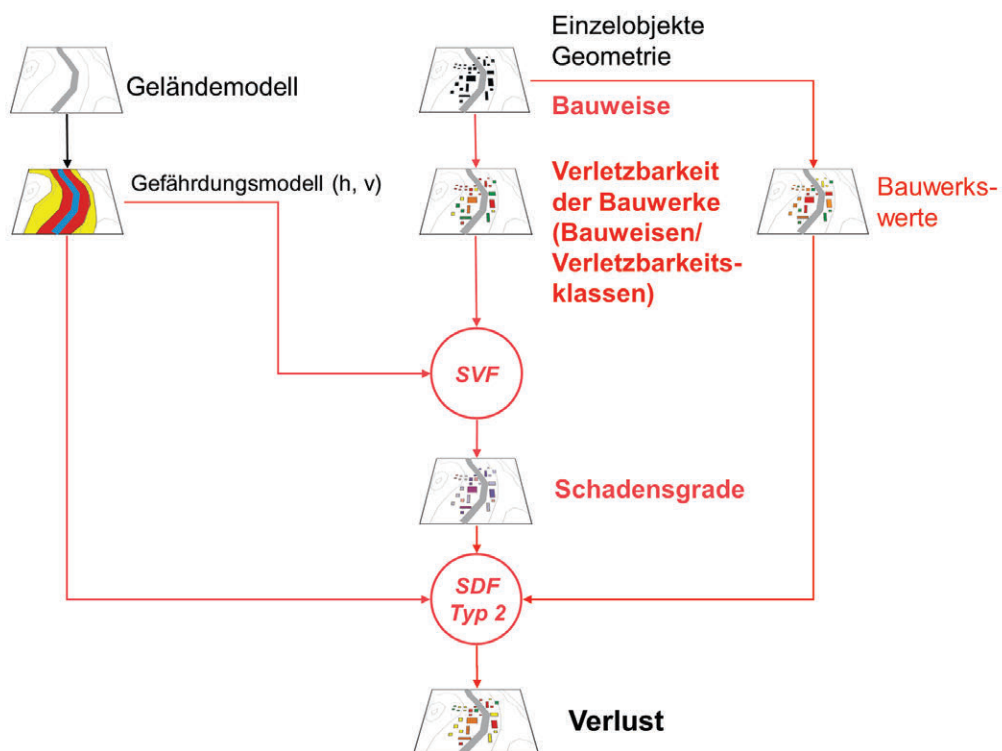


Abbildung 3: Ablaufschema der mikroskaligen Vorgehensweise unter Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 2

Erläuterung: SVF - Specific Vulnerability Function  
SDF - Specific Damage Function

## 2.2 Aufwandsreduzierte Methode unter Verwendung von Geodaten

### 2.2.1 Mesoskalige Vorgehensweise

Die Anwendung von Schadensfunktionen, welche die Verletzbarkeit des Bauwerksbestandes berücksichtigen, setzt detaillierte Bauwerksaufnahmen voraus, welche aus Kosten- und Aufwandsgründen nicht immer durchführbar sind. In diesem Fall können dann aufwandsreduzierte Berechnungsverfahren unter Verwendung von Geodaten eingesetzt werden.

Herkömmliche mesoskalige Vorgehensweisen ermitteln die Verluste mit Schadensfunktionen [28], [57] über Vermögenswerte auf Flächennutzungsbasis (ATKIS [2], CORINE Land Cover [18], ...). Informationen zur Bebauung gehen nur in einer stark aggregierten (meist sehr ungenauen) Form ein. Der schematische Berechnungsablauf des mesoskaligen EDAC-Schadensmodells, bei dem der verletzbarkeitsorientierte Ansatz aus der mikroskaligen Ebene erhalten bleibt, ist in Abbildung 4 dargestellt:

- Es wird ein Ansatz entwickelt, bei dem die Informationen aus der Flächennutzungsebene mit verfügbaren Geodaten (z.B. NEXIGA-Geodaten [56]; früher infas-Geodaten [27]) erweitert werden (Abschnitt 9.2.1). Es handelt sich entsprechend der Terminologie nach [4] um einen mesoskaligen Ansatz mit mikroskaligen Nuancen.
- Die Informationen über die Bebauung sind dabei aus verfügbaren Geodaten (z.B. [56]) bereitzustellen. Es werden Methoden vorgestellt, um sinnvolle Annahmen über die Bauwerkszusammensetzung und ihrer Verletzbarkeit zu treffen (Abschnitt 7.2). Für die einzelnen Bauwerkstypen entsprechend der Klassifikation der Geodaten werden Wiedererrichtungswerte festgelegt.
- Der Verlust wird dann mit Schadensfunktionen **SDF Typ 3b** (Abschnitt 9.2.1) bestimmt, welche sich auf die Verletzbarkeitsklassen beziehen. Die Funktionen geben den Verlust in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe für die NEXIGA-Bauwerkstypen [56] wieder.

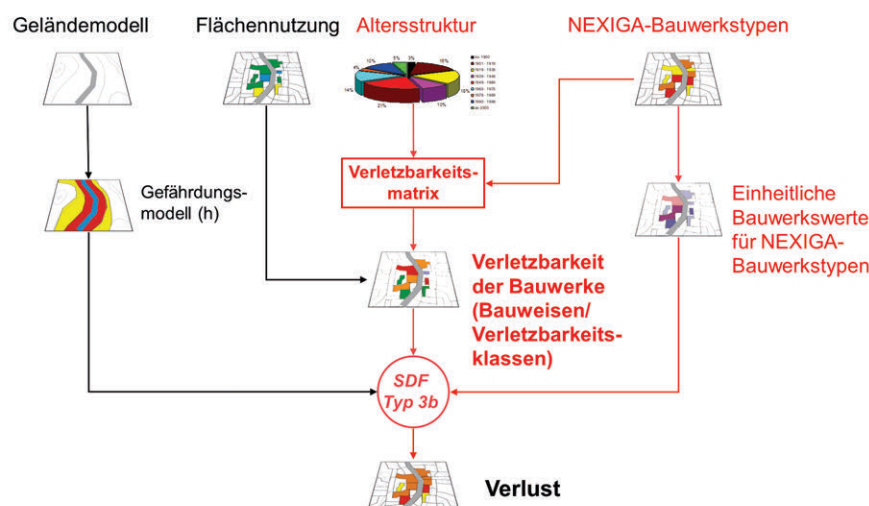


Abbildung 4: Ablaufschema der mesoskaligen Vorgehensweise unter Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 3b

Erläuterung: SDF - Specific Damage Function

## 2.2.2 Mikroskalige Vorgehensweise

In der entwickelten aufwandsreduzierten Methode werden amtliche (z.B. ALKIS® Liegenschaftskatasterdaten, Hausumringe, ...) und kommerzielle Geodaten (z.B. NEXIGA LOCAL® Haus-Daten) auf mikroskaliger Ebene genutzt.

Den einzelnen Grundrissen werden über sogenannte Verletzbarkeitsmatrizen unter Berücksichtigung der Bauwerkstypologie und der Altersstruktur entsprechend der Geodaten Wahrscheinlichkeiten / Anteile für die Verletzbarkeitsklassen zugewiesen (Abschnitt 7.2.3).

Werden die Objekte mit den Überflutungshöhen des Gefährdungsmodells überlagert, so kann für jedes Objekt in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe ein auf die Bauwerksgrundfläche bezogener Verlust angegeben werden.

Zu Abbildung 5:

- Die Schadensfunktionen **SDF Typ 4b** (Abschnitt 9.2.2) beziehen sich auf die Verletzbarkeitsklassen (Abschnitt 6.1). Sie geben die Abhängigkeit des Verlustes von den Überflutungshöhen wieder, wobei eine weitere Differenzierung nach der Nutzung, Unterkellerung, Etagenzahl erfolgt.

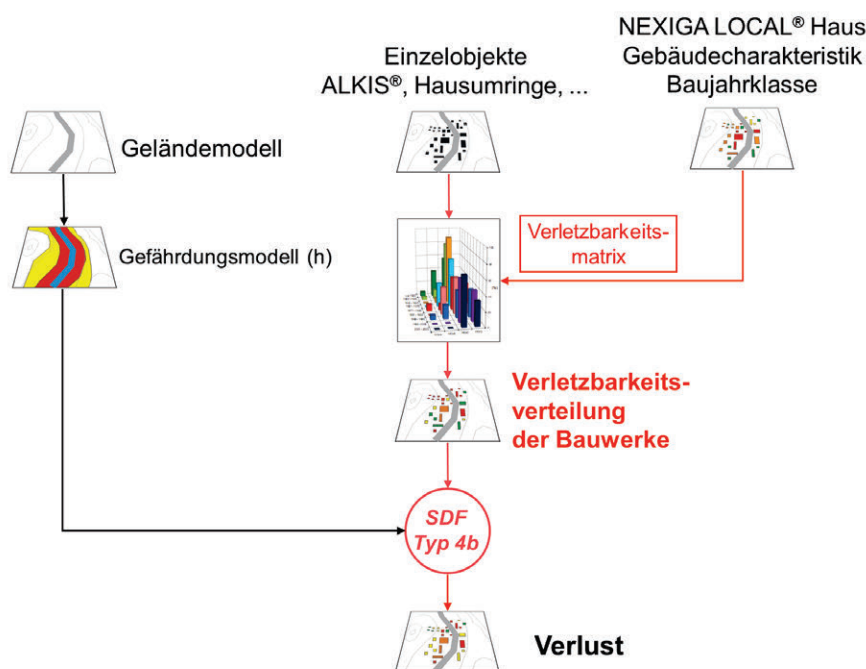


Abbildung 5: Ablaufschema der mikroskaligen Vorgehensweise unter Anwendung der Schadensfunktionen SDF Typ 4b

Erläuterung: SDF - Specific Damage Function

### 3 Datenbasis

#### 3.1 Bauwerksaufnahmen

##### 3.1.1 Untersuchungsgebiete

Es wurden zunächst vier vom Hochwasser 2002 betroffene Untersuchungsgebiete ausgewählt, welche sich in ihrer Überflutungscharakteristik unterscheiden, um die Methodik für unterschiedliche Überflutungsbedingungen zu validieren.

Die Untersuchungsgebiete Grimma und Döbeln wiesen durch ihre Tallage z.T. sehr große Überflutungshöhen (max. 4 - 5 m) und schnell fließende bis schießende Wasserbewegungen auf. In Eilenburg und Flöha waren demgegenüber weit ausgedehnte Überflutungsgebiete mit geringeren Überflutungshöhen (max. 2.5 - 3 m) und moderat strömenden Wasserbewegungen vorhanden (vgl. auch [32], [33], [39], [71]).

In den Untersuchungsgebieten (Abbildung 6) wurde vor Ort der gesamte vom Hochwasser 2002 betroffene Bauwerksbestand systematisch aufgenommen und die maßgebenden Bauwerksparemeter entsprechend Abschnitt 7.1 (Tabelle 17) wurden erfasst. Aus den noch vorhandenen Hochwassermarken ließen sich näherungsweise die Wasserspiegellagen während des Hochwassers 2002 ermitteln, so dass für jedes Einzelgebäude die entsprechende Überflutungshöhe berechnet werden konnte (vgl. auch [32], [33], [69]).

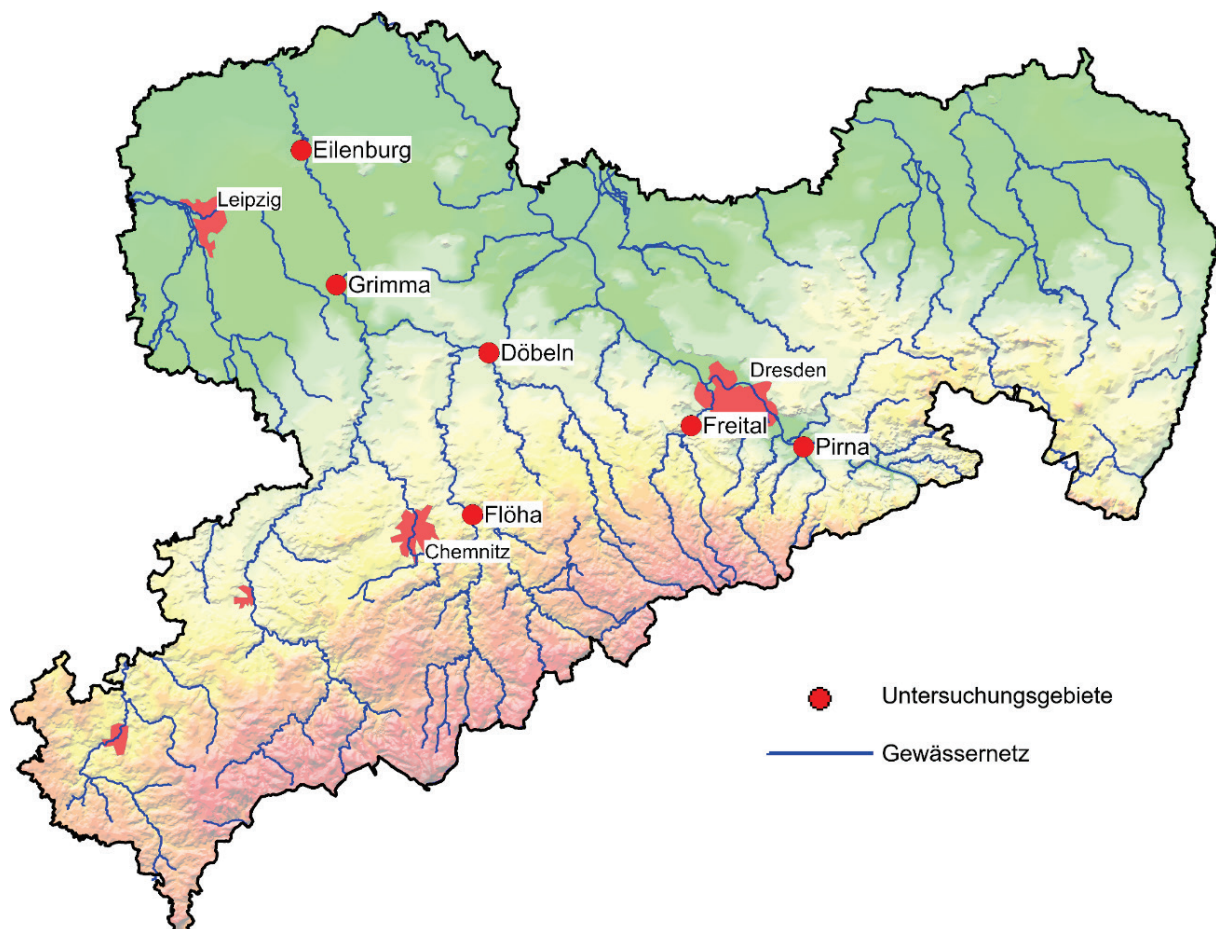


Abbildung 6: Untersuchungsgebiete in Sachsen

Tabelle 1: Übersicht über die Untersuchungsgebiete [46]

Untersuchungsgebiet	Bauwerke erhoben (betroffen) <sup>1)</sup>		Schadensfälle: SAB <sup>2)</sup> (EDAC) <sup>3)</sup>	Aufnahmejahr
	Wohngebäude	Total		
Pirna	1.209 (938)	1.405 (1.067)	1.148 (366)	2008
Grimma	773 (690)	1.280 (1.186)	616 (306)	2009, 2017
Freital	1.048 (946)	2.096 (1.842)	865 (277)	2019
Eilenburg	1.041 (1.028)	2.184 (2.149)	961 (551)	2003, 2004
Döbeln	832 (788)	1.429 (1.348)	681 (276)	2004
Flöha	734 (721)	1.872 (1.828)	582 (154)	2009

<sup>1)</sup> entsprechend der Überflutungsmodelle (siehe 3.2)

<sup>2)</sup> gemeldet gemäß [64]

<sup>3)</sup> in der EDAC-Hochwasserschadensdatenbank (siehe 3.4)

Im Rahmen INNOVARU-Projektes [79] wurden noch die Bauwerksdaten des betroffenen Bauwerksbestandes des Untersuchungsgebietes Pirna zugänglich, welcher in einem früheren Forschungsprojekt eines der Projektpartner erhoben wurde [55].

Der Gebäudebestand der Stadt Freital wurde im Rahmen einer gemeinsamen Bauwerkserhebung mit dem Projektpartner „Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden“ HTWD auf mikroskaliger Ebene dokumentiert [44], [46].

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die betrachteten Untersuchungsgebiete und nach diesen aufgeschlüsselt die Anzahl der erhobenen Gebäude und der dokumentierten Schadensfälle vom Hochwasser 2002.

### 3.1.2 EQUIP-Bauwerkserhebungstool

In Reaktion auf den rasanten Zuwachs an Geodaten und Geoinformationssystemen wurde für die Erhebung der relevanten Bauwerksparameter die datenbankgestützte Softwarelösung „Elaboration, Qualifikation and Identification Platform (EQUIP)“ entwickelt [77].

Für die Datenerhebung werden die Bauwerksgrundrisse (z.B. die Hausumringe aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS<sup>®</sup>) in das EQUIP-Bauwerkserhebungstool integriert und mit der programminternen Datenbank verknüpft (Abbildung 7).

Vordefinierte Auswahlfelder und die Option, freien Text einzutragen, ermöglichen eine überaus effiziente Dateneingabe im Feld. Die verschiedenen, einblendbaren Hintergrundkarten (Satellitenfoto, Straßenkarte bzw. hybride Darstellung) in Verbindung mit der Anzeige des eigenen Standortes (bei GPS-fähigen Tablett-PCs) erleichtern die Orientierung im Untersuchungsgebiet.

In der aktuellen Version des EQUIP-Tools wurde die vom INNOVARU-Verbundpartner HTWD (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden) eingebrachte Wohngebäudetypologie (vgl. [68]) als Auswahlmatrix integriert (Abbildung 8).

Es wurde eine Parameterliste erarbeitet, die für die Anwendung des Hochwasserschadensmodells erforderlich ist, aber auch Synergieeffekte für die Betrachtungen weiterer Naturgefahren (vgl. z.B. [77]) ermöglicht. Für die einzelnen Gebäudetypen werden typische Werte für die Bauwerksparameter im Programm vordefiniert (z.B. Etagenzahl: 2 oder Bauweise Erdgeschoss:



Mauerwerk, ...), welche dann vor Ort und in der nachfolgenden Auswertung objektspezifisch zu präzisieren sind. Von den Bauwerken wurden zur Plausibilitätsprüfung und Datenergänzung Fotos angefertigt. Eine weitere Erhöhung der Effizienz ist durch die künftige Integration einer Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude zu erwarten.

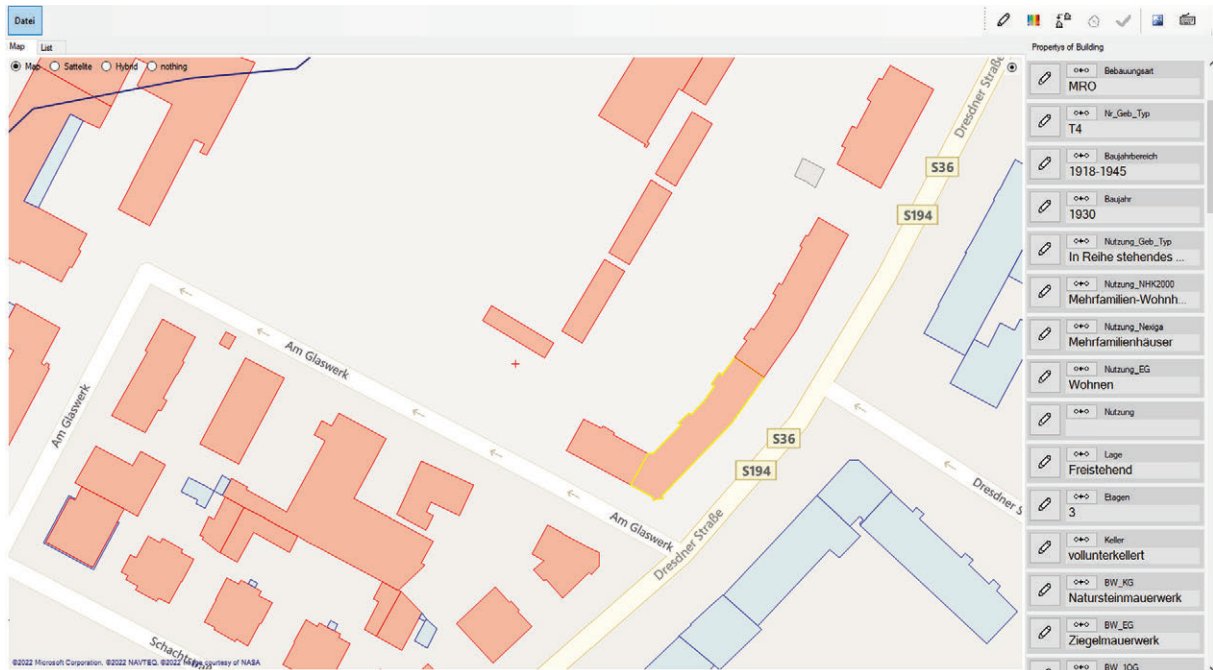


Abbildung 7: EDAC-Erhebungstool „EQUIP“ zur Dokumentation der Bauwerksparameter (mit Hintergrundkarten aus Bing Maps: Hintergrund Straßenkarte)

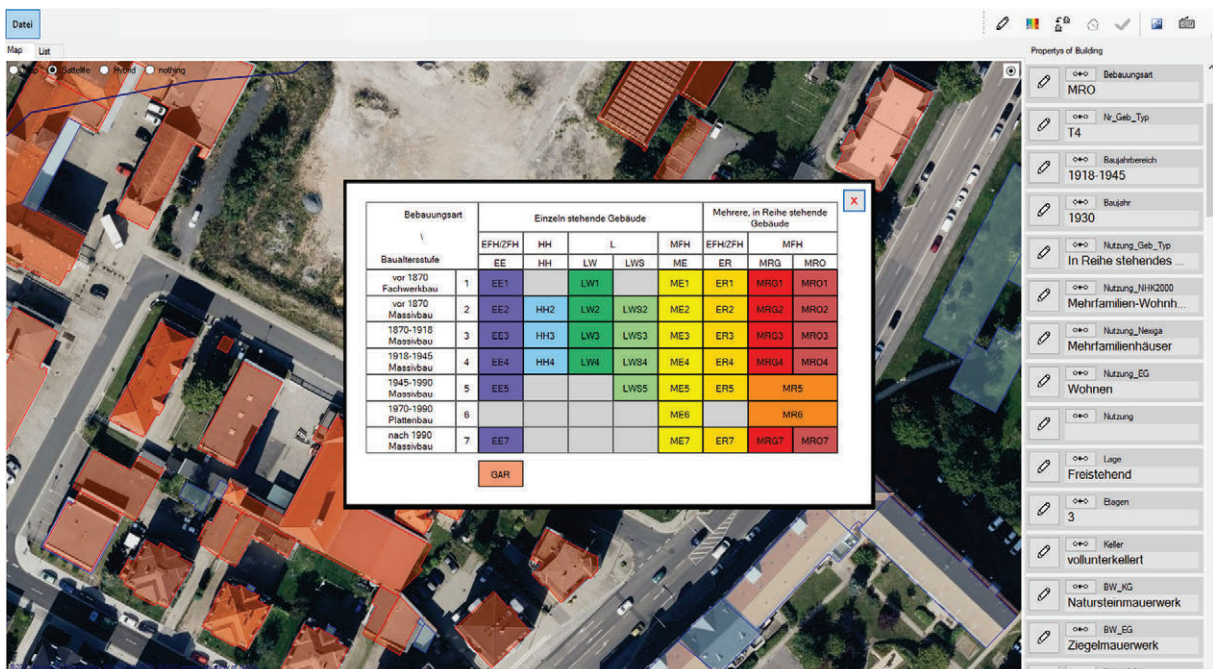


Abbildung 8: Auswahlfeld für die Wohngebäudetypologie [68] im erweiterten Erhebungstool „EQUIP“ (mit Hintergrundkarten aus Bing Maps: Hintergrund Satellitenfoto)