

Ein strategischer erdbebenresilienter Wiederaufbau unter
Verwendung von GIS basiertes weighted Overlay.

Das Fallbeispiel Antakya, Hatay, Türkei nach dem Erdbeben im
Februar 2023.

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit ist das Ergebnis einer viermonatigen Auseinandersetzung und soll den erfolgreichen Abschluss des Studiums im Masterstudiengang Raumplanung darstellen. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung der Masterarbeit unterstützt und während meines Studiums begleitet haben.

Durch die Zusammenarbeit mit meinen beiden Betreuern, Herrn Londono und Herrn Dr. Scholz, ist es mir gelungen, eine strukturierende Arbeit zu schreiben. An dieser Stelle möchte ich mich bei beiden Betreuern für ihre Unterstützung bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung und Hilfe während des gesamten Studiums und meiner intensiven Beschäftigung an der Masterarbeit.

Insbesondere möchte ich meiner Verlobten, Ceyda Aydin, für ihre ständige Unterstützung in dieser letzten Phase meines Studiums danken.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit mit dem oben genannten Titel selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Für allgemeine Personenbezeichnungen wurde in dieser Arbeit, aus Gründen der Lesbarkeit, in der Regel die maskuline Ausdrucksform gewählt. Sie schließt jedoch gleichermaßen die feminine Form mit ein. Die Leserinnen und Leser werden dafür um Verständnis gebeten.

Impressum
TU Dortmund - Masterstudiengang Raumplanung
Gutachter: Jose Mauricio Velazco Londono
Gutachter: Dr. Wolfgang Scholz
Autor der Masterarbeit: Enes Derin
Abgabedatum: 16.10.2023

Abstract

Earthquakes are a natural phenomenon that can cause severe destruction within urban areas. In particular, cascading effects resulting from the earthquake, such as liquefaction, fires, landslides and tsunamis, can increase the resulting damage. In addition, current experience shows that strict building regulations, such as specifications on statics and the design of the building structure, and strategic planning by the city, are the best way so far to minimise damage from earthquakes.

On 06. February 2023, Turkey was hit by two strong earthquakes. The earthquakes caused enormous destruction, killing many people. In particular, the city of Antakya, within the southeastern province of Hatay, was hit very hard by the two earthquakes. The magnitude of the earthquakes within the hit provinces varies according to the local topographical, geomorphological and hydrological conditions.

As a basis for this work, the local conditions in the study area of Antakya are to be investigated and evaluated so that the areas with high or very high risk can be identified. The identification of the risk areas will result in a map that can be used as a basis for establishing new planning measures.

These planning measures result from the literature research, whereby three best practice examples were taken into focus. The three case studies from Haiti, Chile and Japan have designed different measures for earthquake-resilient urban planning. In addition, supplementary measures are to be taken from other concepts and scientific work in order to be able to identify further suitable measures. The identified measures are to be integrated into the basic map. The result should be a strategic master plan, which should combine different measures at the urban level.

1 Anlass & Ziel

1.1 Hintergrund & Relevanz der Forschung	1
1.2 Forschungsfrage	3
1.3 Methodik	5
1.4 Aufbau der Arbeit	8

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Erdbeben & ihre Folgen	11
2.1.1 Entstehung & Intensität von Erdbeben	12
2.1.2 Faktoren zur Erdbebenstärke	15
2.1.3 Kaskadeneffekte	17
2.1.4 Erdbebenprognose	18
2.2 Wiederaufbau von Städten	19
2.2.1 Praxisbeispiel Haiti	19
2.2.2 Praxisbeispiel Chile	22
2.2.3 Praxisbeispiel Japan	26
2.3 Weitere Ansätze, Konzepte & Maßnahmen	32
2.3.1 Bodenklassifizierung	32
2.3.2 Frühwarnsystem	33
2.3.3 Mobilität	34
2.3.4 Gebäudestandards	34
2.4 Katalog Best Practices & Maßnahmen	36

3 Fallstudie Antakya

3.1 Lokalisierung der Stadt	41
-----------------------------	----

3.2 Erdbeben in Türkei, Hatay & Antakya	43
3.3 Erdbebenereignis 2023	44
3.4 Türkisches Baurecht	47

4 Planerische Konzeption

4.1 Analysekarten - Mikrozonierung	51
4.1.1 Hydrologische Analyse – Distanz zu Wassersystemen	52
4.1.2 Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers	53
4.1.3 Geologische Analyse - Distanz zu Verwerfungslinie	54
4.1.4 Geologische Analyse - Bodenbewertung	55
4.1.5 Topographische Analyse - Hangneigung	57
4.1.6 Topographische Analyse - Geländehöhe	58
4.1.7 Distanz zu brennbaren Orten	59
4.1.8 Mikrozonierung	60
4.2 Analysekarten - Weitere Parameter	63
4.2.1 Brachflächenanalyse	63
4.2.2 Grün- & Freiflächenanalyse	65
4.2.3 ÖPNV - Analyse	66
4.2.4 Verkehrsanalyse	67
4.2.5 Bestandsanalyse - kritische Infrastruktur	69
4.3 Strategischer Rahmenplan - Maßnahmen	70
4.4 Strategischer Rahmenplan	99

5 Diskussion, Limitation & Fazit

5.1 Diskussion & Limitation	103
5.2 Fazit	113

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Weltkarte (Eigene Abbildung).			
Abb. 2: Epizentren der zwei Erdbeben Februar 2023 (verändert nach Kuebler 2023).			
Abb. 3: Gewichtung der Layer bei einer gewichteten Überlagerungs-analyse (verändert nach Çabuk 2001: 149)			
Abb. 4: Methodisches Vorgehen der Masterarbeit (Eigene Abbildung).			
Abb. 5: Die tödlichsten Erdbeben seit 2000 bis 2010 (verändert nach Ramzy 2015).			
Abb. 6: Tektonische Platten und deren Bewegungsrichtungen (verändert nach Cassidy 2013: 209; Earl 2019: 279).			
Abb. 7: Abstrakte Darstellung über das Erdinnere und seine wichtigsten Ebenen (verändert nach Cassidy 2013: 208).			
Abb. 8: Schematische Darstellung der Entstehung von Erdbeben (verändert nach Bachmann 2002: 10).			
Abb. 9: Parameter und Faktoren, die sich auf das Risiko einer seismischen Gefährdung auswirken. (verändert nach Değerliyurt & Özşahin 2013: 36).			
Abb. 10: Lokalisierung Léogâne (Epizentrum) und Port-au-Prince (Hauptstadt) (Eigene Abbildung).			
Abb. 11: Zonierung rot, gelb/orange und grün (République d’Haïti 2015: 180).			
Abb. 12: Lokalisierung Cobquecura (Epizentrum) & Santiago (Hauptstadt) (Gobierno de Chile 2010g: 4).			
Abb. 13: vier Leitthemen für das Konzept Chile (verändert nach Gobierno de Chile 2010a: 10).			
Abb. 14: Masterplan Tubul: territoriale Strategie für öffentlichen Raum und Ausstattung (Gobierno de Chile 2010b: 22).			
Abb. 15: Masterplan Tubul: Evakuierungswege (Gobierno de Chile 2010b: 27).			
Abb. 16: Masterplan Talcahuano: Verkehrs- und Mobilitätsstrategie (Gobierno de Chile 2010c: 23).			
Abb. 17: Masterplan Isla Santa Maria: Mobilitäts- und Verkehrsstrategie. Fahrradweg (Gobierno de Chile 2010a: 25).			
Abb. 18: Temporäre Unterkunft Chile (verändert nach Wagemann 2017: 834).			
Abb. 19: Modifizierte temporäre Unterkünfte in Chile (Wagemann 2017: 838).			
Abb. 20: Lokalisierung Kobe (Eigene Abbildung).			
Abb. 21: Modell einer Katastrophenzonierung (verändert nach Mitsui 2022: 304).			
Abb. 22: Detailansicht Baufeld (verändert nach Mitsui 2022: 331).			
Abb. 23: Was während eines Erdbebens zu tun ist (verändert nach Arya 2012: 11).			
Abb. 24: Massen- und Steifigkeitszentrum (verändert nach Bachmann 2002: 90).			
Abb. 25: Lokalisierung Hatay und Antakya (Eigene Abbildung).			
	S	Abb. 26: Verhältnis der Bevölkerungszahl zwischen der Provinz Hatay und der Stadt Antakya (verändert nach Stadt Antakya 2020: 32).	41
	0	Abb. 27: Stadt Antakya (Datenquelle: Google Earth 2023b).	42
	1	Abb. 28: Tektonische Platten und Verwerfungslinien im Bereich der Türkei (Işık & Harirchian 2022: 4).	43
	6		43
	7	Abb. 29: Erdbeben in der Türkei (Tan et al 2008: 407).	
	11	Abb. 30: Karte der Erdbebengebiete in der Türkei (verändert nach Sucuoğlu 2019: 66).	43
	12	Abb. 31: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya (Datenquelle: Abrahamczyk et al 2013: 685; Korkmaz 2006: 51f; Över et al 2001: 2; Över et al 2004: 100; Geological Institute of the Russian Academy of Sciences 2022).	43
	12	Abb. 32: Erdbeben und Nachbeben Februar 2023 (verändert nach Naddaf 2023).	44
	12	Abb. 33: Anzahl der von der türkischen Regierung aufgestellten Zelte, Stand Februar (verändert nach OCHA 2023b: 2).	44
	12	Abb. 34: Folgen der Katastrophe Februar 2023 (Kuebler 2023).	45
	15	Abb. 35: Drei Tage nachdem Erdbeben (verändert nach Garthwaite 2023).	45
	19	Abb. 36: Gebäude von der Vogelperspektive in Antakya (Malla 2023).	45
	20	Abb. 37: Stadt Antakya Stand 12.2022 (Google Earth 2022).	46
	20	Abb. 38: Stadt Antakya Stand 02.2023 (Google Earth 2023a).	46
	22	Abb. 39: Wassersysteme. Oronto-Fluss mit seinen Nebenflüssen (Eigene Abbildung).	52
	23	Abb. 40: Wassersysteme Puffer (Eigene Abbildung).	52
	24	Abb. 41: Kreisdiagramm Hydrologische Analyse - Distanz zu Wassersystemen Prozente (Eigene Abbildung).	52
	24	Abb. 42: Tiefe des Grundwassers nach Değerliyurt (Değerliyurt 2013: 71).	53
	24	Abb. 43: Tiefe des Grundwassers mit nächster Nachbar GIS-Analyse (Eigene Abbildung).	53
	24	Abb. 44: Kreisdiagramm Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers Prozente (Eigene Abbildung).	53
	24	Abb. 45: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya (Eigene Abbildung).	54
	25	Abb. 46: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya Puffer (Eigene Abbildung).	54
	25	Abb. 47: Kreisdiagramm Geologische Analyse – Distanz zu Verwerfungslinie Prozente (Eigene Abbildung).	54
	26	Abb. 48: Böden nach Özşahin (Özşahin 2010: 5).	55
	30	Abb. 49: Böden nach Değerliyurt (Değerliyurt 2013: 35).	55
	31	Abb. 50: Böden nach Değerliyurt 2013 & Özşahin 2010 (Eigene Abbildung).	55
	33	Abb. 51: Bewertung der Böden (Eigene Abbildung).	56
	35	Abb. 52: Kreisdiagramm Geologische Analyse – Bodenbewertung Prozente (Eigene Abbildung).	56
	41	Abb. 53: Digitales Höhenmodell (USGS o.J.b).	57

Abb. 54: Hangneigung (Eigene Abbildung).	57	Abb. 84: Mögliche Versorgungszentren und Entlastung des Zentrums (Eigene Abbildung).	73
Abb. 55: Kreisdiagramm Topographische Analyse – Hangneigung Prozente (Eigene Abbildung).	57	Abb. 85: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung eines Versorgungszentrum 1 (Eigene Abbildung).	74
Abb. 56: Geländehöhe (Eigene Abbildung).	58	Abb. 86: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung eines Versorgungszentrum 2 (Eigene Abbildung).	76
Abb. 57: Kreisdiagramm Topographische Analyse – Geländehöhe Prozente (Eigene Abbildung).	58	Abb. 87: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung von Brachflächen (Eigene Abbildung).	79
Abb. 58: Brennbare Orte (Eigene Abbildung).	59	Abb. 88: Bestehende Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).	82
Abb. 59: Brennbare Orte Puffer (Eigene Abbildung).	59	Abb. 89: Potenzielle Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).	82
Abb. 60: Kreisdiagramm Distanz zu brennbaren Orten Prozente (Eigene Abbildung).	59	Abb. 90: Bestehende & potenzielle Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).	82
Abb. 61: Raster Hydrologische Analyse - Distanz zu Wassersystemen (Eigene Abbildung).	60	Abb. 91: Erweiterung der Erreichbarkeit der Grün- und Freiflächen durch potenzielle Evakuierungsfreiflächen (Eigene Abbildung).	82
Abb. 62: Raster Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers (Eigene Abbildung).	60	Abb. 92: Potenzielle Flächen für temporäre Unterkünfte (Eigene Abbildung).	84
Abb. 63: Raster Geologische Analyse - Distanz zu Verwerfungslinie (Eigene Abbildung).	60	Abb. 93: Perspektivische Darstellung temporäre Unterkünfte (Eigene Abbildung).	86
Abb. 64: Raster Geologische Analyse – Bodenbewertung (Eigene Abbildung).	60	Abb. 94: Potenzielle Evakuierungswege (Eigene Abbildung).	87
Abb. 65: Raster Distanz zu brennbaren Orten (Eigene Abbildung).	60	Abb. 95: Mögliche Straßenraumgestaltung (Eigene Abbildung).	88
Abb. 66: Raster Topographische Analyse - Hangneigung (Eigene Abbildung).	60	Abb. 96: Straßenquerschnitt Hauptstraße Alternative 1 (Eigene Abbildung).	90
Abb. 67: Raster Topographische Analyse - Geländehöhen (Eigene Abbildung).	60	Abb. 97: Straßenquerschnitt Hauptstraße Alternative 2 (Eigene Abbildung).	90
Abb. 68: Mikrozonierung der Stadt Antakya (Eigene Abbildung).	62	Abb. 98: Straßenquerschnitt Altstadtnebenstraße Alternative 1 (links) & 2 (rechts) (Eigene Abbildung).	89
Abb. 69: Kreisdiagramm Mikrozonierung Risikoverteilung Prozente (Eigene Abbildung).	62	Abb. 99: Potenzielle Flächen für die Lagerung von Trümmern (Eigene Abbildung).	91
Abb. 70: Stadt Antakya, Stand 06.2023 (Google Earth 2023b).	64	Abb. 100: Mögliche Erweiterungs- oder Verlagerungsflächen (Eigene Abbildung).	92
Abb. 71: Schwarzplan vor dem Erdbeben (Eigene Abbildung).	63	Abb. 101: Potenzielle neue Bushaltestellen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).	93
Abb. 72: Schwarzplan nach dem Erdbeben Februar 2023 (Eigene Abbildung).	63	Abb. 102: Abnahme von einer Punktquelle (Long 2014: 73).	95
Abb. 73: Zerstörte Gebäude (Eigene Abbildung).	63	Abb. 103: Potenzielle Standorte für Sirenen Puffer (Eigene Abbildung).	95
Abb. 74: Betroffene Flächen in etwa 3.143.881 m ² (Eigene Abbildung).	63	Abb. 104: Strategischer Rahmenplan für die Stadt Antakya (Eigene Abbildung).	99
Abb. 75: Betroffene Flächen im Verhältnis zu den Risikozonen (Eigene Abbildung).	65		
Abb. 76: Grün- und Freiflächen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).	66		
Abb. 77: Bushaltestellen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).	66		
Abb. 78: Straßenhierarchie (Eigene Abbildung).	67		
Abb. 79: Straßenquerschnitt Hauptstraßen (Eigene Abbildung).	68		
Abb. 80: Straßenquerschnitt Altstadtnebenstraßen (Eigene Abbildung).	68		
Abb. 81: Kritische Infrastruktur nach dem Erdbeben Februar 2023 (Eigene Abbildung).	69		
Abb. 82: Brachflächen im Verhältnis zu den Bodennutzungsrichtlinien (Eigene Abbildung).	72		
Abb. 83: Brachflächen im Verhältnis zur Bodennutzungsrichtlinie Prozente (Eigene Abbildung).	72		

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: EMS-Skala (Grünthal 1998: 17-20).	14
Tab. 2: Die Richterskala (Bundesverband Geothermie 2022).	14
Tab. 3: Bewertung der Hangneigung im urbanen Raum (McBride 1999: 15; Teimouri et al 2018: 119).	16
Tab. 4: Grundwasserspiegel und Wahrscheinlichkeit von Verflüssigung (Chung & Rogers 2013: 378).	16
Tab. 5: Evakuierungsorte nach Japan (verändert nach 2022: 160-163).	28
Tab. 6: Evakuierungswege nach Japan (verändert nach Mitsui 2022: 160).	29
Tab. 7: Bodenklassifizierung nach Erdbeben-Katastrophen-Index (verändert nach Davidson & Shah 1997: 72).	32
Tab. 8: Bodenklassifizierung nach Vorgaben des Ministeriums für öffentliche Arbeiten und Siedlungswesen der Türkei (verändert nach Ministry of Public Works and Settlement Turkey 2007: 30).	32
Tab. 9: Bedeutungsklassen für Gebäude (verändert nach European Committee for Standardisation 2004: 53).	35
Tab. 10: Maßnahmenkatalog (Eigene Abbildung).	38
Tab. 11: Anzahl der Gebäudegeschosse entsprechend der Straßenbreite (verändert nach Hatay 2022).	47
Tab. 12: Geschosshöhen (verändert nach Hatay 2022).	48
Tab. 13: Grundstücksgrößen (verändert nach Hatay 2022).	48
Tab. 14: Analysen (Eigene Tabelle).	51
Tab. 15: Lärmwirkung (verändert nach LANUV 2023).	94
Tab. 16: Berechnung Schalldistanz (Eigene Tabelle).	95

1 Anlass & Ziele

Theoretische Grundlagen

Fallstudie Antakya

Planerische Konzeption

Diskussion, Limitation & Fazit

1.1 Hintergrund & Relevanz der Forschung

Am 6. Februar 2023 ereigneten sich in der Türkei in der Nähe der Stadt Gaziantep zwei schwere Erdbeben. Das erste Beben hatte eine Magnitude von 7,8 auf der Richter-Skala und wurde neun Stunden später von einem zweiten Beben mit einer Magnitude von 7,6 auf der Richter-Skala gefolgt (Çetin et al 2023: 13). Diese Ereignisse verursachten erhebliche Schäden und forderten Menschenleben. Die betroffenen Gebiete erstreckten sich vom Südosten bis in den Osten der Türkei (OCHA 2023a: 2).

Die Erdbeben trafen ein Cluster von 15 Millionen Menschen in der Türkei (Çetin et al 2023: 14) innerhalb der Provinzen Adana, Adiyaman, Diyarbakir, Elazig, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaras, Kilis, Malatya, Osmaniye und Sanliurfa (OCHA 2023a: 2). Die Ereignisse verursachten Erschütterungen und Schäden, die in der Türkei mehr als 36.000 Todesopfer und mehrere Zehntausend Verletzte verursachten (ebd.). Über 200.000 Menschen mussten in andere Provinzen der Türkei umgesiedelt oder in provisorischen Zeltlagern untergebracht werden (ebd.).



Abb. 2: Epizentren der zwei Erdbeben Februar 2023 (verändert nach Kuebler 2023).

Erdbeben werden als natürliche Phänomene definiert (Ansary et al 2004: 1), die Bewegungen von Gestein darstellen und ein Schütteln oder Zittern der Erde verursachen (Cassidy 2013: 208). Die verursachten Bewegungen sind in der Lage, erhebliche Schäden an Gebäuden, Einrichtungen und Infrastrukturen zu verursachen, was negative Auswirkungen auf das Leben und Zusammenleben der Menschen, ihre Besitztümer, die Infrastruktur und die Wirtschaft zur Folge haben kann. Neben den offensichtlichen Folgen wie dem Einsturz von Gebäuden (Korkmaz 2006: 50) können Erdbeben auch weitere Folgen wie Brände, kontaminierte Wasserversorgung und Stromausfälle mit sich bringen (WHO 2022: 13). Die Schwierigkeit bei der Bewältigung von Erdbeben besteht darin, dass sie sich meist nicht vorhersagen lassen und daher kurzfristige Maßnahmen zur Risikominderung erschweren (Towashiraporn 2010: 5).

Die Kapazitäten zur Vorhersage dieser Risiken sind noch recht begrenzt, und die Literatur scheint darauf hinzuweisen, dass derzeit langfristige bauliche Maßnahmen, wie Normen für Baustandards

und erdbebenresiliente Stadtplanung, für die Erdbebensicherheit die wichtigsten Faktoren sind (WHO 2022: 13; Tudes 2012: 429). Die angemessene Reaktion auf solche Ereignisse ist eine komplexe Herausforderung für die Stadtplanung. Die Resilienz gegenüber Erdbeben und deren Folgen erfordern ganzheitliche und innovative Ansätze, wobei die potenziellen gefährlichen Ereignisse identifiziert und deren räumliche oder funktionale Zusammenhänge berücksichtigt werden müssen (Tudes 2012: 429). Die langfristige Planung für Gefahren erfordert die Analyse von ortsspezifischen Daten, um strategische Entscheidungen zu treffen, die zur Gefahrenminderung beitragen und um katastrophale Folgen von Erdbeben zu verhindern bzw. zu minimieren (Hultquist 2022: 401). Die Stadtplanung spielt eine wichtige Rolle bei der Lokalisierung dieser strategischen Entscheidungen (Mitsui 2022: 338).

In dieser Masterarbeit werden die entwickelten Maßnahmen anderer Erdbebenrisikostädte untersucht, um ein strategisches planerisches Vorgehen für eine Stadt nach einem Erdbeben zu ermöglichen. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die Kaskadeneffekte von Erdbeben zu verstehen und umfassende und innovative Maßnahmen zur Steigerung der Erdbebenresilienz in städtischen Gebieten zu entwickeln. Dabei sind spezifische Planungsanforderungen zu berücksichtigen, die eine kompakte stadtplanerische Vorgehensweise betonen, um katastrophale Auswirkungen zukünftiger Erdbeben einzuschränken.

Die vorliegende Arbeit widmet sich der aktuellen Entwicklung unter Berücksichtigung des im Februar 2023 geschehenden Erdbebens und legt als Untersuchungsraum die Provinz Hatay fest. Angesichts der gegenwärtigen und zukünftigen Relevanz der erdbebenresilienten Stadtplanung untersucht sie diese Thematik und ihre spezifischen Auswirkungen auf die größte Stadt der Region Antakya.

1.2 Forschungsfrage

Stadtplanung ist die systematische Planung der physischen Umwelt, in der Menschen leben, mit dem Ziel, Sicherheit im Einklang mit sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Bedürfnissen zu gewährleisten und gesunde, zuverlässige und nachhaltige Lebensräume zu schaffen. In Ländern, die in seismisch aktiven Regionen liegen, sind Erdbeben und ihre Auswirkungen eine zentrale Herausforderung für deren Stadtplanung (Tudes 2012: 417). Starke Erdbeben können große Gebiete betreffen und langanhaltende wirtschaftliche, soziale und politische Auswirkungen haben (Akther 2010: 405). Diese Auswirkungen werden in urbanen Räumen durch eine ungeplante Entwicklung innerhalb von Hochrisikogebieten noch verstärkt (Akther 2010: 423; Erdik 2006: 1f). In dieser Arbeit soll ein strategisches stadtplanerisches Vorgehen entwickelt werden, welches von den entsprechenden Verantwortlichen der Erdbebenrisikogebiete aufgegriffen, konkretisiert und idealerweise umgesetzt werden kann.

Die Arbeit konzentriert sich auf die Stadt Antakya in der Provinz Hatay, Türkei, die im Februar 2023 von Erdbeben betroffen wurde. Die Forschungsfrage lautet wie folgt:

"Wie kann ein erdbebenresilienter strategischer Rahmenplan für die Stadt Antakya, Hatay, Türkei nach dem Erdbeben im Februar 2023 unter Einbeziehung von GIS-basiertem weighted Overlay und internationalen Konzepten und Ansätzen entwickelt werden, um die Widerstandsfähigkeit dieser Stadt gegenüber zukünftigen Erdbeben zu verbessern, Schäden zu minimieren und als Modell für ähnliche erdbebenrisikobehaftete Gebiete zu dienen?"

Die Nutzung von GIS-basiertem weighted Overlay (gewichtete Überlagerung) bietet die Möglichkeit an, unterschiedliche Faktoren miteinander gewichten zu können, sodass komplexe räumliche Zusammenhänge genauer betrachtet und entsprechende Maßnahmen, die anhand der Werte, die aus der gewichteten Überlagerung entstehen, lokalisiert werden können. Anhand der obengenannten Forschungsfrage ergeben sich weitere Teilfragen, die im Rahmen der Arbeit den Inhalt und das weitere Vorgehen ergänzen und leiten sollen:

Welche Faktoren sind für eine erdbebenresiliente Stadtplanung wichtig?

Welche Kriterien müssen bei einer erdbebenresilienten Stadtplanung betrachtet werden und wie werden diese gewertet?

Welche Maßnahmen können unternommen werden, um die Qualität einer Stadt zu verbessern und um Schäden durch Erdbeben zu minimieren?

Zudem soll noch erwähnt werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit sich nicht nur auf die Stadt Antakya beschränken sollen, sondern auch als universelle anwendbare Erkenntnisse anzusehen sind. Der Forschungsablauf und seine Ergebnisse sollen als Handlungsvorschlag für ähnliche Erdbebenrisikogebiete dienen. Das Vorgehen der Arbeit ist somit universal anwendbar und entsprechend (nach Änderung der entsprechenden Variablen und ggf. möglicher Ergänzungen und Erweiterungen

der Analysen) flexibel.

Insgesamt zielt diese Arbeit darauf ab, einen Beitrag zur Entwicklung erdbebenresilienter Städte zu leisten und Lösungsansätze für erdbebenrisikobehaftete Gebiete aufzuzeigen. Durch die Berücksichtigung von GIS-basierten gewichteten Überlagerungsanalysen sowie internationalen Konzepten und Ansätzen kann ein strategischer Rahmenplan entwickelt werden, der die Widerstandsfähigkeit gegenüber zukünftigen Erdbeben erhöht und Schäden minimiert.

1.3 Methodik

Die eben vorgestellte Forschungsfrage bedarf einer logischen und nachvollziehbaren Ausarbeitung. Aus diesem Grund soll im Folgenden der Aufbau der Methodik bzw. der Empirie vorgestellt werden. Hierbei sollen sowohl der theoretische als auch der empirische Teil der Arbeit präsentiert werden.

Die Arbeit gliedert sich in zwei unterschiedliche Bereiche. Um einen empirischen Zugang für die Arbeit zu errichten und die Forschungsfrage zu beantworten, bedarf es zunächst einer umfassenden Literaturrecherche. Diese soll den theoretischen Hintergrund der Arbeit verfestigen. Zunächst wurden verschiedene elektronische Datenbanken durchsucht, um ein breites Sortiment an wissenschaftlichen Arbeiten und Konzepten aus unterschiedlichen Quellen, Fachgebieten und Sprachen, wie deutsch, englisch, spanisch, französisch, türkisch und japanisch¹ zu erfassen. Zu diesen Datenbanken zählen die der Universitätsbibliothek der Technischen Universität Dortmund, JSTOR, ScienceDirect, Connected Papers, ResearchGate und SpringerLink. Um sicherzustellen, dass keine relevanten Studien übersehen wurden, erfolgte die Suche anhand von Schlüsselwörtern und Synonymen, kombiniert in unterschiedlichen Variationen.² Die Recherche umfasste Fachbücher, Fachzeitschriften, Zeitungsartikel, Internetquellen, Pressemitteilungen und Stadtentwicklungskonzepte aus erdbebengefährdeten Ländern. Nach der Identifizierung von Studien und Konzeptionen mit möglicher Relevanz wurden die einzelnen Quellen hinsichtlich ihrer Qualität kritisch geprüft und bewertet.³ Bei einer positiven Bewertung wurde zudem deren Literaturverzeichnisse untersucht, um weitere Quellen von Belang zu finden.

Nach der Ermittlung der Quellen wurden insgesamt drei Länder, Haiti, Chile und Japan, besonders berücksichtigt, da diese unterschiedliche erdbebenrelevante Stadtplanungsmaßnahmen durchgeführt hatten. Die durchgeführten städtebaulichen Maßnahmen aus den in den Fokus genommenen Praxisbeispielen, aus weiteren Konzepten und wissenschaftlichen Arbeiten wurden anschließend in Form einer Maßnahmenliste (-katalogs) zusammengefasst und kategorisiert.

Im Anschluss wurde das Untersuchungsgebiet in Hinblick auf die örtlichen geologischen und topographischen Bedingungen erörtert. Abgeschlossen wird das Kapitel des Untersuchungsgebiets, indem die aktuelle Situation nach dem Erdbeben im Februar 2023 zusammengefasst und gegenwärtige Maßnahmen, die derzeit von den Hilfsorganisationen und der Regierung durchgeführt werden, aufgelistet wurden.

Das übergeordnete Ziel des empirischen Teils und somit auch der Arbeit bestand darin, eine Methodik für die Lokalisierung der entsprechenden Maßnahmen zu entwickeln. Daraus folgt, dass die einzelnen Analysen, die sich durch den theoretischen Hintergrund ergeben haben, im Rahmen ei-

¹ Aufgrund der Sprachbarriere wurden bei spanischen, französischen und japanischen Quellen Übersetzungsprogramme verwendet.

² Schlüsselwörter, Synonyme und Kombinationen waren unter anderem: Erdbeben, Kaskadeneffekte von Erdbeben, Mikrozonierung, Naturkatastrophen und Städte, urbane Resilienz, Verwerfungslinien, Landnutzungsplanung, Parameter Erdbeben, Risikoanalysen, Schaden von Erdbeben, Katastrophenkartierung, Masterpläne Erdbeben, Wiederaufbau von Städten nach einer Katastrophe, besser zurückgebaut, Erdbebenresistentes Design von Städten, Maßnahmen nach Erdbeben und erdbebenresiliente Stadtplanung.

³ Um die Relevanz zu prüfen, wurde ein Fragebogen angefertigt (siehe Anhang), der die Inhalte der einzelnen Literaturen kategorisieren und bewerten soll.

ner gewichteten Überlagerung mittels einer Analyse durch das Geographische Informationssystem (GIS) kartographisch zusammengefasst werden. Ein Geographisches Informationssystem kann definiert werden als ein computergestütztes Informationssystem, welches zur Erfassung, Verwaltung und Verarbeitung von raumbezogenen Daten verwendet wird (Christiansen & Erb 2001).

Eine gewichtete Überlagerung ist ein GIS-Werkzeug, um mehrere Rasterlayer miteinander zu kombinieren. Jeder dieser einzelnen Layer repräsentiert eine bestimmte Eigenschaft, welche für die Analyse entsprechend gewichtet (max. 100 %) wird. Hierbei spielt insbesondere die Wichtigkeit der einzelnen Eigenschaften eine Rolle (Şentürk & Erener 2017: 86). Durch Multiplikation der Ergebnisse jedes Layers mit den entsprechenden Gewichtungen entsteht ein neuer Rasterlayer, der die Kombination der verschiedenen Eigenschaften zeigt (Abb. 3). Dieser Analyseprozess transformiert die Karte in einen Punktebereich zwischen mehreren Punkten, wobei die einzelnen Punkte unterschiedliche Bedeutungen je nach entsprechender Vordefinierung aufweisen (Şentürk & Erener 2017: 86).

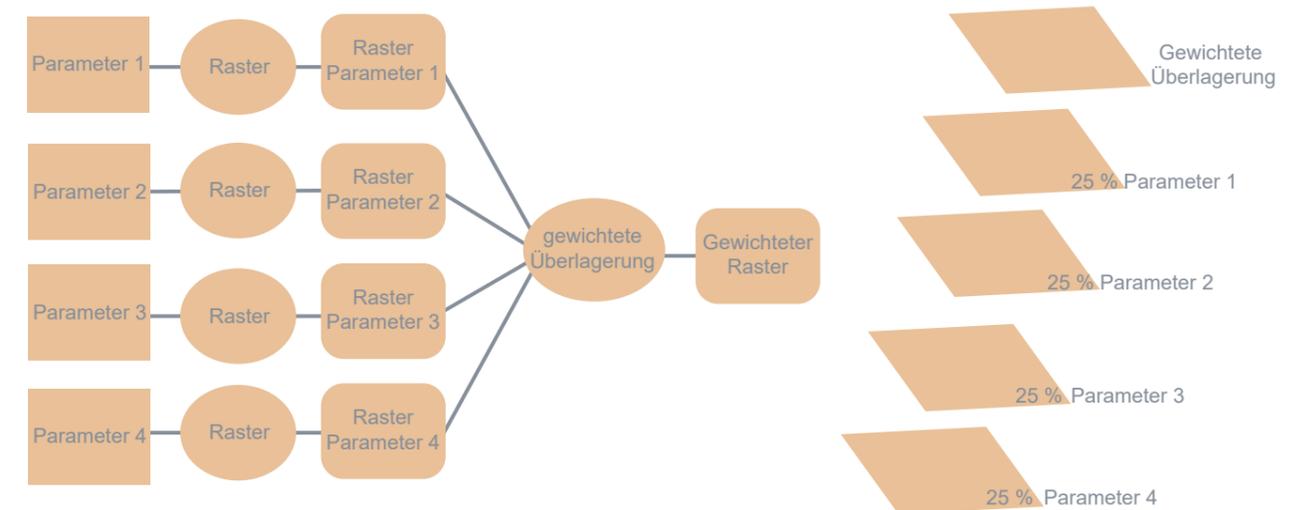


Abb. 3: Gewichtung der Layer bei einer gewichteten Überlagerungsanalyse (verändert nach Çabuk 2001: 149)

Bei einer erdbebenresilienten Stadtplanung müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Die gewichtete Überlagerungsanalyse bietet die Option, die einzelnen Faktoren miteinander zu kombinieren und ihre relative Bedeutung und Wichtigkeit entsprechend zu gewichten. Dadurch entstehen komplexe räumliche Zusammenhänge, welche weiter analysiert werden können. Die Möglichkeit, unterschiedliche Daten miteinander zu kombinieren, bietet die Option, eine Allokation der Maßnahmen zu begründen. Außerdem können durch die gewichtete Überlagerungsanalyse die Ergebnisse visualisiert werden. Somit bietet dies eine optimale Voraussetzung, die Ergebnisse der Analyse als Grundlagenkarte für den strategischen Rahmenplan zu nutzen, da die Visualisierung der Ergebnisse es ermöglicht, potenzielle Risikobereiche, sichere Gebiete und Maßnahmenvorschläge auf einen Blick zu erfassen und zu diskutieren.

Der strategische Rahmenplan ist eine Zusammenfassung der einzelnen Analysen und des sich aus der Literaturrecherche ergebenden Maßnahmenkatalogs. Diese werden dann im strategischen Rahmenplan auf ihre mögliche Umsetzbarkeit überprüft und zu einem Gesamtkonzept darstellerisch in Form von Perspektiven, Aufsichtsplänen und weiteren Darstellungen vorgestellt.

Der erste Schritt der Methodik besteht somit darin, wichtige Parameter, die sich aus dem theoretischen Hintergrund ergeben haben, bezogen auf das Untersuchungsgebiet zu analysieren. Anschließend sollen diese in gewichteter Form als Grundlagenkarte für den strategischen Rahmenplan dienen. Beendet wird der empirische Teil der Arbeit mit der Lokalisierung der Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog (Abb. 4).

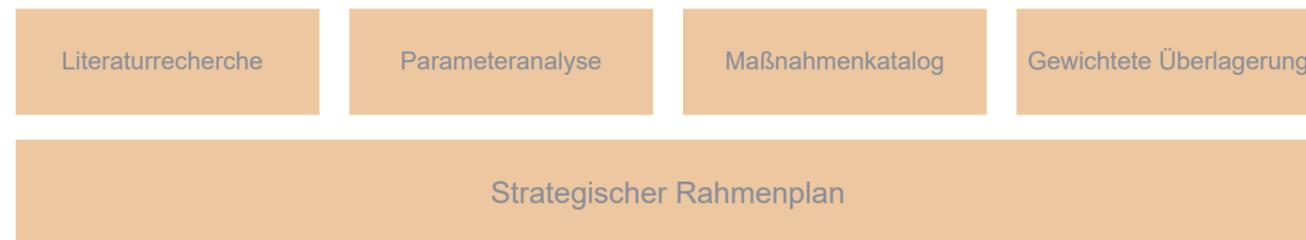


Abb. 4: Methodisches Vorgehen der Masterarbeit (Eigene Abbildung).

Da der Zugang zu einem Katastrophengebiet häufig begrenzt ist und oft Fernerkundungstechnologien die schnellste Möglichkeit darstellen, Daten zu erhalten (Fiedrich & Zlatanova 2013: 275), werden für die Datenerhebung open-source Geodaten⁴ und eigene Erhebungen im Rahmen einer Fernerkundungsanalyse durch Satellitenbilder vom Untersuchungsgebiet genutzt. Aufgrund der derzeitigen Situation ist die Verfügbarkeit von Daten gering, weshalb für einige Analysen die Daten aus der Literatur von Değerliyurt & Özşahin 2013 und Değerliyurt 2013 verwendet werden. Diese sollen behelfsmäßig dazu dienen, die derzeitige Situation der Stadt Antakya, nach dem Erdbeben im Februar 2023 zu erfassen und entsprechend bestimmte Themenbereiche zu analysieren.

1.4 Aufbau der Arbeit

Beginnen wird die Arbeit mit dem theoretischen Hintergrund. Dieses Kapitel konzentriert sich auf den theoretischen Rahmen dieser Arbeit. Anhand der wissenschaftlichen Literatur soll daher ein Überblick über die der grundlegenden Konzepte, Elemente und Zusammenhänge einer erdbebenresilienten Stadtplanung gegeben werden. Vor allem die Entstehung und Folgen von Erdbeben, sowie stadtplanerische Maßnahmen in Form von Praxisbeispielen stehen dabei im Zentrum.

Die einzelnen Maßnahmen der Praxisbeispiele werden in einem Maßnahmenkatalog entsprechend zusammengefasst. Mit einem Überblick über die gewonnenen Erkenntnisse des theoretischen Hintergrunds im Zusammenhang der erdbebenresilienten Stadtplanung wird der theoretische Teil abgeschlossen.

Im nächsten Kapitel wird ein Blick auf den Untersuchungsraum vorgenommen. Dazu gehören sowohl Einblicke in die Struktur der Stadt als auch auf ihre topographischen und geologischen Gegebenheiten. Zum Abschluss dieses Kapitels soll die Stadt Antakya in den Mittelpunkt gestellt werden und über aktuelle Entwicklungen und Hilfsaktionen berichtet werden (Stand: 06. Mai 2023). Die gewonnenen Erkenntnisse werden im anschließenden Kapitel weiterbearbeitet werden.

Das anschließende Kapitel dient dazu, die methodische Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage anschaulich zu beschreiben und zu rechtfertigen. Dabei orientiert sich das Kapitel eng an dem theoretischen Hintergrund, wobei insbesondere Aspekte wie die Auswahl der einzelnen Faktoren, die Verwendung von Auswertungstechniken sowie deren Begründung behandelt werden. Diese werden anschließend zusammengefasst und in Form von Karten und ergänzenden Abbildungen veranschaulicht.

Der Abschluss dieser Arbeit in Form des letzten Kapitels dient der Zusammenfassung der Ergebnisse, der kritischen Reflexion und Limitation der Methodik und dem Ausblick auf weitere Forschungsvorhaben. In der Diskussion sollen die gewonnenen Ergebnisse in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet, mit der Literatur verknüpft und ihre Anwendbarkeit aufgezeigt werden.

⁴ Daten sind dann „offen“, wenn sie durch jedermann und für jegliche Zwecke genutzt, weiterverarbeitet und weiterverbreitet werden können (Dietrich 2011).

Anlass & Ziele

2 Theoretische Grundlagen

Fallstudie Antakya

Planerische Konzeption

Diskussion, Limitation & Fazit

2.1 Erdbeben & ihre Folgen

Erdbeben sind eine furchterregende Naturkraft, die eine zerstörerische Wirkung entfalten und fast immer ohne Vorwarnung auftreten (Cassidy 2013: 208). Diese plötzlich auftretenden Erschütterungen stellen eine Bedrohung dar, mit der Gemeinschaften weltweit konfrontiert werden (Watt & Weinstein 2013: 60f).

Erdbeben bringen viele Opfer und Verletzte mit sich. Allein bei den fünf tödlichsten Erdbeben zwischen 2000 und 2010 starben ca. 730.000 Menschen (Abb. 5). Der Effekt wird aufgrund der zerstörten Infrastruktur (Verlust der örtlichen Wasserqualität und des Wasserzugangs, zerstörte Elektroleitungen) und durch gesperrte Straßen (Behinderung und Verspätung von Rettungseinsätzen) verstärkt. Zudem führt der kurzfristige Anstieg an verletzten Personen zu einer Überbelastung der Gesundheitseinrichtungen (WHO 2022: 13). Die zerstörerische Kraft eines Erdbebens zeigt sich insbesondere in der Anzahl der Kaskadeneffekte (siehe Kapitel 2.1.4), die es auslösen kann (Watt & Weinstein 2013: 68f).

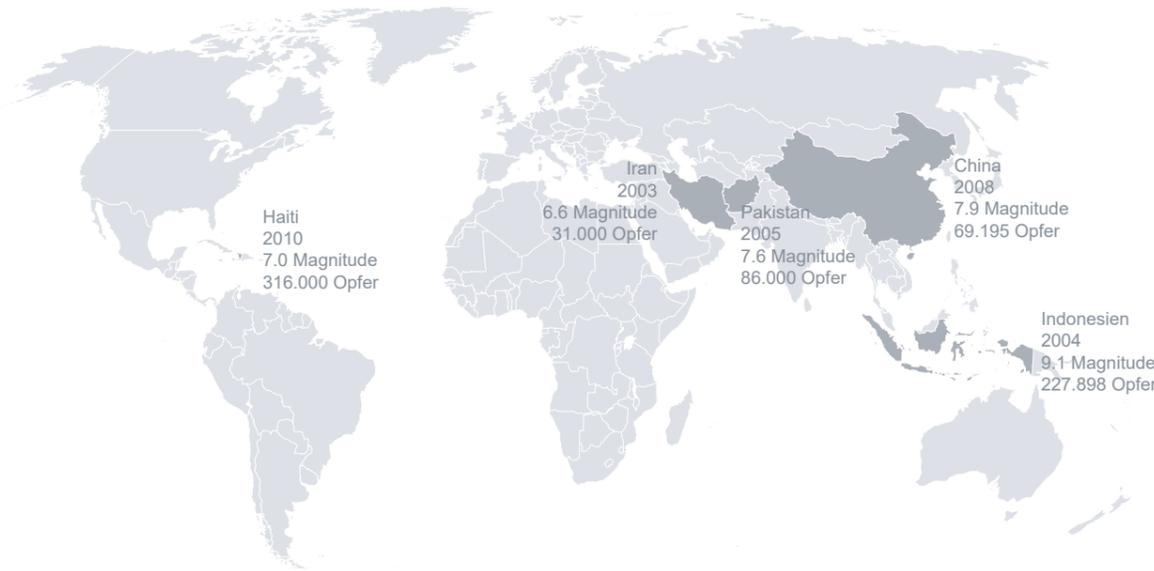


Abb. 5: Die tödlichsten Erdbeben seit 2000 bis 2010 (verändert nach Ramzy 2015).

Indem auf die Entstehung der Erdbeben und die daraus resultierenden Kaskadeneffekte eingegangen wird, soll das Fundament für den kommenden empirischen Teil gelegt werden. Darüber hinaus wird auch auf den derzeitigen Stand der Erdbebenprognose eingegangen.

2.1.1 Entstehung & Intensität von Erdbeben

Die Erde besteht aus sogenannten Lithosphärenplatten (Abb. 6), die sich aufgrund wärmebedingter Bewegungen im Erdinnern auseinander, gegeneinander oder aneinander mit einer Geschwindigkeit von etwa 1-10 cm/ Jahr vorbei bewegen (Bachmann 2022: 9; Cassidy 2013: 208ff). Die Ursache hierfür ist die im Erdkern bestehende Hitze. Die Temperatur des inneren Kerns beträgt etwa 3.500 – 5.700 °C. Die Hitze des Erdkerns versucht an die Oberfläche zu entweichen. Bei der Aufwärtsströmung entstehen sogenannte „Zirkulationszellen“ (Abb. 7). Diese tragen zur Bewegung der tektonischen Platten in Form von Horizontalverschiebungen, Abschiebungen und Überschiebungen (Abb. 8) bei (Bachmann 2002: 10; Cassidy 2013: 208). Diese tektonischen Bewegungen führen an den Plattengrenzen zu Spannungen. Überschreiten die Spannungen die Gesteinsfestigkeit, kommt es zu einem plötzlichen Bruchvorgang im Gestein der Erdkruste oder im obersten Erdmantel, welcher als tektonisches Erdbeben bezeichnet wird und dessen Auswirkungen wir als Erschütterungen des Erdbodens verspüren (Bachmann 2002: 9). Somit ist ein Erdbeben die plötzliche Freisetzung von Energie in der Erdkruste, sobald und sofern der mechanische Bruchpunkt der Gesteine erreicht wird (ebd.). Der Ausgangspunkt eines Erdbeben-Bruchvorgangs wird als Hypozentrum, der darüber liegende Punkt auf der Erdoberfläche als Epizentrum (Comerci 2013: 284) und der tektonische Riss in der Erdkruste entlang dessen Verschiebung als Verwerfungslinie bezeichnet (Bryant 2013: 317).

Zusätzlich zu den eben vorgestellten Erdbeben (tektonischen Erdbeben) können Erdbeben auch durch andere Umstände entstehen. Vulkanische Auswirkungen (Vulkanausbrüche) können durch die kurzfristige Veränderung der örtlichen Druck- und Temperaturverhältnisse einen Bruch in der Erdkruste verursachen (Bachmann 2022: 10). Durch den Einsturz von Hohlräumen, sei es durch natürliche oder anthropogene Bedingungen, können ebenfalls Erdbeben entstehen (ebd.).

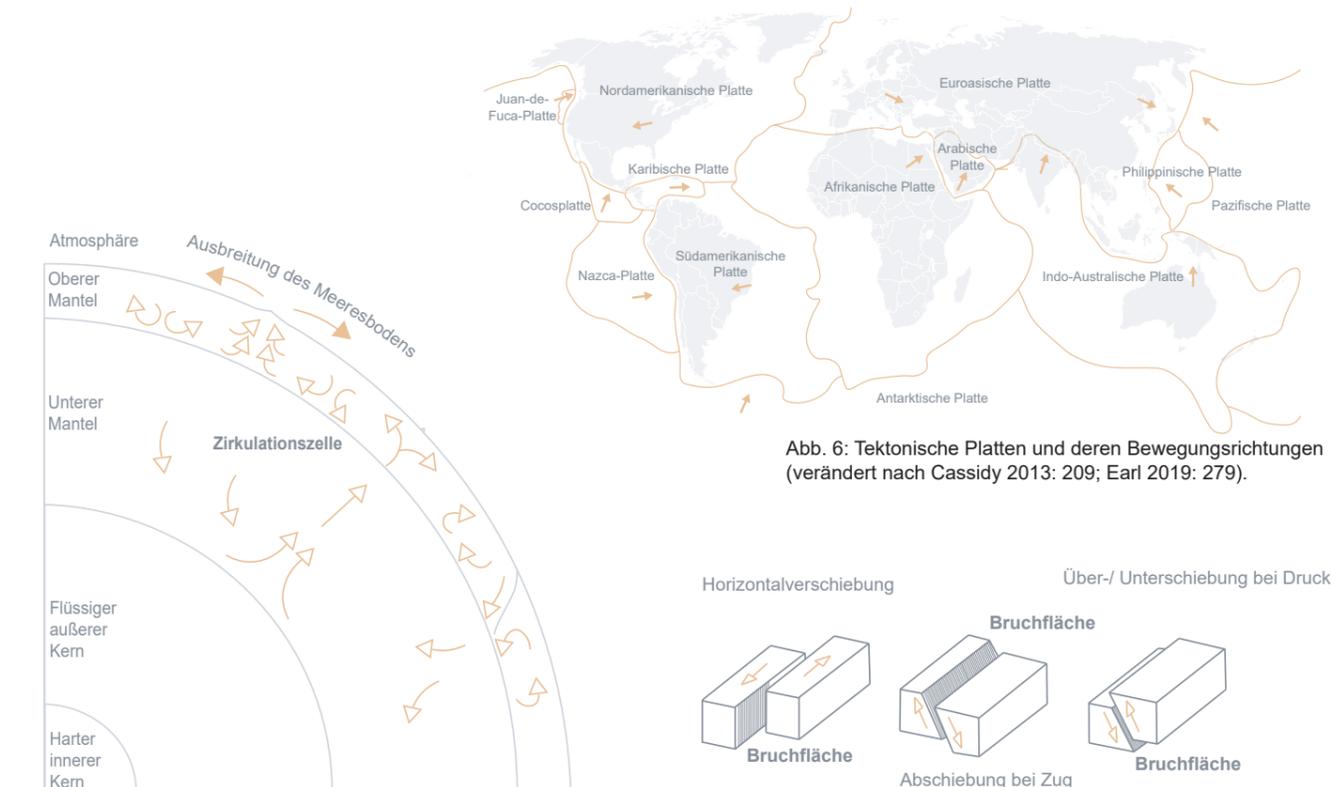


Abb. 7: Abstrakte Darstellung über das Erdinnere und seine wichtigsten Ebenen (verändert nach Cassidy 2013: 208).

Abb. 6: Tektonische Platten und deren Bewegungsrichtungen (verändert nach Cassidy 2013: 209; Earl 2019: 279).

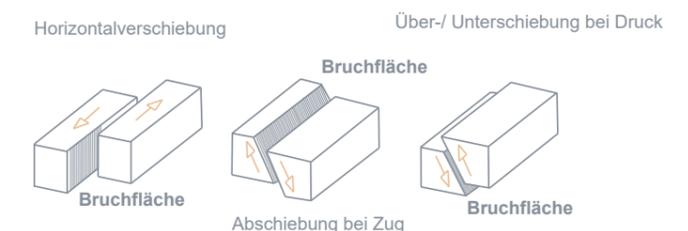


Abb. 8: Schematische Darstellung der Entstehung von Erdbeben (verändert nach Bachmann 2002: 10).

Um die Stärke eines Erdbebens und seine Schadenswirkung auf Bauwerke beschreiben und vergleichen zu können, werden hierfür entweder die Intensitätsskala oder die Magnitudenskala genutzt.

Die Intensitätsskalen beschreiben, wie ein Erdbeben an einem bestimmten Ort empfunden wurde (Wahrnehmung) und welche Auswirkungen das entsprechende Erdbeben vor Ort gehabt hatte (örtliche Zerstörungskraft) (Cassidy 2013: 212f). In Europa wird hierfür die Europäische Makroseismische Intensitätsskala (EMS-Skala) verwendet. Die Skala wird in zwölf verschiedene Grade unterteilt. Je höher der Grad, desto höher die Stärke des entsprechenden Erdbebens (Tab. 1) (Grünthal 1998: 17-20).

Magnitudenskalen hingegen messen die Energie, die durch das Erdbeben freigesetzt wird. Sie basieren auf Messungen, die durch die seismischen Instrumente (Seismogramme) aufgezeichnet werden (Logan 2013: 51). Es gibt viele unterschiedliche Magnitudenskalen, die verbreitetste ist jedoch die Richter-Skala (Tab. 2) (Cassidy 2013: 212f). Magnitudenskalen basieren auf einem Logarithmus. Ein Zuwachs um eine Zahl in der Tabelle bedeutet, dass die Amplitude der Bodenbewegung sich um das Zehnfache und die freigesetzte Bodenenergie um das Dreißigfache erhöht (ebd.).

Skalen sind ein wichtiges Instrument, um unterschiedliche Erdbeben miteinander vergleichen zu können. Zudem bieten beide Varianten die Möglichkeit, unterschiedliche Fragestellungen abzudecken. Während die Intensitätsskala besser für das Messen der Auswirkungen der Erdbeben geeignet ist, ist die Magnitudenskala besser, um eine objektive Bewertung zu generieren (ebd.).

Intensität	EMS	Beschreibung
I	Nicht gefühlt	Nicht gefühlt.
II	Kaum spürbar	Nur von sehr wenigen Einzelpersonen in ruhigen Haushalten empfunden.
III	Schwach	Von einigen wenigen Menschen in Innenräumen gefühlt. Ruhende Menschen spüren ein Schwanken oder leichtes Zittern.
IV	Weitgehend beobachtet	Viele Menschen spüren sie in Innenräumen, nur wenige im Freien. Einige wenige Menschen werden wach. Fenster, Türen und Geschirr klappern.
V	Stark	Von den meisten in Innenräumen, von wenigen im Freien gefühlt. Viele schlafende Menschen wachen auf. Gebäude schwanken überall - Hängende Gegenstände schwingen stark. Kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schwingen auf oder zu.
VI	Leicht schädigend	Viele Menschen erschrecken und rennen ins Freie. Einige Gegenstände fallen herunter. Viele Häuser erleiden leichte nichtstrukturelle Schäden wie Risse und herabfallende kleine Putzstücke.
VII	Schädigend	Die meisten Menschen sind verängstigt und rennen ins Freie. Gebäude erleiden mäßige Schäden: kleine Risse in den Wänden, abfallender Putz, Teile von Schornsteinen stürzen ein; ältere Gebäude können große Risse in den Wänden und den Ausfall von Füllwänden aufweisen.
VIII	Stark schädigend	Vielen Menschen fällt es schwer, zu stehen. Viele Häuser haben große Risse in den Wänden. Gebäude weisen schwerwiegende Schäden an den Wänden auf, während schwache ältere Strukturen einstürzen können.
IX	Zerstörend	Allgemeine Panik. Viele schwache Konstruktionen stürzen ein. Selbst gut gebaute normale Gebäude weisen schwere Schäden auf: schweres Versagen der Wände und teilweises Versagen der Struktur.
X	Sehr zerstörend	Viele gewöhnliche, gut gebaute Gebäude stürzen ein.
XI	Verwüstend	Die meisten gewöhnlichen, gut gebauten Gebäude stürzen ein, selbst einige mit guter erdbebensicherer Konstruktion werden zerstört.
XII	Vollständig verwüstend	Fast alle Gebäude sind zerstört.

Tab. 1: EMS-Skala (Grünthal 1998: 17-20).

Richtiger Magnituden	Einteilung der Erdbebenstärke	Erdbebenauswirkungen
< 2,0	Mikro	Mikro-Erdbeben, nicht spürbar.
2,0 ... < 3,0	Extrem leicht	Generell nicht spürbar, jedoch gemessen.
3,0 ... < 4,0	Sehr leicht	Oft spürbar, Schäden jedoch sehr selten.
4,0 ... < 5,0	Leicht	Sichtbares Bewegen von Zimmergegenständen, Erschütterungsgeräusche, meist keine Schäden.
5,0 ... < 6,0	Mittel	Bei anfälligen Gebäuden ernste Schäden, bei robusten Gebäuden leichte oder keine Schäden.
6,0 ... < 7,0	Stark	Zerstörung im Umkreis bis zu 70 km.
7,0 ... < 8,0	Groß	Zerstörung über weite Gebiete.
8,0 ... < 9,0	Sehr groß	Zerstörung in Bereichen von einigen hundert Kilometer.
9,0 ... < 10,0	Extrem groß	Zerstörung in Bereichen von tausend Kilometern.
≥ 10	Globale Katastrophe	Noch nie registriert.

Tab. 2: Die Richterskala (Bundesverband Geothermie 2022).

2.1.2 Faktoren zur Erdbebenstärke

Bei der Erdbebenentstehung sind unterschiedliche Faktoren relevant, die in diesem Unterkapitel genauer erläutert werden. Das Risikolevel und die Auswirkung der Bodenbewegung verändern sich je nach geologischen, topographischen und hydrologischen Bedingungen (Abb. 9). (Değerliyurt & Özşahin 2013: 42ff, Tudes 2012: 423).

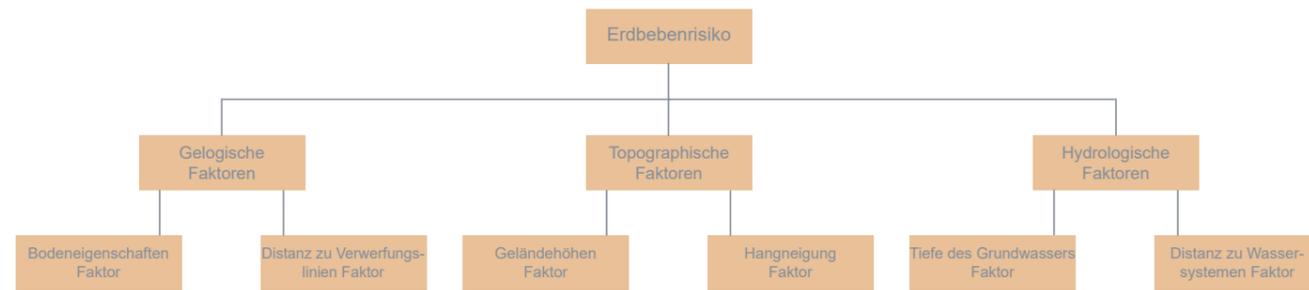


Abb. 9: Parameter und Faktoren, die sich auf das Risiko einer seismischen Gefährdung auswirken (verändert nach Değerliyurt & Özşahin 2013: 36).

Geologische Faktoren

Die Geschwindigkeiten der Erdbebenwellen verändern sich je nach den Eigenschaften des Bodens. Wellen, die durch ein hartes Felsmassiv verlaufen, werden aufgrund der Festigkeit und der lückenlosen Beschaffenheit des Gesteins weniger stark wahrgenommen. Lockere und schwache Böden hingegen sorgen dafür, dass die Wellen stärker wahrgenommen werden, da die Wellen hier deutlich langsamer verlaufen und Hohlräume im Boden füllen (Tudes 2012: 424). Somit ist die Stärke der Bodenbewegungen abhängig von der Art des Untergrundes. Dies ist insbesondere wichtig, da Bodenerschütterungen die eigentliche Gefährdungskomponente sind, die den Schaden an Gebäuden verursachen (Barua et al 2022: 4; Tudes 2012: 424).

Ein weiterer wichtiger geologischer Faktor ist die Distanz zu den Verwerfungslinien. Die Schadensrate in Gebieten, wo Verwerfungslinien verlaufen oder sich in unmittelbarer Nähe befinden, ist im Vergleich zu Gebieten, die weiter entfernt sind, deutlich höher (Değerliyurt & Özşahin 2013: 42; Tudes 2012: 424). Aus diesem Grund gilt, dass ein bestimmter Abstand zu den Verwerfungslinien gehalten werden sollte. Sofern jedoch keine genauen geologischen Studien vorliegen, sollte ein Mindestabstand von 1.000 Meter verwendet werden (Teimouri et al 2018: 120ff).

Topographische Faktoren

Die Schnittstellen zwischen Felsen und Böschungen lassen Erdbebenwellen brechen, wodurch diese an Stärke dazugewinnen. Wenn seismische Wellen auf einen großen Höhenunterschied treffen, können sie reflektiert, gebrochen und fokussiert werden, wodurch die Wellen an Beschleunigung gewinnen können und zudem das Risiko von Hangrutschungen begünstigen (Değerliyurt & Özşahin 2013: 42f; Tudes 2012: 427). Daher sind Hänge und Hügel gefährlicher als flache Gebiete (Meijde & Shafique 2010: 25f). Damit zusammenhängend spielt auch die Hangneigung innerhalb eines Gebietes eine Rolle. Je steiler ein Hang ist, desto stärker wird er bei Bodenbewegungen belastet. Wenn seismische Wellen auf einen Hang treffen, besteht die Gefahr, dass der Hang den Belastungen nicht standhalten kann, was zu Hangrutschungen führen kann (Değerliyurt & Özşahin 2013: 43f; Høeg 2013: 922). Derzeit bestehen hierfür keine genauen Werte, welcher Neigungsgrad am gefährlich-

ten für eine Bodenbewegung ist. Aus diesem Grund werden hier die Daten aus zwei unterschiedlichen Literaturen vorgestellt. Zum einen werden die Werte aus der Literatur von McBride 1999, die als Standard für den amerikanischen mittleren-westlichen Raum sowie von Teimouri et al 2018, die für die Analyse für potenzielle Standorte für die Stadt Estahban (Erdbebenrisikogebiet) verwendet wurde, genutzt (Tab. 3).

Hangneigung in %		Bewertung
0-2	0-5	Sehr gut
2-8	5-10	Gut
8-16	10-15	Moderat
16-24	15-20	Schlecht
24+	20+	Sehr schlecht
McBride 1999: 15	Teimouri et al 2018: 119	

Tab. 3: Bewertung der Hangneigung im urbanen Raum (McBride 1999: 15; Teimouri et al 2018: 119).

Hydrologische Faktoren

Hydrologische Faktoren, wie beispielsweise die Distanz zu Wassersystemen und der Level des Grundwasserspiegels können die Gefahr gegenüber Erdbeben und ihren Kaskadeneffekten, wie beispielsweise Verflüssigung und Erdrutsche (siehe Kapitel 2.1.3), verstärken (Barua et al 2022: 4f; Turoğlu 2004: 65f). Es wird eine Entfernung zu den Wassersystemen von mindestens 50 – 200 Metern vorgeschlagen (Barua et al 2022: 4). Die Wahrscheinlichkeit, dass der Grundwasserspiegel den Effekt von Verflüssigung begünstigt, steigt je nach der jeweiligen Tiefe. In der Tabelle 4 wird beschrieben, dass je näher der Grundwasserspiegel zum Boden ist, desto wahrscheinlicher die Gefahr einer Verflüssigung durch Bodenbewegung ist (Chung & Rogers 2013: 378).

Tiefe des Grundwassers	Wahrscheinlichkeit
<1.4	Hoch
1.5-6.0	Mittel
6.1 -7.3	Niedrig

Tab. 4: Grundwasserspiegel und Wahrscheinlichkeit von Verflüssigung (Chung & Rogers 2013: 378).

2.1.3 Kaskadeneffekte

Erdbeben lösen zudem auch sogenannte Kaskadeneffekte, aus, die zu weiteren Schäden führen können (Bachmann 2002: 8). Erdbebenbedingte Folgen wie Verflüssigung, Brände, Erdbeben, Tsunamis etc. können den durch die Bodenbewegung entstandenen Schaden drastisch erhöhen (Desramaut et al 2013: 224; Tudes 2012: 424).

Verflüssigung ist einer der vielen Folgen, die durch ein Erdbeben entstehen kann. Bei diesem Prozess wird festes Material in halbflüssiges Material verwandelt. Dadurch wird der Boden instabil und auf ihm errichtete Gebäude können zusammenbrechen (Kramer 2013: 629). Der Prozess tritt auf, wenn seismische Wellen in gesättigte körnige Bodenschichten eintreten, ihre körnige Struktur zerstören und anschließend ihre Porenräume zusammenbrechen. Das Zusammenbrechen der Porenräume erhöht den Porendruck im Wasser, wodurch die Scherfestigkeit des Bodens sich verringert. Sobald der Porendruck im Wasser den Punkt erreicht, an dem die Scherfestigkeit des Bodens das Gewicht des überliegenden Bodens nicht mehr tragen kann, fließt der Boden wie eine Flüssigkeit. Eine Verflüssigung kann nur in kohäsionslosen, sandigen Böden auftreten, die mit Wasser gesättigt sind (Barua et al 2022: 4f; Davidson & Shah 1997: 33; Idriss & Boulanger 2008: 1; Kramer 2013: 630f; Tudes 2012: 427).

Ein weiteres Risiko bei Erdbeben ist das Auftreten von Bränden. Feuer durch Erdbeben entstehen vor allem dadurch, dass anhand der Bodenbewegungen potenzielle Zündquellen ausgelöst werden können. Zu diesen potenziellen Zündquellen gehören Gasleitungsbrüche (Desramaut et al 2013: 224), umgekippte Warmwasserbereiter, Kurzschlüsse und verschüttete brennbare Flüssigkeiten. Zudem spielt hier auch das Vorhandensein brennbarer Stoffe und die örtlichen Witterungsbedingungen eine starke Rolle (Davidson & Shah 1997: 34). Bei der Ausbreitung von Bränden spielt auch die Bebauungsdichte, Straßenbreiten und geschlossene Bauweisen eine hohe Rolle, die alle eine Ausbreitung von Feuer begünstigen können (Ferreira et al 2014: 181). Des Weiteren kann die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur, die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung die Ausbreitung des Feuers verstärken (Davidson & Shah 1997: 34).

Tsunamis werden definiert als Gravitationswellen im Meer, die durch eine großflächige, kurzzeitige Störung des Meeresbodens erzeugt werden (Logan 2013: 51). Tsunamis können bei einer Magnitude größer als etwa 8,5 auftreten, wenn diese sich unter dem Ozean befinden. Tsunamiwellen breiten sich mit Geschwindigkeiten von etwa 500 – 1.000 km/h aus und können starke Schäden verursachen (Cassidy 2013: 213ff).

Ein Erdrutsch ist jegliche Art von Abwärtsbewegung unter dem Einfluss der Schwerkraft von einer Masse aus Fels, Sediment, Boden oder künstlicher Aufschüttung (Clague 2013: 594; Høeg 2013: 919). Erdrutsche sind Folgen von Bodenbewegungen, welche dafür sorgen, dass der Hang an Stabilität verliert und unmittelbar durch den Einfluss der Schwerkraft rutscht (Clague 2013: 594, 598). Dabei gilt, je schwächer der Boden gegenüber Erdbeben und steiler der Hang ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines Erdrutschs (Cassidy 2013: 213ff).

2.1.4 Erdbebenprognose

Den Ort und die Zeit von Erdbeben zu prognostizieren würde die Möglichkeit eröffnen, kurzfristige Evakuierungsmaßnahmen zu treffen und die Anzahl an potenziellen Opfern deutlich reduzieren zu können. Jedoch sind die derzeitigen Möglichkeiten, Erdbeben vorherzusagen, stark begrenzt und können derzeit weder die Stärke, den Ort noch den Zeitpunkt eines Bebens bestimmen (Ismail-Zadeh 2013: 229). Als Alternativlösung wird von der Literatur die Etablierung eines Frühwarnsystems vorgeschlagen. Ein Frühwarnsystem ist in der Lage, nach dem Auftreten eines Erdbebens die Bevölkerung einige Sekunden vor dem Eintreffen des Erdbebens in der Stadt zu warnen. Dadurch kann die Bevölkerung sehr kurzfristig Sicherheitsvorkehrungen (ausweichen auf die nächstmögliche Evakuierungsfläche) treffen (Cassidy 2013: 219). Der derzeitige Stand deutet darauf hin, dass Gebäudestandards als auch strategische stadtplanerische Vorgaben und Maßnahmen das wichtigste Kriterium sind, um den Widerstand gegenüber Bodenbewegungen zu erhöhen und die Anzahl an Opfern zu minimieren (WHO 2022: 13).

2.2 Wiederaufbau von Städten

Um einen erfolgreichen Wiederaufbau zu ermöglichen, bedarf es an strategisch geplanten Vorgaben und Maßnahmen. In den folgenden Unterkapiteln sollen das strategische Vorgehen und die Erfahrungen nach sehr großen Erdbebenkatastrophen in den Ländern Haiti, Chile und Japan vorgestellt werden.

2.2.1 Praxisbeispiel Haiti

Am 12. Februar 2010 wurde Haiti von einem Erdbeben der Stärke 7,3 auf der Richter-Skala für 35 Sekunden getroffen (Government of the Republic of Haiti 2010: 6). Das Epizentrum des Erdbebens lag 17 km von der Hauptstadtregion entfernt in der Nähe der Stadt Léogâne (Abb. 10), welche durch das Erdbeben zu 80 % zerstört wurde (ebd.).

Die Hauptstadtregion Port-au-Prince musste ebenfalls große Verluste erleiden. Durch das Erdbeben wurden 105.000 Häuser zerstört und weitere 208.000 so stark beschädigt, dass eine weitere Nutzung für die Bevölkerung nicht sicher war. Zudem wurden 1.300 Bildungseinrichtungen, darunter Schulen und weitere Institute, sowie 50 Krankenhäuser zerstört. Des Weiteren wurden die meisten administrativen Gebäude in der Hauptstadt getroffen. Zu denen gehörten der Präsidentenpalast und die meisten Gebäude der Ministerien, des Parlaments, der Gerichte und der öffentlichen Verwaltung (Government of the Republic of Haiti 2010: 7). Zudem haben 300.000 Menschen ihr Leben durch das Erdbeben verloren und weitere 300.000 Menschen wurden verletzt (ebd.).

Nach dem Erdbeben hat das Land das strategische Konzept „Guide méthodologique. Réduction des risques naturels en zone urbaine en Haïti“ für eine erdbebensichere und katastrophensichere Planung veröffentlicht. Mit dem Ziel, einen Wiederaufbau zu ermöglichen, mit dem das Land in der Lage ist, die Anzahl der Opfer und die Höhe an materiellen Schäden in Zukunft zu minimieren (Ministère de l'Intérieur 2015: 12).



Abb. 10: Lokalisierung Léogâne (Epizentrum) und Port-au-Prince (Hauptstadt) (Eigene Abbildung).

Der Vorsatz war, die Bodennutzung entsprechend ihrer Risikostufen zu kategorisieren. Je nach Boden sollten bestimmte Regelungen vorgegeben werden, wie beispielsweise das Verbot zum Bauen oder nur das Bauen unter bestimmten Voraussetzungen (Bauvorschriften, Schutzmaßnahmen, usw.) in Gebieten mit moderaten Gefahren oder Risiken (République d'Haïti 2015: 7).

Das Konzept besteht aus folgenden Inhalten:

1. Die geographischen und geologischen Verhältnisse unter Berücksichtigung von natürlichen Phänomenen (Überschwemmungen, Erdbeben etc.).

2. Eine Klassifizierung der Bodennutzung, die drei Arten von Zonen unterscheidet.

Ersteres soll den aktuellen Wissensstand mitteilen und die entsprechenden Präventionsmaßnahmen/-vorgaben rechtfertigen. Letzteres soll dabei helfen, diese Präventionsmaßnahmen/-vorgaben entsprechend zu lokalisieren (République d'Haïti 2015: 8f).

Konkret kann die Arbeit der Kartenerstellung wie folgt zusammengefasst werden:

1. Ein Kartentyp für jedes Risiko (Überschwemmung, Erdbeben, Küstenerosion, Verflüssigung, etc.).
2. Eine Karte mit Nutzungsbereichen (dichte städtische Gebiete, ländliche Gebiete, sensible Einrichtungen, Freiraum, etc.).
3. Eine Karte zur Klassifizierung der Flächennutzung (République d'Haïti 2015: 10).

Anhand dieser Karten wurde eine Mikrozonierung durchgeführt. Die Mikrozonierung ist eine Zusammenfassung der lokalen geologischen und topographischen Auswirkungen von seismischen Belastungen innerhalb der Stadt Port-au-Prince. Das Ziel der Mikrozonierung ist, ein einheitliches Sicherheitsniveau für neue und bestehende Bauwerke zu schaffen (République d'Haïti 2015: 109). Die Mikrozonierung lässt sich als Präventionsinstrument, um die stadtplanerische Entwicklung zu lenken und die Verwundbarkeit zu verringern, als Prognoseinstrument, welches gefährliche Zonen lokalisiert und als Informations- und Sensibilisierungsinstrument für die Bevölkerung definieren. Absicht für eine solche Karte war es, ein Dokument zu erstellen, welches alle natürlichen Gefahren und die Inhalte aus den Analysen zusammenfasst (ebd.).

Die direkte Kreuzung der Inhalte erbrachte eine Karte mit unterschiedlichen Risikostufen. Diese wurden in drei Risikozonen, sehr hohes Risiko (rot), hohes Risiko (orange/gelb) und mittleres Risiko (grün) unterteilt (Abb. 11). Jede dieser einzelnen Zonen, die einem bestimmten Risiko ausgesetzt sind, wurden je nach Risikostufe mit unterschiedlichen Regularien abgegrenzt (République d'Haïti 2015: 181). Die Festlegung dieser Regeln in diesen Gebieten dienen der ordnungsgemäßen Nutzung, wobei das Ziel nicht das Blockieren von Bauvorhaben ist, sondern Neubau-Vorhaben in weniger gefährliche Zonen zu lenken (République d'Haïti 2015: 176).

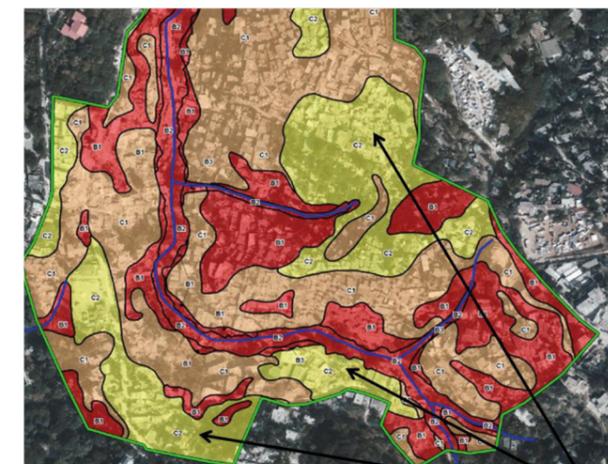


Abb. 11: Zonierung rot, gelb/orange und grün (République d'Haïti 2015: 180).

Das Konzept für den Wiederaufbau von Haiti baut auf der Mikrozonierung auf, welche für die Lokalisierung von Regelungen und Vorschriften, entsprechend der sich aus der Datenanalyse ergebenden Zonierungen, dient. Diese Vorschriften dienen dazu, eine strategische, geplante und erdbebensichere Stadtentwicklung zu gestalten.

Die rote Zone

(1) Die Flächen in den roten Zonen sind einem sehr hohen Risiko ausgesetzt.

Die roten Zonen dienen vorwiegend als Freifläche.

Bauvorhaben sind grundsätzlich nicht gestattet.

Durch natürliche Phänomene zerstörte Gebäude dürfen nicht wiederaufgebaut werden.

(2) Ausnahmsweise zugelassen sind

1. Traditionelle landwirtschaftliche Nutzungen,
2. Betriebe für den öffentlichen Dienst

(République d'Haïti 2015: 181).

Die gelbe/orangene Zone

(1) Die Flächen in den gelben/orangen Zonen sind einem hohen Risiko ausgesetzt.

Die gelbe/orangene Zone dient vorwiegend als Freifläche

Bauvorhaben sind ausschließlich mit einer positiven Bewertung der lokalen Gegebenheiten gestattet und sofern die Errichtung von Sicherheitsmaßnahmen für die Bauvorhaben keine Kaskadeneffekte begünstigen.

Hierfür müssen folgende Studien eingereicht werden:

1. Geologische,
2. Geotechnische,
3. Hydrologische

(République d'Haïti 2015: 182).

Die grüne Zone

(1) Die Flächen in den grünen Zonen sind einem mittleren Risiko ausgesetzt.

Die grüne Zone dient vorwiegend als potenzielles Bauland.

Neubauvorhaben dürfen ausschließlich unter Beachtung der Bauvorschriften errichtet werden.

(2) Beispiele hierzu sind:

1. Keine Ableitung von Regenwasser in den Hang,
2. Erhöhung des Erdgeschosses um 70 cm,
3. Eine maximale Bebauungsdichte auf Grundstücken je nach Art der Bebauung.

(3) Weitere Regelungen werden je nach Nutzungstypus vorgegeben (ebd.).

2.2.2 Praxisbeispiel Chile

Am 27. Februar 2010 wurde Chile von einem schweren Erdbeben (8,8 auf der Richterskala) erschüttert. Durch das Erdbeben und die darauffolgenden Nachbeben entlang der Küste wurde Chile, 30 Minuten nach dem Erdbeben, zusätzlich noch von einem Tsunami getroffen. Laut Berichten wurden die meisten Orte entlang der Küste von drei bis vier Tsunamiwellen erwischt (Lunecke 2016: 21).



Das Epizentrum des Erdbebens befand sich vor der Küste der Stadt Cobquecura (Abb. 12) (Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 12f). Das Erdbeben traf sechs Regionen, wobei drei Großstädte und 900 kleinere Städte getroffen wurden. Insgesamt wurde durch das Erdbeben 75 % der gesamten Bevölkerung des Landes direkt oder indirekt getroffen (Marques 2018: 28). Das Erdbeben forderte das Leben von 521 Menschen und zerstörte dabei unzählige Gebäude und infrastrukturelle Einrichtungen.

Insgesamt wurden mehr als 80.000 Haushalte zerstört und weitere 110.000 Haushalte so stark beschädigt, dass ein sicheres Wohnen nicht mehr gewährleistet werden kann (Lunecke 2016: 21). Insbesondere Einrichtungen, die für den Wiederaufbau essenziell gewesen wären, wurden stark getroffen. Zu diesen gehören Gesundheits- und Bildungseinrichtungen als auch Wasseraufbereitungsanlagen, Telekommunikationsleitungen sowie Elektroleitungen und weitere Einrichtungen (Häfen, Gefängnisse, administrative Gebäude,...) (Platt 2019: 3f; Marques 2018: 28).

Die Katastrophe hat aufgezeigt, dass die Regierung unvorbereitet war. Es gab weder ein Warn- und Evakuierungssystem noch Instrumente der Raumplanung, die die Auswirkungen des Erdbebens und des Tsunamis hätten mildern können (Lunecke 2016: 25). Die unkontrollierte Entwicklung der Städte ohne die Berücksichtigung stadtplanerischer Elemente zur Minderung von Risiken und Katastrophen führte dazu, dass sie stark beschädigt wurden (Miranda 2015).

Nach dem Erdbeben wurde von der UNDP-Chile erste Maßnahmen zur Krisenprävention und der Einrichtung von Notunterkünften gestartet. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurde von der UNDP und mit der Regierung ein Konzept entwickelt, um einen erfolgreichen Wiederaufbau zu ermöglichen (UNDP 2013: 9). Das Konzept „Notfall, Risiko und Wiederaufbau“ des Landes dient als

Abb. 12: Lokalisierung Cobquecura (Epizentrum) & Santiago (Hauptstadt) (Gobierno de Chile 2010g: 4).

Leitfaden für die Reaktion auf Notfallsituationen und gibt Vorgaben zu stadtplanerischen Maßnahmen, um einen erfolgreichen Wiederaufbau der Gemeinschaft und der Städte zu ermöglichen (Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 12f). Dabei zielt das Konzept auf vier Leitthemen ab (Abb. 13):

1. SICHERHEIT

Die Anfälligkeit zu mindern und die Widerstandsfähigkeit der Siedlungen im Falle eines ähnlichen Ereignisses zu verbessern.

2. NACHHALTIGKEIT

Begrenzung der Entwicklung von urbanen Gebieten innerhalb sensibler Gebiete und die Einführung eines Gebäude- und Verkehrssystems.

3. LEBENSQUALITÄT

Die Faktoren für die Verbesserung der Lebensqualität sollen in jedem Masterplan ausgeführt werden.

4. PLATTFORM DER ZUKUNFT

Die Bedingungen für ein erfolgreiches wirtschaftliches Wachstum sollten geplant und geschaffen werden (Platt 2019: 11).

Es ist zu beachten, dass für jede Stadt ein separater zusätzlicher Masterplan entwickelt wurde, abhängig von den Vorgaben des Konzeptes, welches im Rahmen der PRES (Planes de Reconstrucción del Borde Costero) entwickelt wurde (Lunecke 2016: 28). Das vorgestellte Konzept stellte für die Masterpläne folgende Bedingungen vor:

- Die unverzügliche Räumung der Trümmer.
- Abgrenzung der Risikogebiete, in denen das mögliche Wiederauftreten einer Katastrophe problematisch wäre.
- Etablierung von Projekten zur Minderung der Risiken und zum Schutz der Bevölkerung.
- Überwachung der Gebiete mit sehr hohem Risiko; Verbot von dauerhaften Nutzungen in diesen Gebieten (Gobierno de Chile 2010: 118).

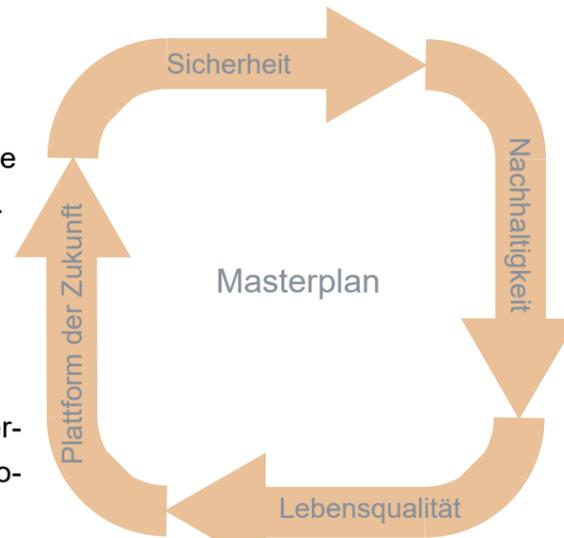


Abb. 13: vier Leitthemen für das Konzept Chile (verändert nach Gobierno de Chile 2010a: 10).

Die Masterpläne integrieren diese Vorgaben und fügen sie in Form von Projekten und Maßnahmen innerhalb ihrer städtischen Grenzen ein. Im Folgenden sollen einige Projekte aus den Wiederaufbauplänen der Städte Tubul, Talcahuano und Isla Santa Maria, die einen Bezug auf katastrophensensible Stadtplanung haben, vorgestellt werden.

Masterplan Tubul

Der Masterplan der Stadt Tubul (Abb. 14, 15) sieht unterschiedliche Maßnahmen vor: Es werden unter anderem zwei Aussichts- und Treffpunkte im Falle einer Katastrophe vorgeschlagen. Gleichzeitig sollen diese Aussichtspunkte auch als Erholungs- und Besichtigungsräume dienen. Zudem werden im Projekt bestimmte Einrichtungen, wie Feuerwehr und Polizeistationen in sichere Zonen verlagert. Zudem sieht der Plan zwei Hauptevakuierungsrouten vor, die zu den vorhergenannten Aussichtspunkten führen sollen. Die Evakuierungsrouten verlaufen entlang der am stärksten besiedelten Wohngebiete (Gobierno de Chile 2010b: 27).



Abb. 14: Masterplan Tubul: territoriale Strategie für öffentlichen Raum und Ausstattung (Gobierno de Chile 2010b: 22).

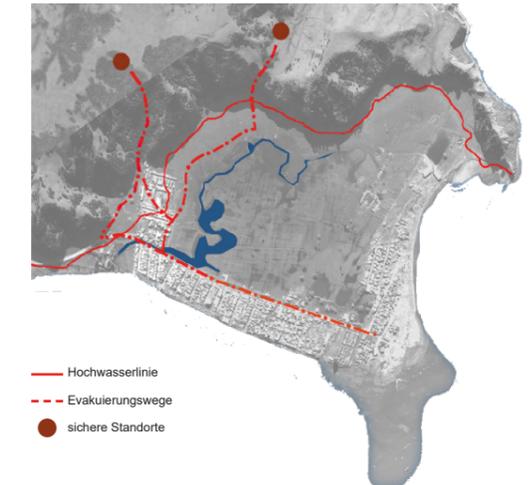


Abb. 15: Masterplan Tubul: Evakuierungswege (Gobierno de Chile 2010b: 27).

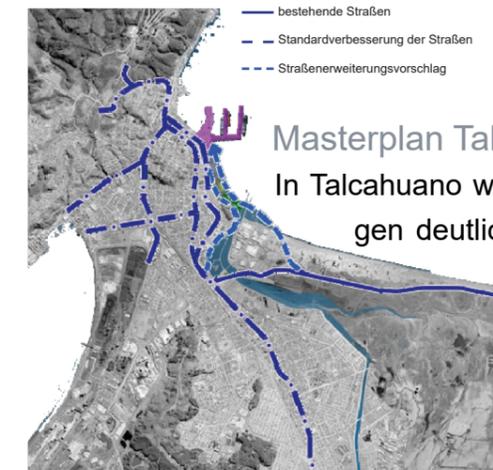


Abb. 16: Masterplan Talcahuano: Verkehrs- und Mobilitätsstrategie (Gobierno de Chile 2010c: 23).

Masterplan Talcahuano

In Talcahuano wurde durch die Katastrophe der Mangel von Straßenanbindungen deutlich. Die Küstenstadt selbst hatte nur eine einzige Zufahrtsstraße, die in die Stadt führte. Diese sollte nun durch weitere und breitere Straßen ergänzt werden. Ziel war es, ein integriertes Straßensystem zu entwickeln das im Falle von Katastrophen auch als Evakuierungsnetz dienen kann (Abb. 16) (Gobierno de Chile 2010c: 22, 27).

Masterplan Isla Santa Maria

Der Mangel an möglichen Mobilitätsalternativen brachte die Insel Santa Maria dazu, einen Radweg zu etablieren, welcher entlang der gesamten Insel führt (Abb. 17). Der Radweg soll zum einen für den täglichen Gebrauch, aber auch als schneller Evakuierungsweg zu den Evakuierungsorten dienen. Die Radwege haben eine konstante Breite von einem Meter und wurden mit Kopfsteinpflaster errichtet (Gobierno de Chile 2010a: 26).

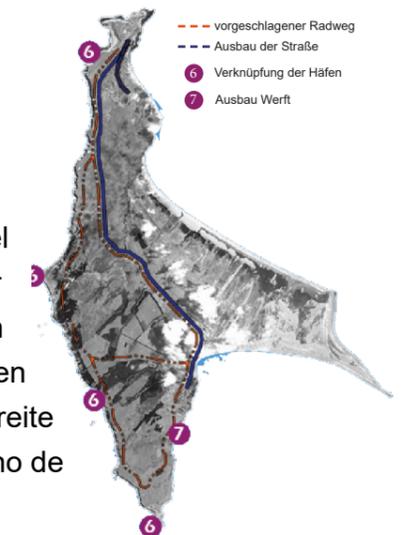


Abb. 17: Masterplan Isla Santa Maria: Mobilitäts- und Verkehrsstrategie. Fahrradweg (Gobierno de Chile 2010a: 25).

Unabhängig von den Projekten der Wiederaufbaupläne der Städte wurden vom Konzept auch weitere Themen, basierend auf den Erfahrungen nach dem Erdbeben, herausgearbeitet. Zu diesen Themen gehören Trümmerbeseitigung, Identifizierung von Gefahrenorten, temporäre Unterkünfte und Gesundheit. Dabei sollen die einzelnen Themenbereiche genauer betrachtet und die damit zusammenhängenden Maßnahmen untersucht werden.

Aufgrund von Trümmern auf den Verkehrswegen gab es nach der Katastrophe nur die Möglichkeit, zu Fuß oder mit dem Fahrrad durch die Stadt zu fahren. Erfahrungen hierzu haben gezeigt, dass vordefinierte Standorte für die Lagerung von Trümmern die Beseitigung beschleunigten. Die schnelle Beseitigung der Trümmer und somit die Verkehrsflächen wieder befahrbar zu machen, würde die Effektivität von Rettungs- und Evakuierungsmaßnahmen erhöhen (Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 63).

Aufgrund der Katastrophe wurden viele Gesundheitseinrichtungen zerstört. Dadurch kam die Regierung zum Entschluss, dass der Verlust an Gesundheitseinrichtungen ausgeglichen werden muss. Hierfür wurden einige medizinische Werkzeuge und Artikel an potenziellen Evakuierungsorten gelagert. Zusätzlich wurde an diesen designierten Orten zusätzliche Räumlichkeiten für medizinische Versorgung bereitgestellt, sogenannte „leichte Krankenhäuser“ (UNDP 2013: 27).

Durch die Katastrophe wurden viele Wohnunterkünfte zerstört. Um die Menge an Menschen unterzubringen, wurden unterschiedliche Herangehensweisen beschlossen. Neben den aufgestellten temporären Zeltlagern wurden für langfristig Betroffene zusätzliche temporäre Unterkünfte aus Holz errichtet (Abb. 18). Diese temporären Unterkünfte wurden auf offene Freiflächen verteilt in der Stadt platziert. Die einzelnen Camps umfassten jeweils 250 – 500 dieser 18 m² großen Holzunterkünfte. Innerhalb der Camps wurden diese mit zusätzlichen Hygiene- Einrichtungen ergänzt.



Abb. 18: Temporäre Unterkunft Chile (verändert nach Wagemann 2017: 834).

Nach der Katastrophe gab es einige Familien, die diese Unterkünfte in ihre neu errichteten Wohngebäude integriert hatten (Abb. 19) (Platt 2019: 4; Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 54f).

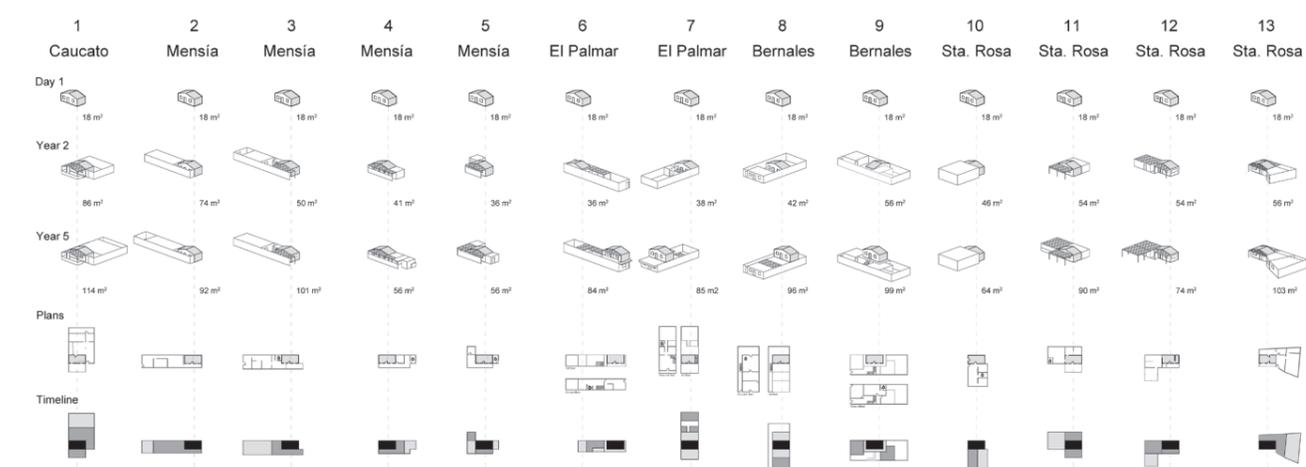


Abb. 19: Modifizierte temporäre Unterkünfte in Chile (Wagemann 2017: 838).

Die Weitergabe von Informationen bezüglich des Eintretens von Katastrophen, von Gefahrenorten und von gesperrten Durchfahrten spielt für eine erfolgreiche Evakuierung und für die Möglichkeit, kurzfristige Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, eine wichtige Rolle (UNDP 2013: 27). In Chile wurden hierfür unterschiedliche Maßnahmen getroffen. Zum einen wurden Frühwarnzentren an strategischen Standorten innerhalb von Gemeinden platziert, um den Informationsfluss und die Entscheidungsfindung während des Katastrophenfalles zu optimieren (Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 93). Zusätzlich wurden in Einrichtungen des öffentlichen Dienstes und an Evakuierungsorten UHF-Funkgeräte bereitgestellt. Diese sind wichtig, um selbst während eines Erdbebens die Telekommunikation aufrecht zu erhalten (ebd.). Zudem wurde entschieden, dass insbesondere auf offenen Freiflächen, die als Evakuierungsorte dienen, Notbeleuchtungen installiert werden sollten, sodass die Flächen während einer Katastrophe (auch bei Nacht) als sicherer Treffpunkt wahrgenommen werden können (Ilustre Municipalidad de Talcahuano 2013: 96).

Das Konzept und die einzelnen Wiederaufbaupläne zeigen, dass das Land versucht, aus den Erfahrungen zu lernen und entsprechende Maßnahmen in Form von Projekten zu entwickeln und umzusetzen. Dabei greift insbesondere das Konzept aus den Erfahrungen und aus den erlernten Defiziten, während die Wiederaufbaupläne die Inhalte aus dem Konzept in den lokalen Kontext integrieren.

2.2.3 Praxisbeispiel Japan

Insbesondere Japan ist aufgrund seiner geographischen Lage stark von Erdbeben betroffen. Das Land liegt auf der Verwerfungslinie von vier tektonischen Platten, wodurch die Wahrscheinlichkeit besonders hoch ist von Erdbeben getroffen zu werden (Bellgardt & Marquart 2014: 164). Ein Beispiel dafür war ein Beben bei der Hafenstadt Kobe (Abb. 20) (Koller et al 1995: 258).

Die Stadt Kobe wurde am 17. Januar 1995 von einem Erdbeben der Stärke 7.2 auf der Richterskala getroffen (Koller et al 1995: 259). Aufgrund der Kaskadeneffekte des Erdbebens und der geologischen lokalen Bedingungen der Stadt wurde durch den Prozess der Verflüssigung unter anderem der Hafen (Chang 2000: 53) und 30 % der Gebäude zerstört oder stark beschädigt (Koller et al 1995: 258). Darüber hinaus führte der Verlust der Stabilität des Bodens zu etlichen Brüchen, wodurch Gasleitungen zerstört wurden, und Feuer ausbrachen. Die grundlegenden Probleme in den Wohngebieten waren weiche, erdbebengefährdete Böden, gefährliche Gebäudemerkmale wie Anbauten, Mehrfamilienhäuser und ältere Gebäude, ungeplante Bebauung, die zu engen Straßen und Sackgassen führte, wodurch die Anzahl an möglichen Evaku-



Abb. 20: Lokalisierung Kobe (Eigene Abbildung).

ierungswegen sehr eingeschränkt war (Saracoğlu 2015: 265). Zudem wurden viele Freiflächen aufgrund der rapiden ungeplanten Entwicklung zugebaut, wodurch der Platz für temporäre Unterkünfte und Flächen für die Entsorgung der Trümmer fehlten (Mitsui 2022: 153).

Die Auswirkungen des Erdbebens haben gezeigt, dass Japan unvorbereitet war. Aus diesem Grund wurde ein Konzept entwickelt, welches Informationen und Vorschriften zur Verbesserung der Sicherheit vor großen Erdbeben und anderen Naturkatastrophen beinhaltet. Ziele des Konzeptes ist es, die technischen Kapazitäten für die Bereitstellung katastrophensensibler Verkehrs-, Kommunikations- und Infrastrukturen zu verbessern, Normen für die Planung öffentlicher Bauvorhaben einzuführen und die Erdbebensicherheit von Gebäuden zu fördern (Saracoğlu 2015: 265).

Als Literaturgrundlage wird das Konzept von Mitsui 2022 verwendet. In diesem werden die Ansätze, Ziele, Schritte und technischen Voraussetzungen für die erdbebenresiliente Stadtplanung in Kobe erläutert. Eine erste Auflage zur erdbebensicheren Stadtplanung wurde 1963 erstellt und nach dem Erdbeben im Kobe revidiert und entsprechend angepasst (Saracoğlu 2015: 264). Plan des Konzeptes war es, eine städtische Struktur zu schaffen, die eine rasche Evakuierung und einen schnellen Wiederaufbau begünstigt (Mitsui 2022: 309).

Im Konzept werden Evakuierungsorte entsprechend ihrer Größe und ihrer Funktion differenziert und kategorisiert (Tab. 5). (Mitsui 2022: 160-163). Die Idee dahinter ist, dass Evakuierte zunächst zu Orten in ihrer unmittelbaren Umgebung flüchten und anschließend in größere Unterkünfte umgeleitet werden. Das System wird als zweistufiger Evakuierungsansatz bezeichnet, wobei die erste Stufe die Bürger in „temporäre lokale Evakuierungsgebiete“ und anschließend in „regionale Evakuierungsgebiete“ evakuiert werden (Mitsui 2022: 164).

Um Evakuierungsorte auszuweisen, bedarf es vordefinierte Kriterien. Zudem muss die Anzahl an möglichen Orten für die gesamte Bevölkerung gedeckt werden. Um die Menge an Personen zu schätzen, damit passende lokale Orte als Evakuierungsorte designiert werden können, wird die Zahl der lokalen Bevölkerungsdichte verwendet. Außerdem muss der verfügbare Platz pro Person 1 m² betragen (Mitsui 2022: 166). Hinzu kommt, dass Freiflächen entweder auf freien Flächen oder in der Umgebung feuerresilienter Bebauung errichtet werden sollten (Mitsui 2022: 166).

Insbesondere Bildungseinrichtungen wie Schulen, Universitäten und andere Einrichtungen können aufgrund ihrer Räumlichkeiten und ihrer Lage als potenzieller Evakuierungsorte dienen. Zudem sind Schulen in Nachbarschaften von den Bewohnern aufgrund von Events oder eigener Verwandtschaften, die die Bildungseinrichtung besuchen, bekannt (Mitsui 2022: 159). Zusätzlich können die Hofflächen von Schulen auch als mögliche Erweiterungsflächen für Evakuierte dienen. Insbesondere Schulhofflächen, die offen sind und keine Risiken oder Gefahren aufweisen, können für temporäre Unterkünfte genutzt werden (Mitsui 2022: 167).

Temporäre Unterkünfte werden als „vereinfachtes Wohnen“ definiert. Im Gegensatz zu Evakuierungsunterkünften, in denen es keine eigenen Räumlichkeiten gibt, bieten temporäre Unterkünfte eigene Räumlichkeiten, inklusive gemeinsame oder privater Hygieneeinrichtungen an (Mitsui 2022:

Art	Größe (ha)	Radius	Nutzungen	Funktion
Evakuierungsort	0,05 oder mehr	0,5 km	Schulen, Parks, Außenstellen des Bezirksamts	Ein Treffpunkt, ein Raum für den Informationstransfer für Familien und Nachbarn während der Evakuierung.
Primäre Evakuierungszone	Ca. 1	0,5 km	Schulen	Ein Treffpunkt, ein Raum zum Warten und zur Informationsweitergabe für allgemeine Evakuierungen.
Offener Raum zum Warten	2-3	0,5 km	Parks, begrünte Flächen, Freiflächen, Spielplätze, Wohnsiedlungen, Schulen, Wohnungen für Regierungsbedienstete, öffentliche Einrichtungen, religiöse Gebäude, Parkplätze	Ein Sammelpunkt und ein Raum für den Informationstransfer für die allgemeine Evakuierung, Raum für den Umgang mit Evakuierungshindernissen.
Sammelevakuierungsbereich	2-3	10 ha Raum (176 m)	Parks, begrünte Flächen, Freiflächen, Spielplätze, Wohnsiedlungen, Schulen, Wohnungen für Regierungsbedienstete, öffentliche Einrichtungen, religiöse Gebäude, Parkplätze	Ein Sammelpunkt und ein Raum für den Informationstransfer für die allgemeine Evakuierung, Raum für den Umgang mit Evakuierungshindernissen.
Evakuierungszentrum	2-3	10 ha Raum (176 m)	Parks, begrünte Flächen, Freiflächen, Spielplätze, Wohnsiedlungen, Schulen, Wohnungen für Regierungsbedienstete, öffentliche Einrichtungen, religiöse Gebäude, Parkplätze	Endgültiges Evakuierungsgebiet für sozial benachteiligte Menschen, Bereitschaftsraum für Erste-Hilfe-, Brandbekämpfungs- und Sicherheitspersonal.
Regionaler Evakuierungsbereich	25 oder mehr	2-4 km	Parks, begrünte Flächen, Freiflächen, Flussufer, Schulen, Spielplätze, Löschwasserversorgung, Vorratslager	Zentrum für Hilfs- und Wiederherstellungsmaßnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden, Sicherstellung der Sicherheit drei Stunden nach dem Auftreten eines Erdbebens und ab diesem Zeitpunkt.
Zentrum für Katastrophenmanagement	50-100	1-2 km	Parks, begrünte Flächen, Freiflächen, Flussufer, Schulen, Spielplätze, Löschwasserversorgung, Vorratslager	Zentrum für Hilfs- und Wiederherstellungsmaßnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden, Sicherstellung der Sicherheit drei Stunden nach dem Auftreten eines Erdbebens und ab diesem Zeitpunkt.

Tab. 5: Evakuierungsorte nach Japan (verändert nach 2022: 160-163).

186). Erfahrungen haben gezeigt, dass temporäre Unterkünfte am sinnvollsten sind, wenn diese in großer Zahl errichtet, diese auf Eigentum des Staates gebaut und einen barrierearmen Zugang für Senioren und behinderte Menschen aufweisen (Mitsui 2022: 188). Die unbestimmte Zeit, wie lange die Bevölkerung in diesen Unterkünften verweilen muss, macht es umso wichtiger, dass diese Unterkünfte mit notwendigen Einrichtungen ausgestattet werden sollten. Hier werden im Konzept die Installation von Klimaanlage, Schalldämmung, Außenanlagen wie Sicherheitsbeleuchtung, kostengünstige Straßenbeläge, Entwässerungsanlagen sowie Gemeinschaftseinrichtungen und Gemeinschaftsräume vorgeschlagen (Mitsui 2022: 186ff).

Durch den Bau breiter Fernstraßen können einzelne Stadtbezirke unterteilt werden, um den Ausbruch von Bränden zu verhindern (Mitsui 2022: 307). Entlang dieser Straßen können Gebäude mit feuerfesten Eigenschaften (Baumaterial, Abstandsflächen) errichtet werden (Mitsui 2022: 306f). Jeweils zu Beginn dieser Fernstraßen sollten zudem Werbeanlagen aufgestellt werden, die dazu dienen, die Bevölkerung außerhalb von Risikozonen zu informieren (Mitsui 2022: 51). Außerdem soll der Ausbau von Straßennetzen die Möglichkeit aufweisen, die Menge an potenziellen Evakuierungsrouten zu erweitern (Mitsui 2022: 309).

Um Planung von potenziellen Evakuierungsrouten so effektiv wie möglich zu gestalten, wurden die Routen nach ihrer Art, ihrer Breite und Nutzung kategorisiert (Tab. 6) (Mitsui 2022: 160-163). Weitere Evakuierungsrouten können durch einen Ausbau der Straßenzüge entstehen (Mitsui 2022: 309).

Erfahrungen mit den Erdbeben haben gezeigt, dass die meisten Geflüchteten einen Evakuierungsort von bis zu 700 Meter aufsuchten. Einige sind aufgrund der fehlenden Information, dass einige Bereiche in ihren Gebieten auch als Evakuierungsorte dienen, bis zu 1.900 Meter geflüchtet (Mitsui 2022: 183). Vom Konzept kann dadurch erschlossen werden, dass, wenn die Information besteht, die Bevölkerung dazu tendiert, eher Orte aufzusuchen, die in der Nähe ihres ursprünglichen Wohnortes liegen (Mitsui 2022: 182).

Art	Straßennbreite in Meter	Nutzungen	Funktion
Lokale Evakuierungsrouten			Fußweg
Evakuierungsstraße	15	Brandschutzmaßnahmen auf beiden Seiten der Straße werden empfohlen.	Sicherstellung der Evakuierungssicherheit.
Haupt-Evakuierungsrouten	30-50	Beide Seiten der Straße werden brandsicher gestaltet und in Hochhäuser umgebaut. Ein Fußgänger- und Fahrradweg auf einer Straßenseite (10 m).	Sicherstellung der Evakuierungssicherheit.
Spezielle Evakuierungsrouten	20 oder mehr	Feuerschutz auf beiden Seiten der Straße Wasserversorgung für die Brandbekämpfung Sicherheitsvorkehrungen für Evakuierte.	Unbefugten Fahrzeugen ist die Einfahrt untersagt. Sicherstellung der Evakuierungssicherheit.
Mehrere Evakuierungsrouten	5-10	Straßen, die mit einem Abstand von 100-150 Meter parallel zueinander verlaufen.	Sicherstellung der Evakuierungssicherheit.

Tab. 6: Evakuierungswege nach Japan (verändert nach Mitsui 2022: 160).

Bestimmte Einrichtungen wie Krankenhäuser und andere Gesundheitseinrichtungen müssen strategisch so platziert werden, dass ein großes Einzugsgebiet abgedeckt werden kann (Mitsui 2022: 306f). Diese Einrichtungen dienen als Basis für Notfalleinsätze nach einer Katastrophe und benötigen dementsprechend zusätzliche Sicherungen und Vorgaben. Ein Beispiel hierzu ist die Erweiterung der Fläche für Hubschrauberlandeplätze. Es soll die Möglichkeit gegeben sein, kurzfristig bei überfüllten Kapazitäten Patienten auch außerhalb der Risikozonen unterbringen zu können (Mitsui 2022: 306f & 363).

Weitere Einrichtungen wie Polizeistationen, Feuerwachen, lebenswichtige Einrichtungen und Rundfunkanstalten (Mitsui 2022: 307) sollten ebenfalls strategisch und mit zusätzlichen Qualitäten errichtet werden. Insbesondere lebenswichtige Einrichtungen für die Versorgung sollten in der Nähe eines geplanten Zentrums für eine effektive Verteilung der Ressourcen platziert werden (Mitsui 2022: 306f).

Um weiteren Risiken vorzubeugen und um das städtische Zentrum zu entlasten, wird vom Konzept eine polyzentrische Planung vorgeschlagen (Mitsui 2022: 308). Dabei sollen diese neuen Zentren als sogenannte Versorgungszentren dienen. Die Versorgungszentren sollen dabei Funktionen übernehmen wie die Koordination von Evakuierungen und das Verteilen von Hygieneartikeln. Sie sollen ebenfalls als zentraler Punkt für den Wiederaufbau dienen (Mitsui 2022: 306f). Zusätzlich sollen diese Zentren mit lokalen Evakuierungsorten vernetzt werden, um Informationen und Ressourcen für die Bevölkerung bereitstellen zu können (Mitsui 2022: 306f). Ziel ist es, dass jedes Quartier ein designiertes Versorgungszentrum hat, das das Quartier während einer Katastrophe versorgen kann (Mitsui 2022: 308).

Zusätzlich zu den Vorkehrungen und Empfehlungen wurde ein Katastrophenschutz- und Stadtentwicklungsplan konzipiert. Der Inhalt dieses Plans beschreibt die städtebauliche Vorgehensweise. Dabei sollen zukünftige Straßenwege und Baufelder in Form eines Schachbrettmusters errichtet werden. Zudem sollen die einzelnen Baufelder von Brandschneisen umgeben werden. Mit diesem System soll das Feuer im Falle eines großen Erdbebens eingedämmt werden. Zusätzlich sollen die vorher erwähnten Fernstraßen entlang der Grenze einer solchen katastrophenvorbeugenden Zone verlaufen, um als eine zusätzliche Brandschutzschneise zu dienen und um die Katastrophenvorsorge zu verbessern (Abb. 21). (Mitsui 2022: 304).

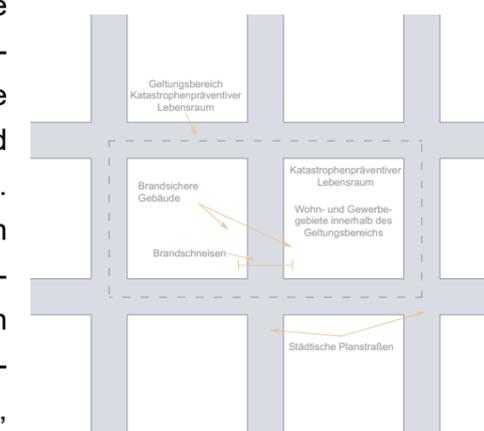


Abb. 21: Modell einer Katastrophenzonierung (verändert nach Mitsui 2022: 304).

In der Detailansicht kann eingesehen werden, dass jedes dieser Baufelder von einer 5 – 14-geschossigen Blockbebauung umschlossen wird. Im Zentrum dieser Baufelder soll eine weniger als 1 ha große Freifläche (Innenhof) geschaffen werden, die im Falle eines Brandfalls oder Erdbebens als kurzfristiger Evakuierungsbereich dienen kann (Abb. 22). (Mitsui 2022: 304).



Abb. 22: Detailansicht Baufeld (verändert nach Mitsui 2022: 331).

Das Konzept verdeutlicht, dass traditionelle Stadtplanungsmaßnahmen nicht ausreichen, um eine katastrophensichere Stadt zu errichten. Maßnahmen wie die Anpassung der Straßenzüge zu Evakuierungswegen, die Schaffung von mehreren Zentren sowie die optimale Platzierung von feuer- und erdbebenresilienten Strukturen haben gezeigt, dass viele Faktoren und Maßnahmen nötig sind, um eine erdbebenresiliente Stadt gestalten zu können (Mitsui 2022: 355).

2.3 Weitere Ansätze, Konzepte & Maßnahmen

Unabhängig von den drei Praxisbeispielen sollen hier weitere Konzepte und Ansätze von wissenschaftlichen Arbeiten und Ländern in Kurzform vorgestellt werden. Diese sollen weitere Impulse und Maßnahmen aufzeigen, um den Zwischenstand aus den Praxisbeispielen zu ergänzen und den theoretischen Hintergrund zu erweitern.

2.3.1 Bodenklassifikation

Die Geschwindigkeit von Erdbebenwellen hängt sehr stark von den lokalen Bodenbedingungen ab (siehe Kapitel 2.1.2). Hier wird zwischen hartem Stein, Stein, Böden mit hoher Dichte und weichem Stein, steifen Böden und weichen Böden unterschieden. Dabei gilt, je niedriger der Wert der Scherwellengeschwindigkeit, desto stärker ist die lokale Bodenbewegung (Davidson & Shah 1997: 72). Die Tabelle dient als abstrakte Zusammenfassung von Böden und Gesteinen (Tab. 7).

Name	Beschreibung	Scherwellengeschwindigkeit (m/s)	
		Minimum	Maximum
A	Hartes Gestein	1500	
B	Gestein	760	1500
C	Sehr dichter Boden und weiches Gestein	360	760
D	Steife Böden	180	360
E	Weiche Böden		180

Tab. 7: Bodenklassifizierung nach Erdbeben-Katastrophen-Index (verändert nach Davidson & Shah 1997: 72).

Da sich das Untersuchungsgebiet in der Türkei befindet, wird hier zusätzlich die Boden-Klassifizierung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten und Siedlungswesen der Türkei (Tab. 8) herangezogen (Ministry of Public Works and Settlement Turkey 2007: 30).

Name	Beschreibung	Scherwellengeschwindigkeit (m/s)	
		Minimum	Maximum
A	1. massives Vulkangestein, unverwitterter Ton metamorphe Gesteine, steife zementierte Sedimentgesteine 2. Sehr dichter Sand, Schotter, ... 3. Harter Ton, schluffiger Lehm, ...	>1000 >7000 >700	
B	1. Weiche vulkanische Gesteine wie Tuff und Agglomerat, verwitterte zementierte Sedimentgesteine mit Diskontinuitätsebenen, ... 2. Dichter Sand, Kies, ... 3. Sehr steifer Ton, schluffiger Ton, ...	700 400 300	1000 700 700
C	1. Stark verwitterte weiche metamorphe Gesteine und zementierte Sedimentgesteine mit Diskontinuitätsebenen 2. Mittelschwerer Sand und Kies, ... 3. Steifer Ton, schluffiger Ton, ...	400 200 200	700 400 300
D	1. Weiche, tiefe Schwemmschichten mit hohem Grundwasserspiegel 2. Lockerer Sand, ... 3. Weicher Ton, schluffiger Ton, ...		<200 <200 <200

Tab. 8: Bodenklassifizierung nach Vorgaben des Ministeriums für öffentliche Arbeiten und Siedlungswesen der Türkei (verändert nach Ministry of Public Works and Settlement Turkey 2007: 30).

2.3.2 Frühwarnsystem

Auch wenn es derzeit keine Möglichkeit gibt, Erdbeben vorherzusagen (Cassidy 2013: 218), geben Frühwarnsysteme zumindest die Möglichkeit, kurzfristige Sicherungsmaßnahmen zu treffen (Abb. 23). Ein gut funktionierendes Frühwarnsystem kann durch verbundene Sirenen die Bevölkerung warnen, sodass die Anzahl von Opfern verringert werden kann. Die Sirenen müssen entsprechend ihrer Lautstärke an strategischen Orten platziert werden, sodass der gesamte Stadtbereich abgedeckt ist. Die Anzahl und Platzierung dieser variiert nach Art und Qualität und müssen entsprechend vor Katastrophen regelmäßig kontrolliert und getestet werden (Nadim 2013: 682f).



Lassen Sie sich bei Erdbeben auf den Boden fallen, gehen Sie unter einem stabilen Tisch in Deckung und halten Sie sich daran fest, damit er sich nicht von Ihnen wegbewegt. Warten Sie dort, bis das Beben aufhört.



Wenn Sie sich in einem strukturell soliden Gebäude befinden, bleiben Sie dort. Wenn Sie sich in einer alten, schwachen Struktur befinden, nehmen Sie den schnellsten und sichersten Weg nach draußen.

Keine Aufzüge benutzen. Nehmen Sie stattdessen die Treppe, um den freien Raum zu erreichen.



Eilen Sie nicht zum Notausgang. Geraten Sie nicht in Panik, sondern bleiben Sie ruhig und ergreifen Sie die notwendigen Maßnahmen.

Entfernen Sie sich von Stromleitungen, Pfosten und anderen Elementen, die umfallen oder einstürzen könnten. Halten Sie sich von Gebäuden mit Glasscheiben fern.



Wenn Sie sich an einem steilen Hang befinden, entfernen Sie sich im Falle von Erdrutschen und Steinschlag. Beim Führen eines Fahrzeugs an den Straßenrand fahren und anhalten.

Versuchen Sie nicht, Brücken/Überführungen zu überqueren, die beschädigt sein könnten.



Abb. 23: Was während eines Erdbebens zu tun ist (verändert nach Arya 2012: 11).

2.3.3 Mobilität

In einigen Bereichen einer Stadt können aufgrund bestimmter Faktoren die vorgegebenen Maße für Evakuierungswege aus dem Kobe Konzept nicht unbedingt umgesetzt werden, und zwar, wenn es sich um Bestandsbebauung mit kultureller oder historischer Bedeutung handelt. Auch wenn diese Straßen nicht als designierte Evakuierungswege dienen können (aufgrund der nicht erfüllten Vorgaben), sollten dennoch bestimmte Mindestvorgaben bestehen, auch wenn es zu Änderungsmaßnahmen (Abriss, Rückbau) kommen würde. Die Mindestvorgabe entlastet die Bereiche mit sehr engen Straßen und dient dazu, um an die vordefinierten Evakuierungswege anzuschließen, sodass diese Wege so kurz wie möglich sind. Das Mindestmaß ergibt sich aus dem Evakuierungskonzept der Stadt Dhaka aus dem Jahr 2008. Die Mindestbreite für Evakuierungswege/-straßen ergibt sich aus der Breite eines Feuerwehrfahrzeugs und der Breite eines zusätzlichen Kraftfahrzeugs, Dabei wird gewährleistet, dass Rettungsmaßnahmen bei einer Katastrophe in jedem Bereich der Stadt durchgeführt werden können (Reja et al 2008: 667).

Zusätzlich zu den Vorgaben für Mobilitäts- und Straßenmaßnahmen werden von der WHO weitere Empfehlungen vorgegeben. Die WHO unterstützt die Förderung von Mobilitätsalternativen. Die Menge an privaten Fahrzeugen führt oft dazu, dass Evakuierungswege bei einer Katastrophe überbelastet und Rettungsmaßnahmen somit nur eingeschränkt durchführbar sind. Die Förderung öffentlicher Verkehrsmittel würde gleichzeitig die Abhängigkeit von privaten Fahrzeugen reduzieren, den Zugang zu Evakuierungsorten deutlich erleichtern und die für Rettungsmaßnahmen erforderliche Zeit verringern (WHO 2022: 35).

2.3.4 Gebäudestandards

Die Gefahr, dass Gebäude die Bodenbewegung nicht aushalten und dabei einstürzen, ist vor allem bei Gebäuden mit schlechter Bauqualität der Fall (Kovats et al 2014: 39). Im Folgenden sollen auf bestimmte Bereiche des erdbebensicheren Bauens eingegangen werden. Zu den Bereichen gehören die Grundrissgestaltung und eine Rangtabelle für bestimmte Gebäudegruppen/-nutzungen, die in Erdbebenrisikogebieten zusätzliche Schutzvorgaben erfüllen sollen. Die Vorgaben für Gebäudestandards stützen sich stark auf die Literatur von Bachmann 2002 und den Eurocode 8. Der Eurocode 8 wird als Planungsgrundlage für das erdbebensichere Bauen innerhalb von Erdbebenrisikogebieten im europäischen Raum verwendet. Es ist hier zu beachten, dass diese Vorgaben Empfehlungen sind. Lokale Bedingungen können weitere und deutlich strengere Vorgaben benötigen.

Bei der Gestaltung von Grundrissen innerhalb von Erdbebenrisikogebieten muss sowohl das Massen- und das Steifigkeitszentrum betrachtet werden. Das Steifigkeitszentrum ist der Schubmittelpunkt in einem bestimmten Stockwerk, während das Massenzentrum der Angriffspunkt der Summe der Trägheitskräfte in den darüber liegenden Stockwerken ist (Bachmann 2002: 90). Hier gilt, je näher das Steifigkeits- und Massenzentrum sind, desto weniger wird das Gebäude belastet (ebd.). Bei Gebäuden, wo beide Zentren nah oder im bestenfalls aufeinanderliegen, führen Bodenbewegungen oft nur zur parallelen Verschiebung der Gebäude. Bei Gebäuden, wo dies nicht der Fall ist, führen Bodenbewegungen entweder zur starken Verschiebung bis zu einer Verdrehung um die eigene Achse (Meskouris et al 2011: 276).

In der Abbildung 24 werden ungünstige und günstige Verteilungen der Tragelemente mit dem Steifigkeitszentrum S und Massenzentrum M vorgeschlagen (Abb. 24) (Bachmann 2002: 90). Um eine einfache Anordnung der Zentren zu gewährleisten, sollten möglichst symmetrische Grundrisse gestaltet werden (Bachmann 2002: 88; European Committee for Standardisation 2004: 46).

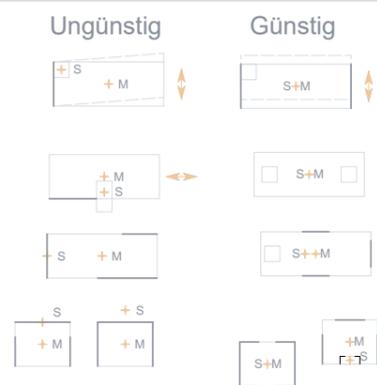


Abb. 24: Massen- und Steifigkeitszentrum (verändert nach Bachmann 2002: 90).

Der Eurocode 8 für erdbebensicheres Bauen kategorisiert bestimmte Nutzungen nach ihrer Wichtigkeit. Insbesondere Gebäude mit hohen Kategoriestufen müssen oberste Priorität aufweisen, erdbebensicher errichtet worden zu sein. Der Eurocode 8 sieht dementsprechend mehr bauliche Voraussetzungen zu den Nutzungen in den höheren Kategorien vor. So müssen weitere seismisch resistente Voraussetzungen erfüllt werden, sodass der Bauantrag genehmigt werden kann. Die Tabelle unterteilt sich in vier Kategorien (Tab. 9). Dabei werden vor allem Gebäude, die für den Katastrophenschutz wichtig sind, in die höchste Stufe eingeordnet. Zu den wichtigsten Gebäuden gehören somit potenzielle Evakuierungsorte, Einrichtungen für die Sicherheit, wie Krankenhäuser und Feuerwehrestationen und für die elektrische Versorgung, wie Kraftwerke (European Committee for Standardisation 2004: 33, 53).

Wichtige Klassen	Einrichtungen
I	Gebäude von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Gebäude usw.
II	Gewöhnliche Gebäude, die nicht zu den anderen Kategorien gehören.
III	Gebäude, deren Erdbebensicherheit im Hinblick auf die Folgen eines Einsturzes von Bedeutung ist, z. B. Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen usw.
IV	Gebäude, deren Unversehrtheit bei Erdbeben für den Katastrophenschutz von entscheidender Bedeutung ist, z. B. Krankenhäuser, Feuerwachen, Kraftwerke usw.

Tab. 9: Bedeutungsklassen für Gebäude (verändert nach European Committee for Standardisation 2004: 53).

2.4 Katalog Best Practices & Maßnahmen

Aus den einzelnen Praxisbeispielen und den Ansätzen und Konzepten ergeben sich Maßnahmen, die in einem Erdbebenrisikogebiet angewendet werden könnten. Insgesamt konnten 12 unterschiedliche Maßnahmen identifiziert werden. Die Zusammenfassung der Maßnahmen aus den Praxisbeispielen und dem theoretischen Hintergrund kann in der folgenden Tabelle eingesehen werden (Tab. 10). Dabei werden die Maßnahmen in drei Ebenen unterteilt. Die Ebene „Stadtplanung und Entwicklung“ umfasst Maßnahmen zur erdbebenresilienten Planung der Stadt. Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien, die Dezentralisierung und die Errichtung von neuen Versorgungszentren, die Zonierung und die Gestaltung von Quartieren tragen alle zur städtischen Resilienz bei. Die Ebene „Evakuierung und Schutz“ umfasst jegliche Maßnahmen, um die Bevölkerungssicherheit unmittelbar nach einem Erdbeben zu gewährleisten. Dazu gehören die Errichtung von Evakuierungsgebäuden und -freiflächen, die Lokalisierung temporärer Unterkünfte und die Gestaltung von Evakuierungswegen. Die letzte Ebene „Infrastruktur und Versorgung“ betrifft die Sicherstellung der Bevölkerungsverorgung und die Erhaltung der Stadtinfrastruktur. Zu den Maßnahmen auf dieser Ebene gehören die Verlagerung kritischer Infrastruktur, wie Feuerwehr- und Gesundheitszentren, eine Straßennetzerweiterung für die bessere Zugänglichkeit und schnellere Mobilität nach einem Erdbeben, Mobilitätsalternativen und abschließend die Etablierung eines Frühwarnsystems für die rechtzeitige Alarmierung der Bevölkerung.

M-Nummer	Maßnahme	Ziel
Stadtplanung und Entwicklung		
1	Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien	Die Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien ermöglicht es, bestimmte Bauvorhaben in andere Gebiete innerhalb der städtischen Grenzen zu verlagern. Damit können gefährliche Zonen unter anderem freigehalten werden.
2	Dezentralisierung und Versorgungszentren	Versorgungszentren dienen als zentrale Stelle für die Versorgung und den Transport von Ressourcen an die Evakuierungsorte. Zudem helfen sie dabei, die wichtigen Informationen an die Evakuierungsorte weiterzugeben, falls die Telekommunikation ausfallen sollte.
3	Gestaltung zerstörter Baugebiete	Nach einer Katastrophe bietet sich die Möglichkeit besser neues zu errichten. Bei der Errichtung von neuen Quartieren sollten vor allem erdbebenresiliente Standards berücksichtigt werden.
Evakuierung und Schutz		
4	Errichtung der Evakuierungsgebäude	Die Errichtung der Evakuierungsgebäude ermöglicht es, nach einer Katastrophe die Bevölkerung unterzubringen. Oft können schon bestehende Gebäude genutzt werden, sofern sie bestimmte Kriterien erfüllen.
5	Einrichtung der Evakuierungsfreiflächen	Die Einrichtung der Evakuierungsfreiflächen ermöglicht es, nach einer Katastrophe die Bevölkerung unterzubringen. Oft können bestehende Freiflächen genutzt werden, sofern sie bestimmte Kriterien erfüllen.
6	Lokalisierung temporärer Wohnunterkünfte	Temporäre Unterkünfte erfordern einen deutlich höheren Raum, da diese oft für einen längeren Zeitraum genutzt werden müssen, weshalb hierfür schon vorab bestimmte Flächen festgelegt werden sollten.
7	Gestaltung der Evakuierungswege	Evakuierungswege müssen einen bestimmten Standard an Breite und Sicherheit bieten. Aus diesem Grund müssen zunächst potenzielle Wege gefunden und gegebenenfalls angepasst werden.

Infrastruktur und Versorgung		
8	Straßenraumgestaltung	Unmittelbar nach einer Katastrophe können durch Trümmer Straßenwege blockiert werden. Insbesondere auf Zufahrtswegen in die Stadt, damit Rettungsmaßnahmen aus anderen Städten eintreffen können, müssen Defizite lokalisiert und gegebenenfalls angepasst werden. Auch schmale Straßen können blockiert sein, weshalb diese ebenfalls betrachtet werden sollten.
9	Lagerung von Trümmern	Um eine reibungslose Räumung der Trümmer nach einer Katastrophe zu ermöglichen, müssen vorab schon Orte für ihre Lagerung festgelegt werden.
10	Erweiterung & Verlagerung kritischer Infrastrukturen	Kritische Infrastrukturen wie Gesundheits-, Feuerwehr- und Polizeizentren sind in der Zeit unmittelbar nach einer Katastrophe sehr wichtig. Aus diesem Grund sollten diese besonders geschützt werden und sofern diese sich in Risikozonen befinden sollten, sollten diese verlagert oder auf andere Flächen erweitert werden.
11	Mobilitätsalternativen	Um den Straßenverkehr vor und während einer Katastrophe zu entlasten, bietet sich die Möglichkeit an, dem öffentlichen Personennahverkehr Vorrang zu geben. Dadurch wird zum einen der ruhende Verkehr reduziert, als auch die Erweiterung von Mobilitätsalternativen gestärkt.
12	Etablierung eines Frühwarnsystems	Ein Frühwarnsystem dient der kurzfristigen Mitteilung, dass ein Erdbeben kommen wird. Dies bietet die Möglichkeit, kurzfristige Sicherungsmaßnahmen auszuführen.

Tab. 10: Maßnahmenkatalog (Eigene Abbildung).

Anlass & Ziele

Theoretische Grundlagen

3 Fallstudie Antakya

Planerische Konzeption

Diskussion, Limitation & Fazit

3.1 Lokalisierung der Stadt

Die Provinz Hatay liegt im Süden der Türkei (Abb. 25). Die Provinz wird im Westen vom Mittelmeer, im Süden und Osten von Syrien und im Nordwesten von der türkischen Provinz Adana, im Norden von Osmaniye und im Nordosten von Gaziantep umschlossen. Hatay besteht aus den Bezirken Antakya, Altınözü, Arsuz, Belen, Defne, Dörtyol, Erzin, Hassa, Iskenderun, Kirikhan, Kumlu Payas, Reyhanli, Samandag und Yavladagi (T.C. Hatay Valiliği o.J.). Dabei erstreckt sich die Provinz auf einer Fläche von 5.525 km² mit einer Bevölkerung von 1.659.320 Personen (Stand 2021). Die Stadt Antakya ist mit einer Gesamtfläche von 703 km² und einer urbanen Fläche von ca. 32,42 km² sowie einer Bevölkerungszahl von 389.377 die größte Stadt der Provinz (Abb. 26).



Abb. 26: Verhältnis der Bevölkerungszahl zwischen der Provinz Hatay und der Stadt Antakya (verändert nach Stadt Antakya 2020: 32).

Die Stadt Antakya, auch bekannt als das historische Antiochia am Orontes (Abrahamczyk et al 2013: 684), ist gekennzeichnet durch ihre topographischen Besonderheiten (Abb. 27). Im Westen wird die Stadt vom Amanus-Gebirge (verläuft südwestlich-nordöstlich) und im Osten vom Berg Habib-Neccar umschlossen. Der durch die Stadt fließende Fluss Orontes (Asi River) teilt die Stadt in Alt- und Neu-Antakya. Der Stadtteil östlich des Flusses ist die Altstadt und ist mit historischem Altbau und von engen Gassen geprägt, während der westliche Teil der Stadt mit typischen modernen Gebäuden (Hochbau und breiteren Straßen) ausgestattet ist (Salıcı et al 2007: 712ff).



Abb. 25: Lokalisierung Hatay und Antakya (Eigene Abbildung).



Abb. 27: Stadt Antakya (Datenquelle: Google Earth 2023b).

3.2 Erdbeben in Türkei, Hatay & Antakya

Der größte Teil der Türkei befindet sich auf der anatolischen tektonischen Platte. Angrenzend dazu befindet sich die arabische Platte in Südosten, die afrikanische Platte im Süden und die eurasische Platte im Norden. Die arabische und die afrikanische Platte kollidieren mit der anatolischen Platte aufgrund einer Nordwärtsbewegung, während die eurasische Platte mit einer Südwärtsbewegung mit der anatolischen Platte kollidiert. Aufgrund der Bewegungen der Platten sind zwei sehr große Verwerfungslinien entstanden. Zum einen die nordanatolische und zum anderen die ostanatolische Verwerfung (Abb. 28) (Naddaf 2023). Aufgrund dieser tektonischen Gegebenheiten ist die Türkei anfällig gegenüber Erdbeben (Abb. 29).

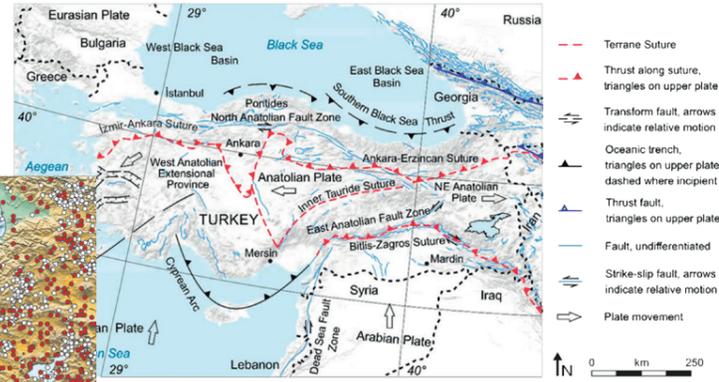


Abb. 28: Tektonische Platten und Verwerfungslinien im Bereich der Türkei (Işık & Harirchian 2022: 4).

Abb. 30: Karte der Erdbebengebiete in der Türkei (verändert nach Sucuoğlu 2019: 66).

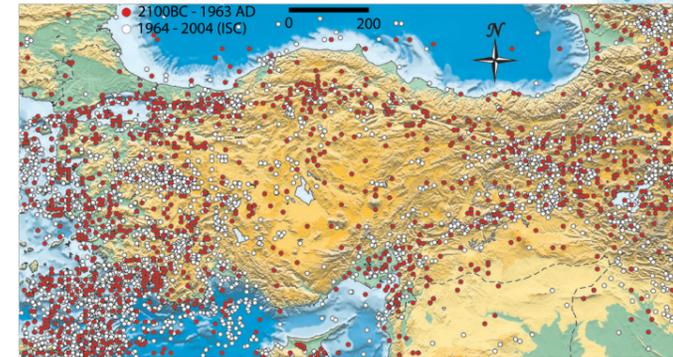
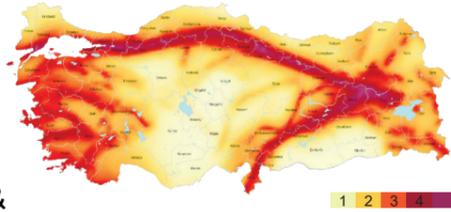


Abb. 29: Erdbeben in der Türkei (Tan et al 2008: 407).

Insgesamt sind knapp 92 % der Fläche der heutigen türkischen Staatsgrenzen anfällig gegenüber Erdbeben (Abb. 30). Von den betroffenen Flächen sind 66 % wichtige Großstädte, in denen mehr als 70 % der Bevölkerung leben (Sengezer & Koç 2005: 173). Die Provinz Hatay wird in der Abbildung 30 mit der Risikostufe 5 eingestuft.

Insbesondere die Stadt Antakya ist aufgrund ihrer Nähe zu den Verwerfungslinien stark von Erdbeben betroffen (Abb. 31) (Sucuoğlu 2019: 67). Zu diesen Verwerfungslinien gehören unter anderem die Totes Meer-Verwerfungslinie (DSF), die Zypern-Antakya (CAT)- Verwerfungslinie und die Amanos-Verwerfungslinie, bzw. die südliche Spitze der ostanatolischen Verwerfungslinie (Abrahamczyk et al 2013: 685; Korkmaz 2006: 51f; Över et al 2001: 2; Över et al 2004: 100; Geological Institute of the Russian Academy of Sciences 2022).

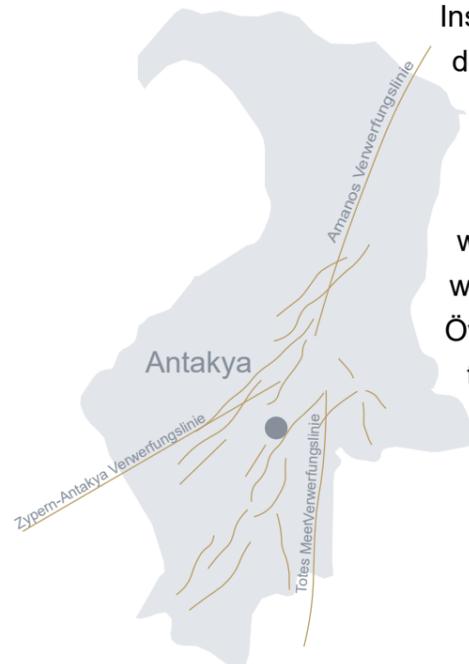


Abb. 31: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya (Datenquelle: Abrahamczyk et al 2013: 685; Korkmaz 2006: 51f; Över et al 2001: 2; Över et al 2004: 100; Geological Institute of the Russian Academy of Sciences 2022).

3.3 Erdbebenereignis 2023

Die Stadt Antakya wurde am 06. Februar 2023 von einem Erdbeben der Stärke 7,8 nach der Richter-Skala getroffen. Etwa neun Stunden später folgte ein zweites Erdbeben mit einer Stärke von 7,5 (Naddaf 2023). Das Erdbeben wurde entlang der ostanatolischen Verwerfung registriert, wobei das Epizentrum des ersten Erdbebens sich etwa 33 km südöstlich von Pazarcik-Kahamanmaras und das zwei 40 km nordwestlich von der Stadt Gaziantep befand. Bis zum 18. Februar wurden im Umkreis der Epizentren etwa 7.451 Nachbeben registriert, wobei 433 davon eine Magnitude zwischen fünf und sechs auf der Richterskala aufweisen (Abb. 32) (Çetin et al 2023: 13f). Durch diese Erdbeben sind in der Türkei 36.100 Menschen gestorben und weitere wurden stark verletzt (OCHA 2023a: 2). 216.347 Menschen wurden aus den betroffenen Provinzen umgesiedelt, während andere in Zeltlager verlagert wurden (Abb. 33) (ebd.). Durch die Katastrophe sind etwa 301.000 Gebäude eingestürzt und weitere wurden so stark beschädigt, dass ein sicheres Leben dort nicht gewährleistet werden kann (Abb. 34 – 38) (UNDP 2023a: 2).

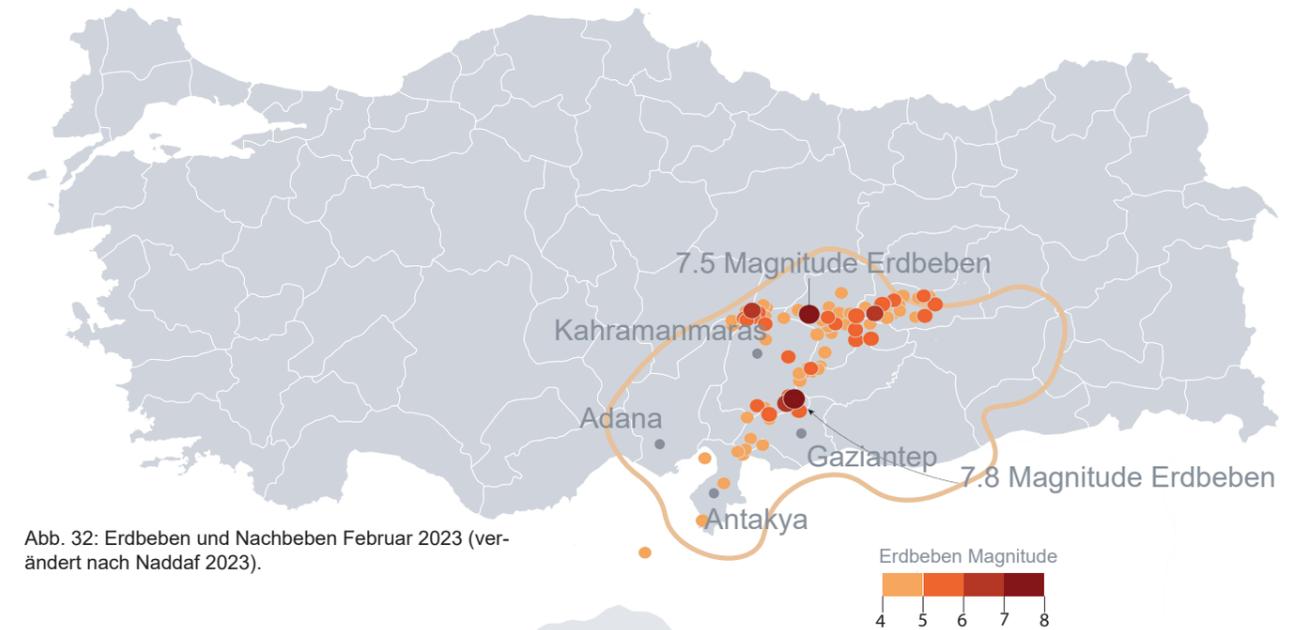


Abb. 32: Erdbeben und Nachbeben Februar 2023 (verändert nach Naddaf 2023).

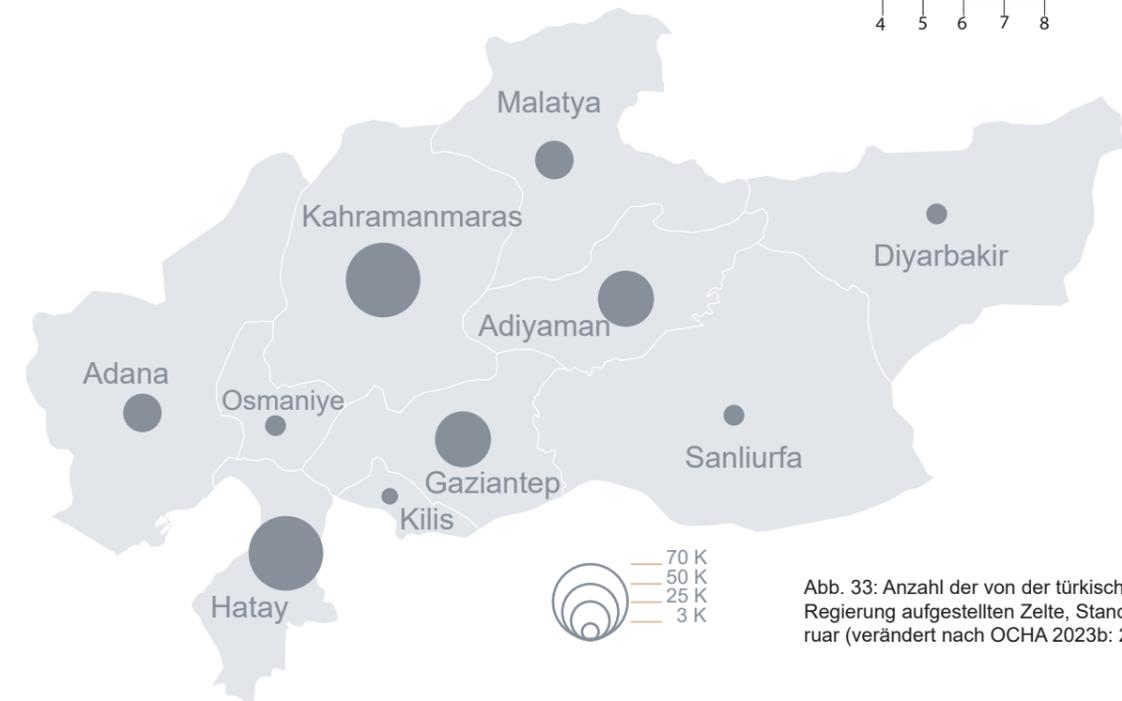


Abb. 33: Anzahl der von der türkischen Regierung aufgestellten Zelte, Stand Februar (verändert nach OCHA 2023b: 2).



Abb. 34: Folgen der Katastrophe Februar 2023 (Kuebler 2023).



Abb. 35: Drei Tage nachdem Erdbeben (verändert nach Garthwaite 2023).



Abb. 36: Gebäude von der Vogelperspektive in Antakya (Malla 2023).



Abb. 37: Stadt Antakya Stand 12.2022 (Google Earth 2022).



Abb. 38: Stadt Antakya Stand 02.2023 (Google Earth 2023a).

3.4 Türkisches Baurecht

Da sich das Untersuchungsgebiet in der Türkei befindet, wird im Rahmen dieser Arbeit das türkische Baurecht angewandt, um die Maßnahmen hinsichtlich der Art und Ausdehnung der Bebauung zu ergänzen. Hierfür wird die aktuelle Version des türkischen Baurechts von 2020 (inşaat hukuku) herangezogen. Das Baurecht der Türkei gibt den Provinzen im Rahmen des Baurechts ein Selbstverwaltungsrecht, weshalb auch das Baurecht der Provinz Hatay herangezogen wird. Im Folgenden sollen die städtebaulichen Vorgaben, die für diese Arbeit relevant sind, erwähnt werden:

Risikogebiete und Bauanträge: Wenn sich das Plangebiet in einem Risikogebiet befindet, ist für den Bauantrag eine zusätzliche Analyse erforderlich, die alle relevanten Parameter berücksichtigt. Wenn die Ergebnisse dieser Analyse den Bauvorschriften entsprechen und keine zusätzlichen Belange im örtlichen Bebauungsplan festgelegt sind, wird der Bauantrag genehmigt. (Öngören 2020: 55).

Baugebietskategorien: Die Türkei unterteilt ihre Baugebiete in Wohngebiete, Gewerbegebiete, Wohn- und Gewerbegebiete sowie Industriegebiete, sowie Grünflächen. Die genaue Unterteilung und die zugelassenen Nutzungen innerhalb dieser Gebiete werden durch die Bebauungspläne der Gemeinden geregelt (Hatay 2022; drittes Kapitel, Thema 6).⁵

Maximale Geschosse: Die maximale Anzahl der erlaubten Geschosse hängt von der Breite der Straßen ab. Zum Beispiel ist in Bereichen mit Straßenbreiten von 7 Metern nur eine zweigeschossige Bebauung (ohne Keller) erlaubt (Hatay 2022; viertes Kapitel, Thema 9).⁶

Straßenbreite	Maximale Anzahl an Etagen (Ohne Keller)
≤ 7,00	2
7,00 – ≤ 10,00	3
10,00 – ≤ 12,00	4
12,00 – ≤ 15,00	5
15,00 – ≤ 20,00	6
20,00 – ≤ 25,00	8
25,00 – ≤ 35,00	10
35,00 – ≤ 50,00	14
50,00 <	18

Tab. 11: Anzahl der Gebäudegeschosse entsprechend der Straßenbreite (verändert nach Hatay 2022).

Geschosshöhen: Die Höhe der einzelnen Stockwerke variiert je nach Baugebiet. In Wohngebieten beträgt die Geschosshöhe 3,60 Meter, während in Gewerbegebieten im Erdgeschoss 4,50 Meter und in den oberen Geschossen 4 Meter vorgeschrieben sind (Hatay 2022; fünftes Kapitel, Thema 28).⁷

Gebiet	Geschosshöhe
Gewerbegebiet	Erdgeschoss: 6,50 Meter Weitere Geschosse: 4,50 Meter
Mischgebiet	Erdgeschoss: 4,50 Meter Weitere Geschosse, wenn Wohnraum: 3,60 Meter Weitere Geschosse, wenn Gewerbe: 4,00 Meter
Wohngebiet	Erdgeschoss: 3,60 Meter Gewerbliche Erdgeschossnutzung: 4,50 Meter Weitere Geschosse: 3,60 Meter

Tab. 12: Geschosshöhen (verändert nach Hatay 2022).

Abstandsflächen und Gebäudebreiten: Die Gebäudehöhe bestimmt auch die erforderlichen Abstandsflächen zu anderen Gebäuden. Zum Beispiel müssen in Wohngebieten maximal viergeschossige Gebäude eine Breite von mindestens 6 Metern aufweisen und einen Abstand von 6 Metern zu anderen Gebäuden einhalten (Hatay 2022; drittes Kapitel, Thema).⁸

Wohn- und Gewerbegebiete	Abstandsflächen
An Orten, die für den Bau von bis zu vier Etagen geeignet sind	6,00 Meter
An Orten, die für den Bau von bis zu neun Etagen geeignet sind	9,00 Meter
An Orten, die für den Bau von zehn ≤ Stockwerken geeignet sind	12,00 Meter

Tab. 13: Grundstücksgrößen (verändert nach Hatay 2022).

Individuelle Anpassungen: Alle oben genannten rechtlichen Vorgaben zur Bebauung können abgeändert werden, wenn der Bebauungsplan der Kommune andere Bestimmungen vorsieht. Dabei werden Maße wie die Taban Alanı Kat Sayısı (TAKS), Katlar Alanı Kat Sayısı (KAKS)⁹, die überbaubaren Flächen und Baubegrenzungslinien als auch die genaue Einteilung zur Art der Bebauung von der Kommune festgelegt (Öngören 2020: 41).

Zusätzlich zum Baurecht hat die Türkei auch spezifische Bauvorschriften für seismisch aktive Regionen. Diese Bauvorschriften beziehen sich jedoch hauptsächlich auf die strukturelle Stabilität der Gebäude und berücksichtigen nicht ausdrücklich städtebauliche Aspekte der Bebauung (iibh 2007: 1f). So werden beispielsweise keine Vorgaben zu bestimmten Zonierungen oder Risikoflächen innerhalb der Kommunen angeordnet oder bestimmte Nutzungsverteilungen nach Verkehrslage oder Nutzerfrequenzen vorgegeben.

5 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM Madde 6
6 DÖRDÜNCÜ BÖLÜM Madde 9
7 BEŞİNCİ BÖLÜM Madde 28

8 ÜÇÜNCÜ BÖLÜM Madde 6
9 Ähnlich wie Grundflächenzahl (TAKS) und Geschossflächenzahl (KAKS).

Anlass & Ziele

Theoretische Grundlagen

Fallstudie Antakya

4 Planerische Konzeption

Diskussion, Limitation & Fazit

4.1 Analysekarten - Mikrozonierung

Erdbebenresiliente Stadtplanung ist eine integrierte Planung, die darauf abzielt, Risikofaktoren in Erdbebenrisikogebieten zu mindern (Tudes 2012: 429). Hierbei ist es wichtig, unterschiedliche Daten und Faktoren miteinzubeziehen, die für eine gesamte Analyse ausschlaggebend sind (Hultquist 2022: 401f). Die Sammlung unterschiedlicher Faktoren ist eine wichtige Phase der Katastrophenvorbereitung und dient dazu, notwendige Daten im städtischen Kontext miteinander in Verbindung zu setzen (Tudes 2012: 423). Während jeder dieser Faktoren relevant für sich ist, gilt es, den gemeinsamen Nenner der erdbebenresilienten Stadtplanung, zu schaffen und als Entscheidungsgrundlage für die Lokalisierung der Maßnahmen zu verwenden (Fiedrich & Zlatanova 2013: 273). Basierend auf den Informationen vom theoretischen Hintergrund werden im Rahmen der planerischen Konzeption die wichtigsten Parameter für die Mikrozonierung und weitere Bereiche, die für die Lokalisierung der Maßnahmen relevant sind, analysiert und die lokalen Bedingungen der Stadt Antakya untersucht (Tab. 14). Dabei unterscheiden sich die Analysen in Raster- und Vektoranalysen. Während bei der Rasteranalyse eine Reihe von Zellen verwendet wird, um Inhalte auf der Erde zu symbolisieren, werden bei Vektoranalysen Punkte und Liniensegmente verwendet (ESRI 2019: 1). Die Ergebnisse der Parameter, relevant für die Mikrozonierung, werden mit der Begrifflichkeit „Risiko“ bewertet. Dabei ist es wichtig, zwischen den Begrifflichkeiten Gefahr und Risiko zu differenzieren. Erst wenn eine Naturgefahr einen potenziellen Schaden in Bezug auf Menschen oder menschengeschaffene Einrichtungen verursacht, wird aus der Gefahr ein Risiko. Somit wird Risiko definiert als die Konkretisierung einer Gefahr in Abhängigkeit von ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihr potenziellen Auswirkungen (Andrecs & Oberndorfer 2008: 4f). Da zudem das Risiko innerhalb des städtischen Raums aufgrund der Menschen und den menschengeschaffenen Einrichtungen nie ganz ausgeschlossen werden kann, werden alle Parameter zwischen „sehr geringes Risiko“ bis „sehr hohes Risiko“ bewertet.

A-Nummer	Analyse	Art
Mikrozonierung		
1	Hydrologische Analyse – Distanz zu Wassersystemen	Vektor
2	Hydrologische Analyse – Tiefe des Grundwassers	Raster
3	Geologische Analyse – Distanz zur Verwerfungslinie	Vektor
4	Geologische Analyse – Bodenbewertung	Vektor
5	Topographische Analyse – Topographie	Raster
6	Topographische Analyse – Hangneigung	Raster
7	Distanzanalyse - Distanz zu brennbaren Orten	Vektor
Weitere Relevante Parameter		
8	Brachflächenanalyse	Vektor
9	Grün- und Freiraumanalyse	Vektor
10	ÖPNV-Analyse	Vektor
11	Verkehrsanalyse	Vektor
12	Bestandsanalyse – kritische Infrastruktur	Vektor

Tab. 14: Analysen (Eigene Tabelle).

4.1.1 Hydrologische Analyse - Distanz zu Wassersystemen

Für die Analyse, um die Distanzen der Wassersysteme innerhalb der Stadt Antakya zu erfassen, wurden Daten aus OpenStreetMap verwendet. Um diese Daten zu validieren, wurde die Position der Flüsse und die Breite der Wassersysteme über Fernerkundungsbeobachtungen überprüft.

Die Bewertungskriterien zu den Distanzen der Wassersysteme und die Relevanz zur Analyse, aufgrund der Gefahr gegenüber Verflüssigung und Erdbeben, die sich durch die Nähe zu den Wassersystemen ergeben können (siehe Kapitel 2.1.2), werden mit folgenden Werten bewertet:

<50 Meter (sehr hohes Risiko), 50-100 Meter (hohes Risiko), 100-150 Meter (moderates Risiko), 150-200 Meter (geringes Risiko) und 200 Meter < (sehr geringes Risiko)

Für die Ermittlung der Distanzen, wurde ein Puffer (Luftlinienradius) über die Wassersysteme mit den entsprechenden Werten gelegt. Daraus ergibt sich folgende Karte (Abb. 40).

Es wird ersichtlich, dass der Großteil der Stadt außerhalb der Risikobereiche liegt. Nichtsdestotrotz ist die Verteilung der Risikobereiche im gesamten städtischen Untersuchungsgebiet gegeben, weshalb Vorsicht geboten ist.

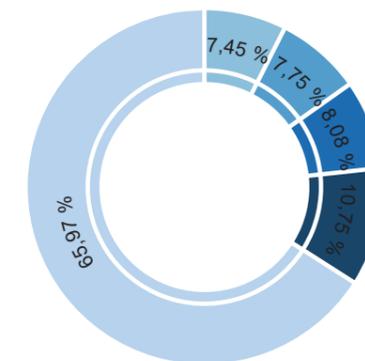
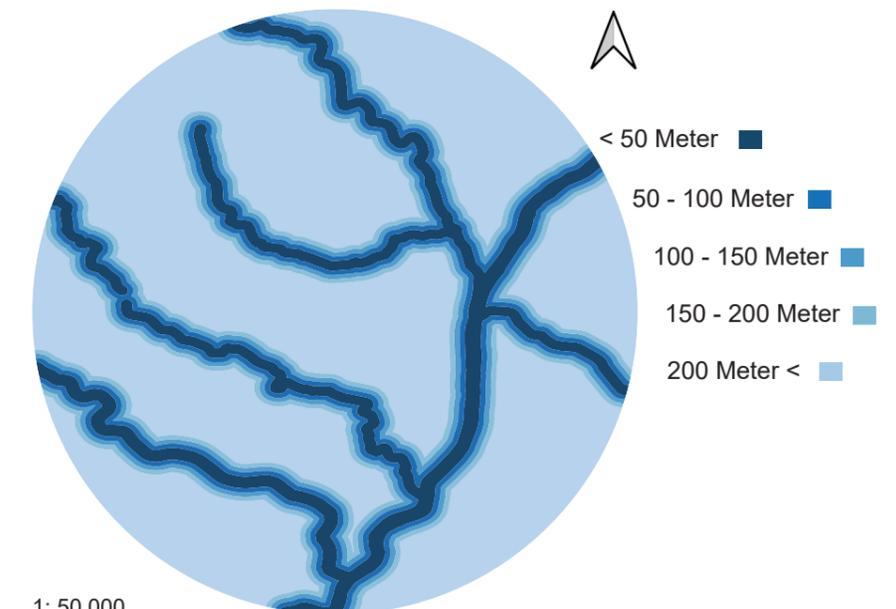


Abb. 41: Kreisdiagramm Hydrologische Analyse - Distanz zu Wassersystemen (Eigene Abbildung).



1: 50.000

Abb. 40: Wassersysteme Puffer (Eigene Abbildung).

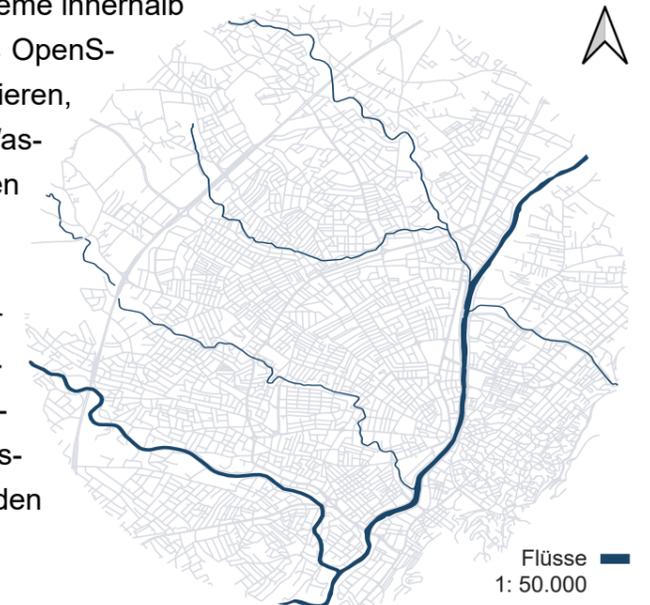


Abb. 39: Wassersysteme. Oronto-Fluss mit seinen Nebenflüssen (Eigene Abbildung).

4.1.2 Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers

Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit hinsichtlich der Tiefe des Grundwassers wurden hier Daten aus der wissenschaftlichen Arbeit von Değerliyurt aus dem Jahr 2013 verwendet und digitalisiert (Abb. 42).

Trotz der vorhandenen Daten in der oben genannten Literatur ergab sich hier die Problematik, dass es keine vollständige Untersuchung innerhalb des in dieser Arbeit betrachteten Untersuchungsgebiets gegeben hat. Aus diesem Grund wurden die restlichen Daten durch Schätzungen¹⁰ ergänzt und sollten im Rahmen einer städtischen Entwicklung erneut überprüft werden.

Da die Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Literatur von Değerliyurt 2013 nicht genau der Bewertungsmatrix zugewiesen werden konnten, wurde die Bewertungsmatrix aus Kapitel 2.1.2 den Werten angepasst. Dadurch ergaben sich drei Klassen, wobei < 2 Meter (sehr schlecht), 2 – 6 Meter (moderates Risiko) und alles ab 6 Meter < ein sehr geringes Risiko vorhanden ist, was die Wahrscheinlichkeit betrifft, ob eine Gefahr durch eine Verflüssigung besteht oder nicht.

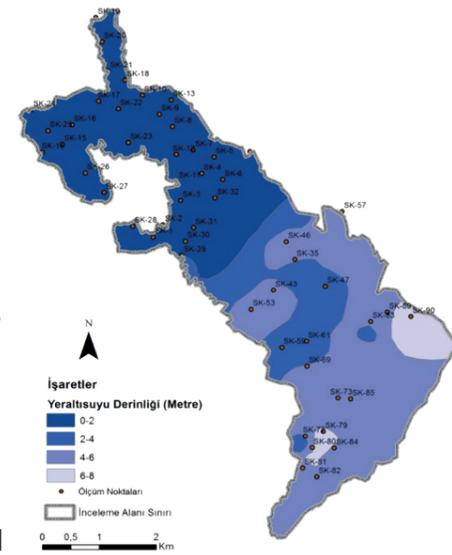


Abb. 42: Tiefe des Grundwassers nach Değerliyurt (Değerliyurt 2013: 71).

Das Ergebnis zeigte eine deutliche Nordwest - Südost Verteilung der Tiefen des Grundwassers innerhalb des Untersuchungsgebiets. In einigen Bereichen innerhalb der südlichen Fläche sind einige Ausreißer zu erkennen, die eine Tiefe von über 6+ Meter ausweisen. Somit befindet sich der Großteil des Untersuchungsgebiets innerhalb des moderaten Risikobereichs.

Abb. 43: Tiefe des Grundwassers mit nächster Nachbar GIS-Analyse (Eigene Abbildung).

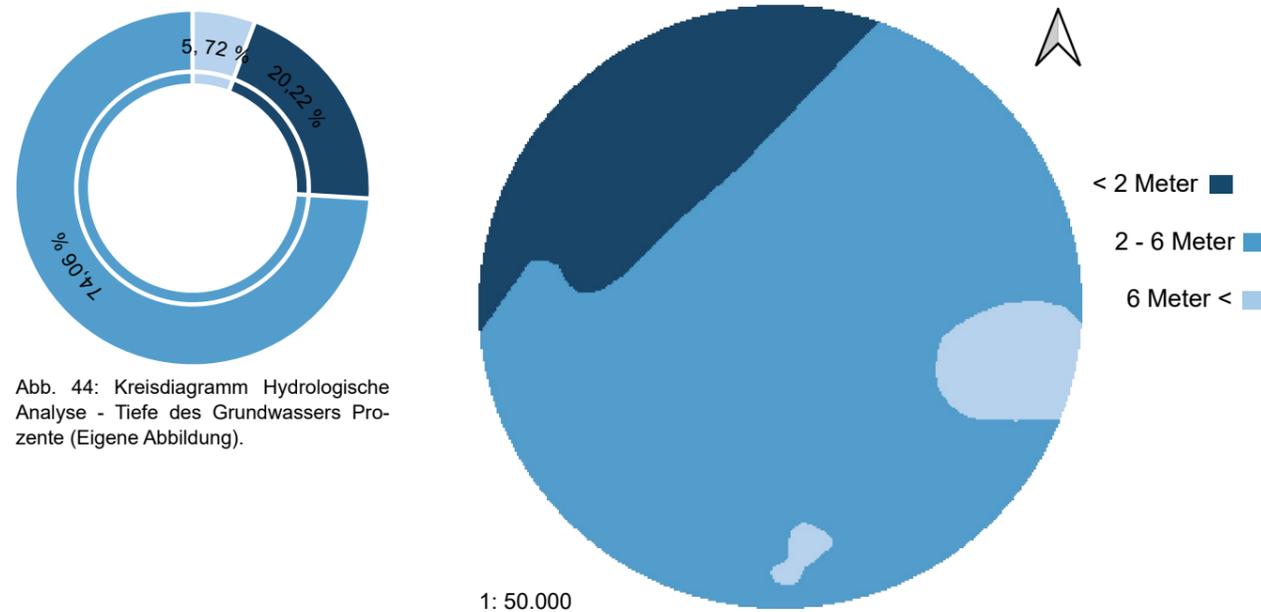


Abb. 44: Kreisdiagramm Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers Prozenzte (Eigene Abbildung).

¹⁰ QGIS bietet die Möglichkeit, Leerwerte über eine sogenannte „nächster Nachbar“ Funktion zu schätzen. Die Leerwerte werden durch die Werte der nächstgelegenen Nachbarzelle angepasst. Für diese Analyse wurden die Bemessungspunkte als Punktwert verwendet, wodurch das Ergebnis erzielt werden konnte.

4.1.3 Geologische Analyse - Distanz zu Verwerfungslinien

Die Daten zu den Verwerfungslinien wurden zum einen aus den Literaturen Abrahamczyk et al 2013, Korkmaz 2006, Över et al 2001, Över et al 2004 und von der Internetseite des geologischen Instituts der Russischen Akademie der Naturwissenschaften entnommen, abgeglichen und anschließend in die unten ausgeführte Analyse integriert.

Da die Nähe zur Verwerfungslinie mit der Stärke des Erdbebens verbunden ist, werden in dieser Analyse die Abstände in einem 1.000 Meter Intervall (siehe Kapitle 2.1.2), das Risiko der städtischen Flächen ermittelt. Dabei gilt, das je näher die Flächen zu den Verwerfungslinien liegen, desto stärker das Erdbeben ist.

Dabei wurde 0 – 1.000 Meter sehr hohes Risiko, 1.000 – 2.000 Meter hohes Risiko, 2.000 – 3.000 Meter moderates Risiko, 3.000 – 4.000 Meter geringes Risiko als Bewertungskategorien verwendet. Die Bewertung „sehr geringes Risiko“ entfällt im Rahmen dieser Analyse, da das Untersuchungsgebiet keine Distanzen von 4.000 Meter < aufweist.

Es wird deutlich, dass die Mehrheit des Gebiets zwischen 0 bis 3.000 Meter Abstand zu den Verwerfungslinien liegt. Ausschlaggebend dabei sind die Amanos Verwerfungslinie und die Tote Meer-Verwerfungslinie, die in unmittelbarer Nähe der städtischen Grenzen verlaufen. Ein kleiner Bereich im westlichen Raum zeigt eine potenziell geringe Risikofläche, die einen Abstand von 3.000 – 4.000 Meter aufweist.

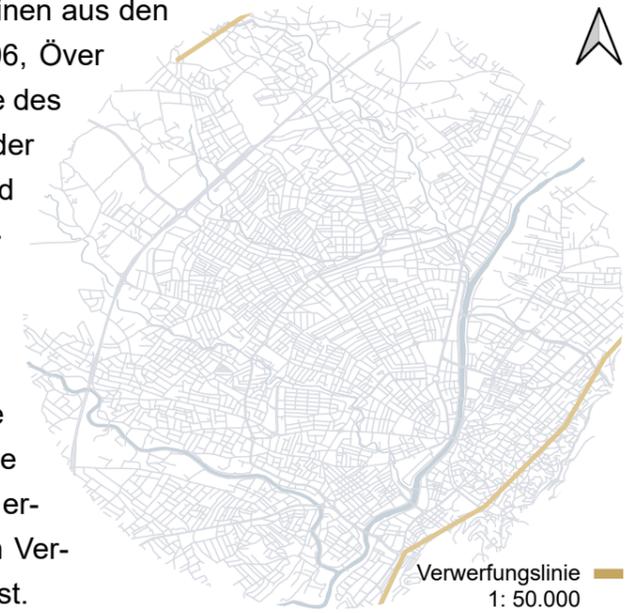


Abb. 45: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya (Eigene Abbildung).

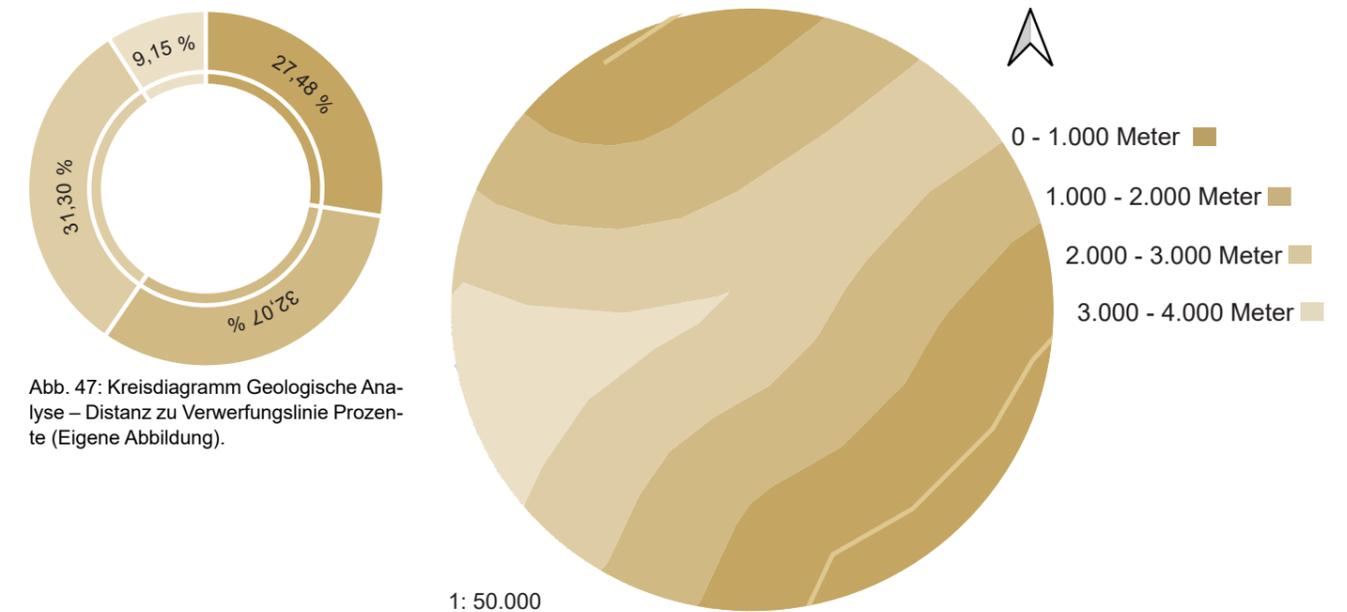


Abb. 47: Kreisdiagramm Geologische Analyse – Distanz zu Verwerfungslinie Prozenzte (Eigene Abbildung).

Abb. 46: Verwerfungslinien in der Nähe der Stadt Antakya Puffer (Eigene Abbildung).

4.1.4 Geologische Analyse - Bodenbewertung

Für die Datengrundlage der Bodenbewertung wurden zwei Quellen miteinander verknüpft, abgestimmt und entsprechend digitalisiert. Die Quellen von Değerliyurt aus dem Jahr 2013 entspricht einem größeren Maßstab, weshalb dieser zwar detaillierter ist und auch als Hauptgrundlage verwendet wurde, jedoch nicht das gesamte Untersuchungsgebiet dieser Arbeit abdeckt. Aus diesem Grund wurden die restlichen Flächen aus der wissenschaftlichen Arbeit von Özşahin aus dem Jahr 2010 verwendet. Beide wissenschaftliche Quellen liefern eine gute Grundlage für die in der Analyse vorgenommene Bewertung, welche die Bewertungsmatrix des Ministeriums für Wohnen und Bauen der Türkei verwendet. Beide Quellen liefern nämlich die Begrifflichkeit, die auch in der Bewertungsmatrix verwendet wird und somit auch die Eingruppierung und die Bewertung der Risikostufen leichter gehandhabt werden kann.

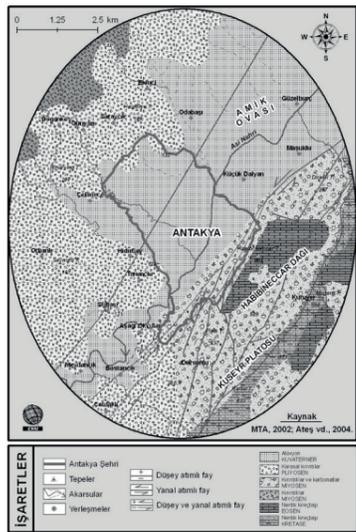


Abb. 48: Böden nach Özşahin (Özşahin 2010: 5).

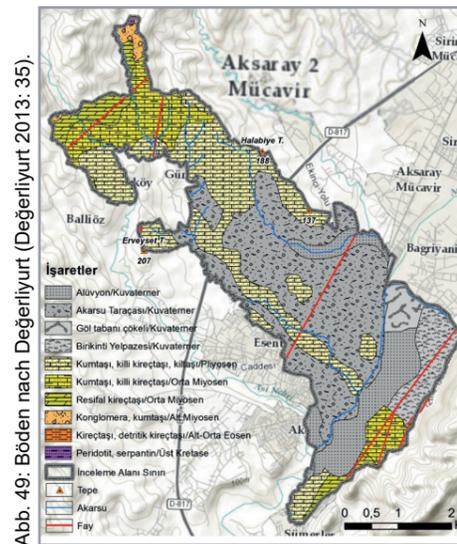
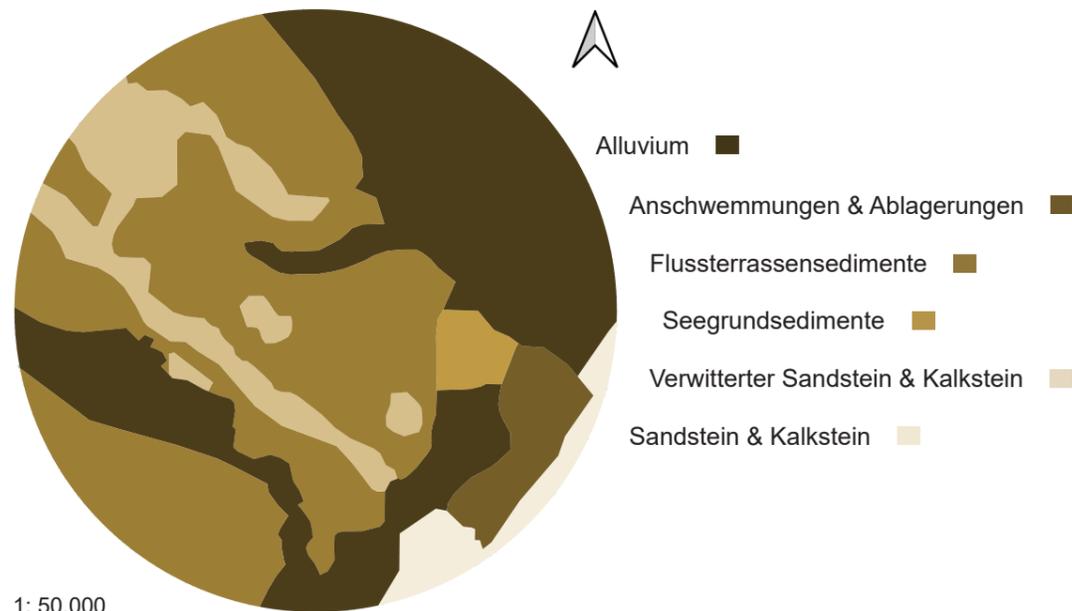


Abb. 49: Böden nach Değerliyurt (Değerliyurt 2013: 35).

Aus der Kombination der beiden Karten ergibt sich folgendes Ergebnis, wobei das Untersuchungsgebiet mit folgenden Böden gekennzeichnet ist:



1: 50.000

Abb. 50: Böden nach Değerliyurt 2013 & Özşahin 2010 (Eigene Abbildung).

Entsprechend der Bewertungsmatrix lassen sich alle Böden in folgende Kategorien einordnen, wobei Alluvium, Anschwemmungen und Ablagerungen, Flussterrassensedimente und Seegrundsedimente unter die Kategorie D fallen. Diese sind Böden mit sehr hohem Risiko, da diese anfällig gegenüber Verflüssigung sind und aufgrund ihrer Bodenbestandteile dazu beitragen können, dass Erdbeben sich lokal verstärken. Die verwitterten zementierten Sandsteine und Kalksteine weisen aufgrund ihrer Bodenbestandteile (festere Böden) deutlich bessere Faktoren auf und werden dementsprechend nach der Bewertungsmatrix mit der Bezeichnung B bewertet, wobei die besten Böden innerhalb des Untersuchungsgebiets die im Süden sind, und mit A bewertet werden. Nach dieser Bewertung ergibt sich folgende Karte (Abb. 51).

Es wird deutlich, dass das gesamte Untersuchungsgebiet bis auf zwei Flächen, welche im Nordwesten und Südosten liegen, in der Kategorie D vertreten sind. Die Böden mit der Kennzeichnung B sind zudem in Form eines NW-SO verlaufenden Streifens vertreten. Zudem sind einige kleinere Ausreißer zu erkennen. Das Risiko zu den Flächen lässt sich wie folgt bewerten, dabei wurden die mit A bewerteten Flächen mit sehr geringem Risiko, die mit B bewerteten Flächen mit moderates Risiko und die mit D gekennzeichneten Flächen mit sehr hohem Risiko markiert

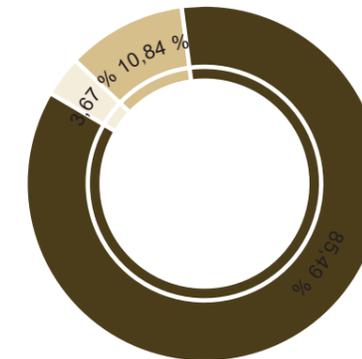


Abb. 52: Kreisdiagramm Geologische Analyse – Bodenbewertung Prozente (Eigene Abbildung).



1: 50.000

Abb. 51: Bewertung der Böden (Eigene Abbildung).

4.1.5 Topographische Analyse - Hangneigung

Als Datengrundlage wurde das Digital Elevation Model (DEM, Digitales Höhenmodell) von der United States Geological Survey (USGS) verwendet. Es handelt sich hierbei um frei zugängliche Fernerkundungsdaten. Ein DEM ist ein digitales Höhenmodell, welches die Erdoberfläche in einer dreidimensionalen Form darstellt (Guth et al 2021: 1). Damit ist gemeint, dass die Geländehöhen auf der Erdoberfläche erkannt werden können. Aus dem DEM kann die Neigung, durch das entsprechende Neigungswerkzeug von einem GIS-Programm (in diesem Fall QGIS) berechnet werden.

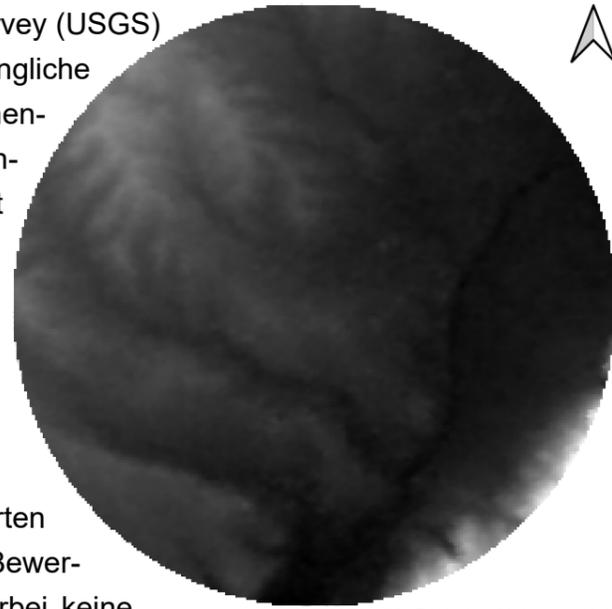


Abb. 53: Digitales Höhenmodell (USGS o.J.b). 1: 50.000

Um eine Bewertung zu den örtlichen Neigungswerten zu liefern, werden die einzelnen Werte nach der Bewertungsmatrix aus Kapitel 2.1.2 bewertet. Da es hierbei keine standardisierte Methodik gibt, werden die beiden Bewertungsmatrizen aus den Literaturen McBride 1999 und Teimouri et al 2018 interpoliert.

$$\text{Durchschnittsbewertung} = \text{Höchste Bewertung aus beiden Matrizen} / 2$$

Dadurch ergibt sich folgende fünf Kategorien:

0 – 3,5 % sehr geringes Risiko, 3,5 – 9 % geringes Risiko, 9 – 15,5 % moderates Risiko, 15,5 – 22 % geringes Risiko und 22 % < sehr hohes Risiko. Anhand dieser Werte ergab sich folgende Neigungs- und Bewertungskarte zu der Neigung in % innerhalb der Stadt Antakya (Abb. 54).

Es ist zu erkennen, dass insbesondere im Südosten beim Berg Habib-Neccar die höchste Neigung zu finden ist. Zudem konnten einige Ausreißer im Südwesten und Nordwesten ausfindig gemacht werden. Insgesamt befindet sich die Stadt innerhalb eines Wertebereichs von 0 – 9 % Neigung, wodurch insbesondere die urbanen Bereiche sich innerhalb des geringen Risikobereichs befinden.

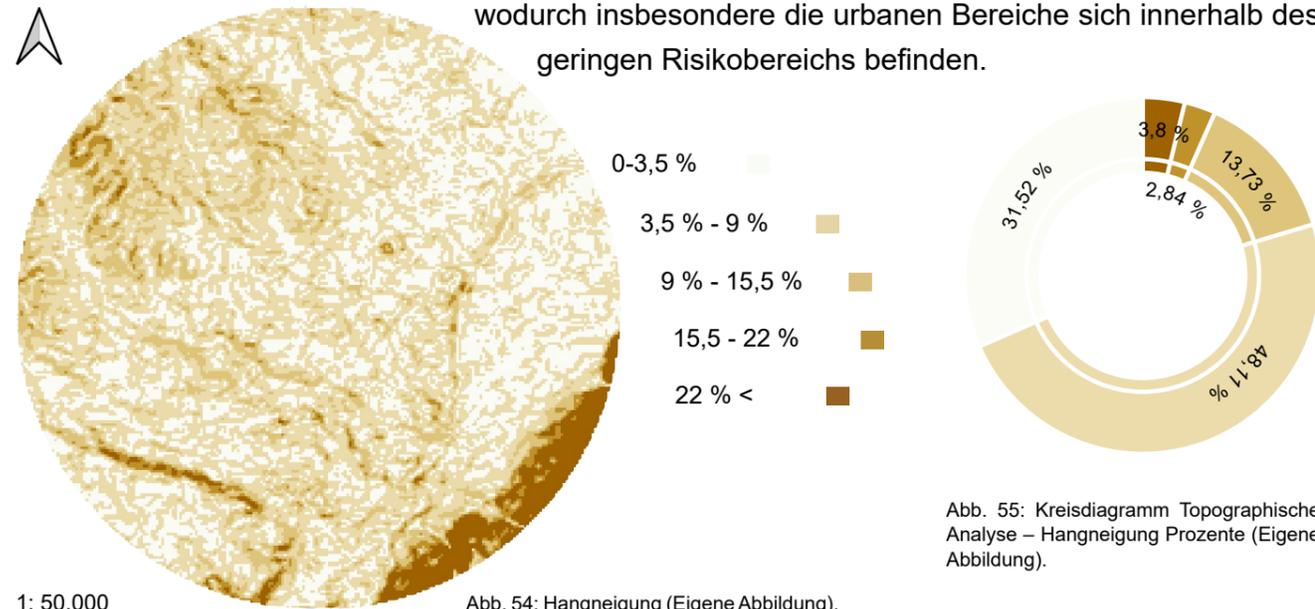


Abb. 55: Kreisdiagramm Topographische Analyse – Hangneigung Prozente (Eigene Abbildung).

Abb. 54: Hangneigung (Eigene Abbildung).

4.1.6 Topographische Analyse - Geländehöhe

Als Datengrundlage wurde hier erneut das DEM von der USGS verwendet. Innerhalb der Daten sind ebenfalls die Geländehöhen der Stadt Antakya enthalten, wodurch ohne weitere Datenaufbereitungsschritte die Werte kategorisiert und bewertet werden können.

Für die Bewertung gilt: je niedriger, desto besser, da ein großer Höhenunterschied dazu führen kann, dass Erdbeben sich verstärken und Hangrutschungen begünstigt werden können. Da es jedoch keine einschlägige standardisierte Bewertungsmatrix zum Einfluss der Geländehöhen in Bezug auf Erdbeben in der Literatur zu Verfügung stehen, wurde die Bewertung anhand der vorliegenden Werte 68 Meter ü. NN – 329 Meter ü. NN durch ein gleiches Intervall in 50-Meter-Schritte eingeteilt. Daraus resultierten fünf Kategorien, die entsprechend so kategorisiert werden konnten:

68 – 118 Meter sehr geringes Risiko, 118 – 168 Meter geringes Risiko, 168 – 219 Meter moderates Risiko, 219 – 269 Meter hohes Risiko, 269 – 329 Meter sehr hohes Risiko

Basierend auf diesen Kategorien ergibt sich folgende Bewertungskarte (Abb. 56). Es ist deutlich zu erkennen, dass sich das gesamte Stadtgebiet innerhalb der geringen bis hin zur sehr geringen Risikozone befindet. Als Ausnahmen hierzu sind einige Flächen im Nordwesten und im Südosten am Berg zu erkennen. Diese sind jedoch außerhalb der stark verdichteten Gebiete, weshalb von keinem hohen Risiko auszugehen ist.

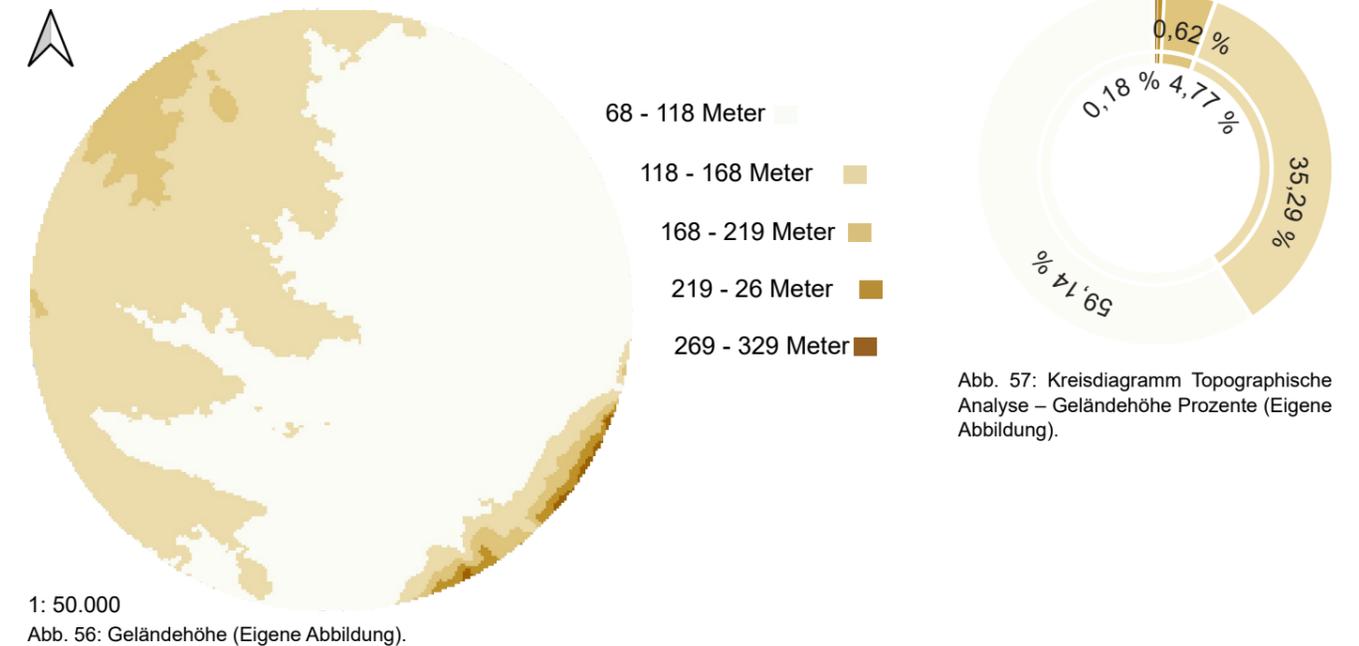
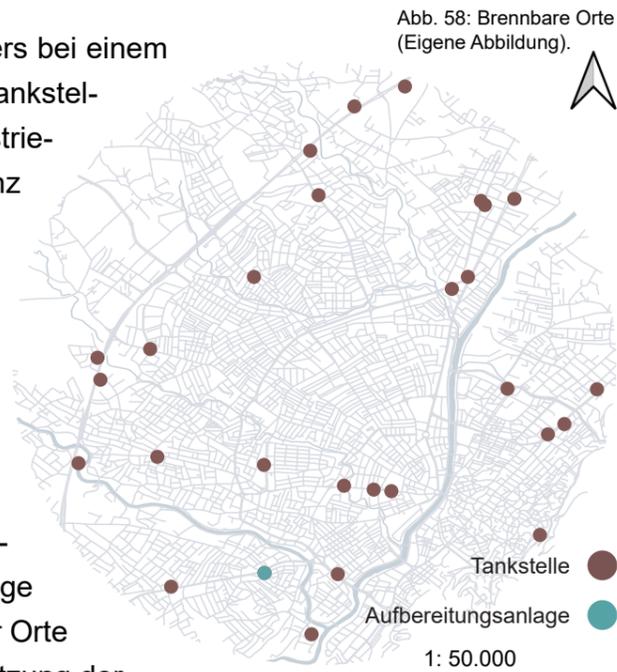


Abb. 57: Kreisdiagramm Topographische Analyse – Geländehöhe Prozente (Eigene Abbildung).

1: 50.000
Abb. 56: Geländehöhe (Eigene Abbildung).

4.1.7 Distanz zu brennbaren Orten

Bestimmte Orte können die Ausbreitung eines Feuers bei einem Erdbeben begünstigen. Zu diesen Orten gehören Tankstellen, Lagerflächen mit brennbarem Material, Industrieanlagen und Gebäude, welche Holz als Bausubstanz haben. Diese potenziellen Orte wurden lokalisiert¹¹ und entsprechend symbolisiert. Die Identifikation erfolgte ausschließlich durch eine umfassende Fernerkundungsbeobachtung unter Verwendung von Satellitenaufnahmen und Straßenansichten, wobei in diesem Prozess keine Gebäude mit dem Baumaterial Holz und keine Lagerflächen mit brennbarem Material festgestellt wurden. Es wurden mehrere Tankstellen und eine Wasseraufbereitungsanlage im Süden der Stadt lokalisiert. Die Bewertung dieser Orte ist stark von unterschiedlichen Faktoren, wie die Nutzung der Bebauung und des Materials, das verwendet wird, abhängig, weshalb keine einschlägige Bewertung existieren kann und in diesem Rahmen eigene Gutachteranalysen über den potenziellen Radius der einzelnen brennbaren Orte durchgeführt werden sollte. Jedoch konnte Literatur bezüglich des notwendigen Sicherheitsabstands zu oberirdischen Flüssiggaslagertanks und Zapfsäulen gefunden werden. Aus der Literatur geht ein Sicherheitsabstand von mindestens 100 Metern, je nach Art des Gases,¹² hervor (Kukfisz et al 2022: 8). Anknüpfend an die anderen Analysen wird hier ein gleiches Intervall für die Risikobewertung verwendet. Daraus ergibt sich folgende Bewertung:



< 100 Meter sehr hohes Risiko, 100 – 200 Meter hohes Risiko, 200 – 300 Meter moderates Risiko, 300 – 400 Meter geringes Risiko und 400 Meter < sehr geringes Risiko

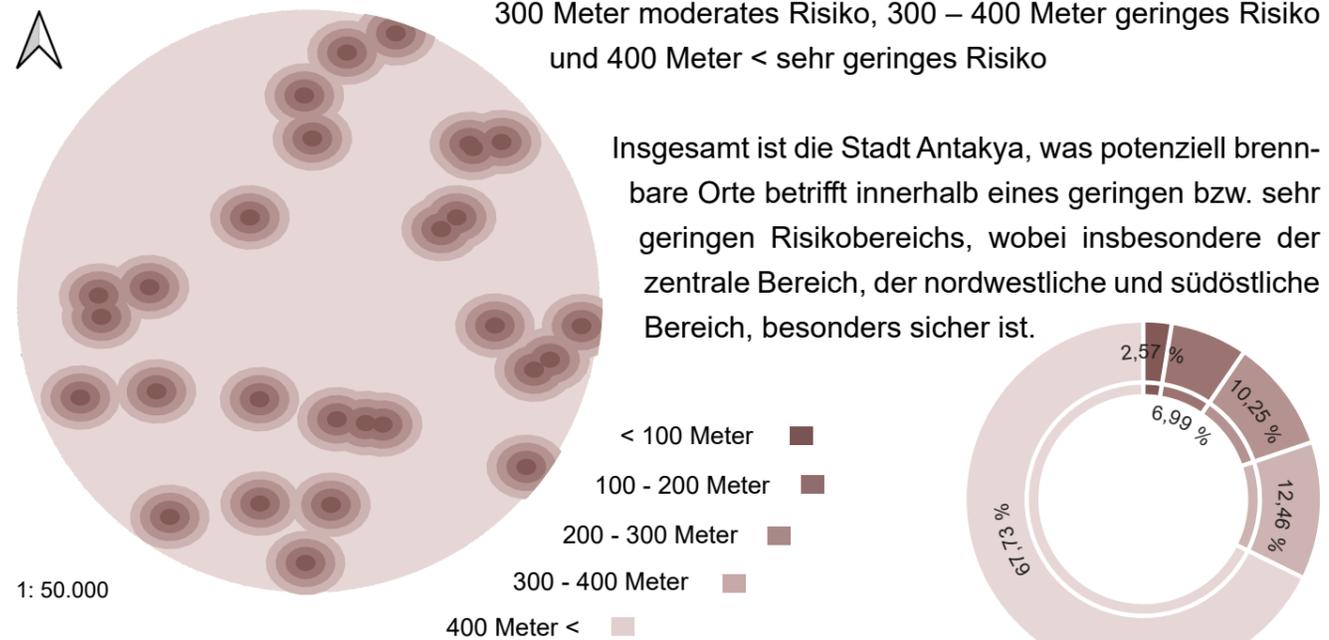


Abb. 59: Brennbare Orte Puffer (Eigene Abbildung).

Abb. 60: Kreisdiagramm Distanz zu brennbaren Orten Prozente (Eigene Abbildung).

11 Um eine effektive Analyse und Bewertung durchzuführen, wurde auch überprüft, ob es brennbare Orte außerhalb des Untersuchungsgebiets gibt, die mit ihrem Radius in das Untersuchungsgebiet fallen würden.

12 Die Literatur bezieht sich hier stark auf das Konzentrationsverhältnis des Gases (Kukfisz et al 2022: 8).

4.1.8 Mikrozonierung

In Kombination mit allen relevanten Parametern und deren fünf Kategorienbereiche wurde die gewichtete Überlagerung durchgeführt. Zuerst mussten alle vektorbasierten Analysen in Raster umgewandelt werden. Ausnahme hierzu sind beide topographischen Analysen und die hydrologische Analyse – Tiefe des Grundwassers, da diese als Raster analysiert wurden.

Gleichzeitig wurde jede einzelne Bewertung mit einer Zahl von eins bis fünf reklassifiziert, sodass alle Rasteranalysen standardisierte Ergebnisse haben. So wurde die Beschreibung „sehr hohes Risiko“ mit einer eins, „hohes Risiko“ mit einer zwei, „moderates Risiko“ mit einer drei, „geringes Risiko“ mit einer vier und „sehr geringes Risiko“ mit einer fünf bewertet.

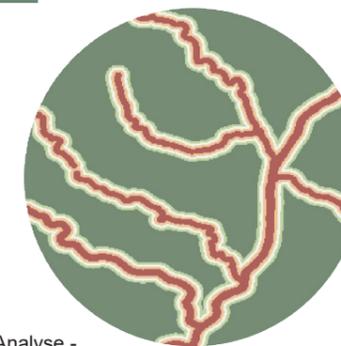
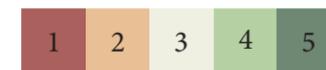


Abb. 61: Raster Hydrologische Analyse - Distanz zu Wassersystemen (Eigene Abbildung).



Abb. 62: Raster Hydrologische Analyse - Tiefe des Grundwassers (Eigene Abbildung).



Abb. 63: Raster Geologische Analyse - Distanz zu Verwerfungslinie (Eigene Abbildung).



Abb. 64: Raster Geologische Analyse – Bodenbewertung (Eigene Abbildung).

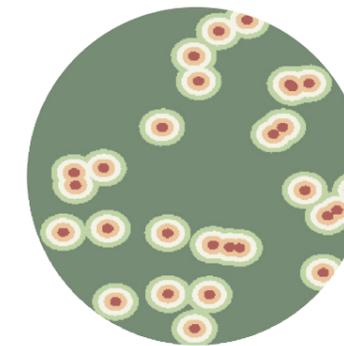


Abb. 65: Raster Distanz zu brennbaren Orten (Eigene Abbildung).

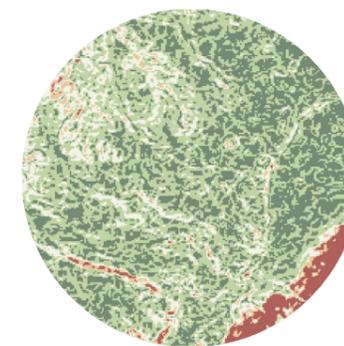


Abb. 66: Raster Topographische Analyse - Hangneigung (Eigene Abbildung).



Abb. 67: Raster Topographische Analyse - Geländehöhen (Eigene Abbildung).

Um ein optimales Ergebnis zu erhalten, bedarf es einer Gewichtung der einzelnen Parameter (max. 100 %). Dabei gilt: je wichtiger der Parameter für eine erdbebenresilienten Stadtplanung ist, desto höher wird dieser gewertet. Die Gewichtung der einzelnen Parameter ist somit wie folgt:

1. Geländehöhe (Höhenunterschied): 12,5 %

Die Geländehöhe kann die Intensität von Erdbeben beeinflussen, da sie Auswirkungen auf die Ausbreitung der seismischen Wellen hat. Eine moderate Gewichtung von 12,5 % wird vorgeschlagen, da die Höhe zwar wichtig ist, aber nicht der einzige entscheidende Faktor für das Erdbebenrisiko ist.

2. Neigung: 12,5 %

Die Neigung des Geländes beeinflusst die Stabilität von Hängen und Hanglagen und erhöht das Risiko von Erdrutschen während eines Erdbebens. Eine moderate Gewichtung von 12,5 % spiegelt die Bedeutung dieses Faktors wider, ohne ihn überzubewerten.

3. Böden: 30 %

Die Bodenart ist entscheidend, da sie die Übertragung von Erdbebenbewegungen stark beeinflussen kann. Eine höhere Gewichtung von 30 % wird empfohlen, da sie einer der Hauptfaktoren zur Erhöhung des Erdbebenrisikos ist.

4. Distanz zur Verwerfungslinie: 30 %

Die Nähe zur nächsten Verwerfungslinie ist ein entscheidender Faktor für das Erdbebenrisiko, da sich Erdbeben entlang von Verwerfungen ereignen. Eine starke Gewichtung von 30 % spiegelt die hohe Relevanz dieses Parameters wider.

5. Tiefe des Grundwassers: 5 %

Die Grundwassertiefe kann das Risiko von Bodenverflüssigung beeinflussen, was ein großes Problem darstellen kann. Da jedoch die Verflüssigung nur bei bestimmten Bodentypen vorkommen kann und der Parameter „Boden“ schon höher bewertet wurde, wird hier eine geringe Gewichtung von 5 % als angemessen für diesen Faktor betrachtet.

6. Distanz zu Wassersystemen: 5 %

Die Nähe zu Wassersystemen kann das Risiko von Hochwasser oder Erdrutschen während eines Erdbebens erhöhen. Eine geringe Gewichtung von 5 % ist angemessen, um diese Gefahren zu berücksichtigen.

7. Distanz zu brennbaren Orten: 5 %

Die Nähe zu brennbaren Orten kann nach einem Erdbeben das Risiko von Bränden erhöhen. Eine geringe Gewichtung von 5 % berücksichtigt dieses Risiko, ohne es übermäßig zu gewichten.

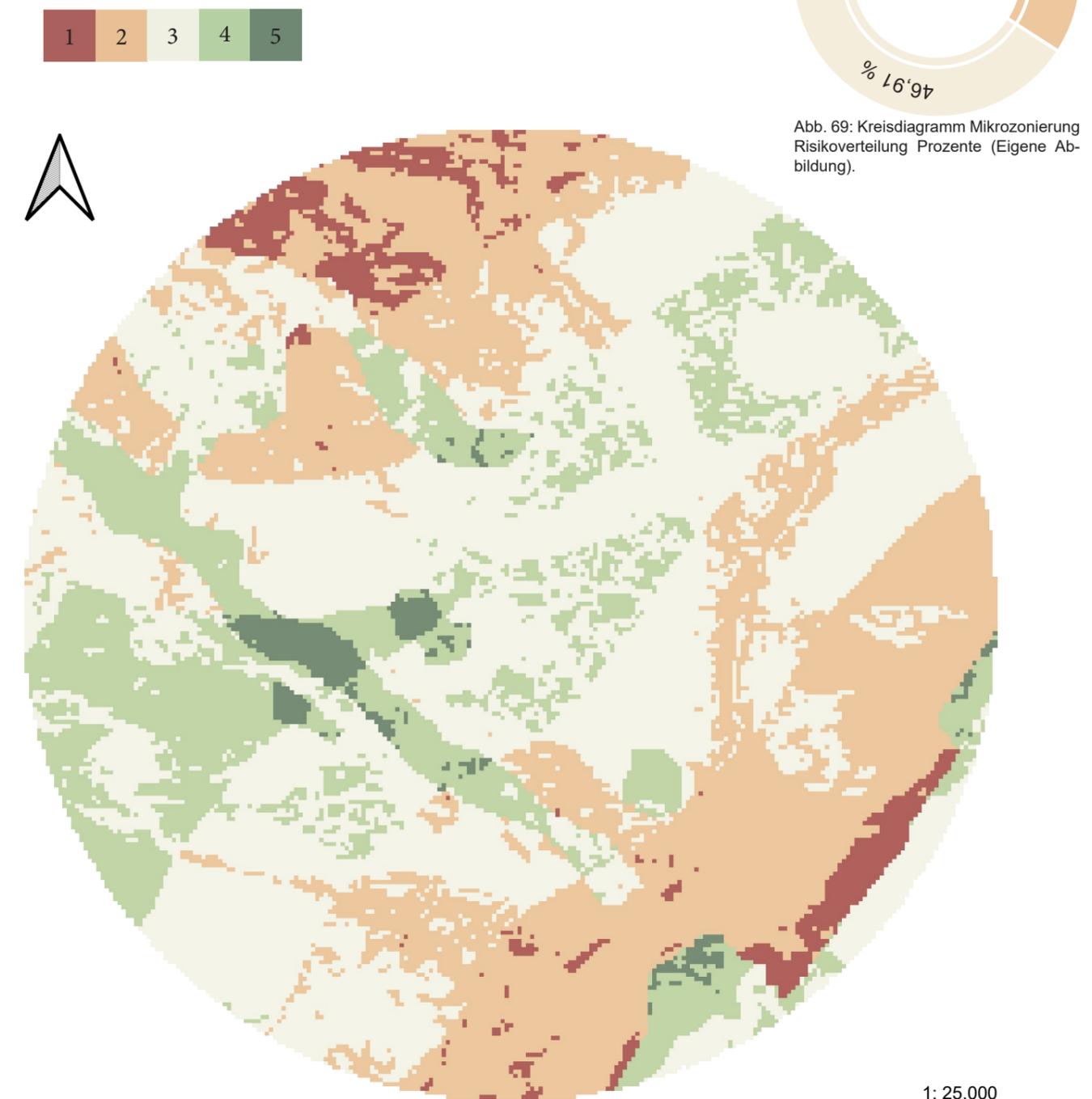


Abb. 69: Kreisdiagramm Mikrozonierung Risikoverteilung Prozenste (Eigene Abbildung).

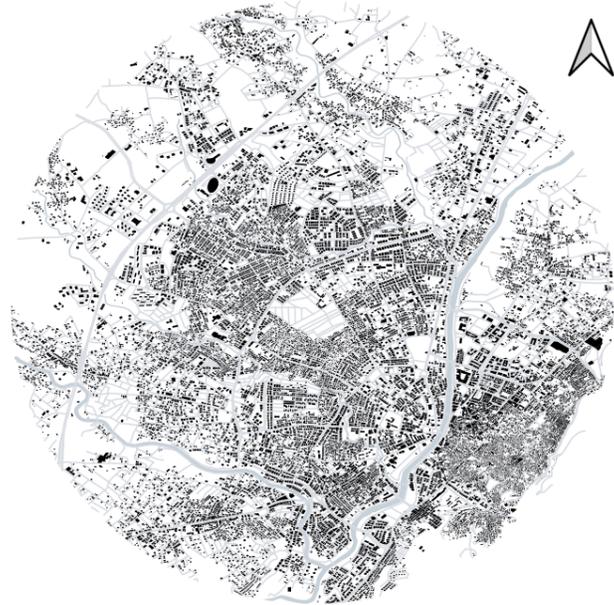
Abb. 68: Mikrozonierung der Stadt Antakya (Eigene Abbildung).

1: 25.000

4.2 Analysekarten - Weitere Parameter

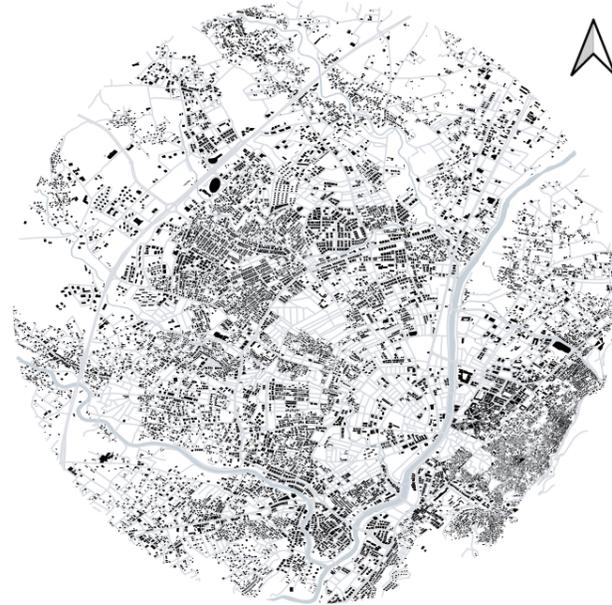
4.2.1 Brachflächenanalyse

Die Brachflächen innerhalb des Untersuchungsgebiets wurden anhand einer Fernerkundungsbeobachtung über das gesamte Untersuchungsgebiet, durch Satellitenbilder und Straßenansichten, identifiziert (Abb. 70). Um die identifizierten Flächen zu validieren, wurden die Gebäudedaten aus OpenStreetMap vor dem Erdbeben mit den identifizierten Flächen verglichen und angepasst, so dass ausschließlich Flächen gewählt wurden, die durch das Erdbeben betroffen waren. Daraus folgten folgende Ergebnisse:



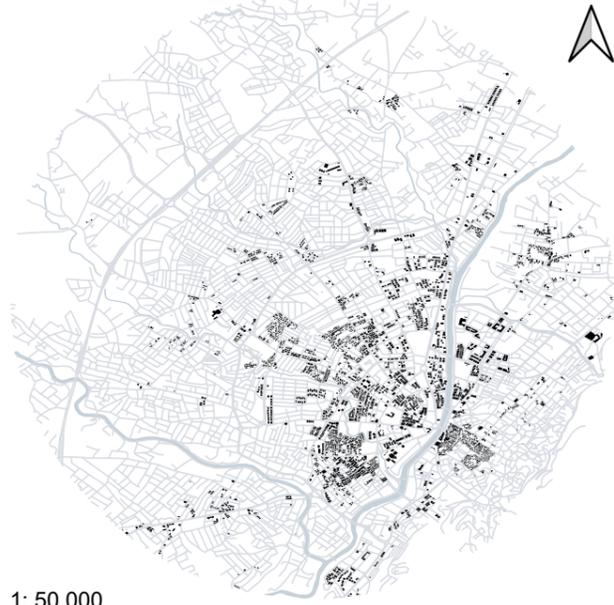
1: 50.000

Abb. 71: Schwarzplan vor dem Erdbeben (Eigene Abbildung).



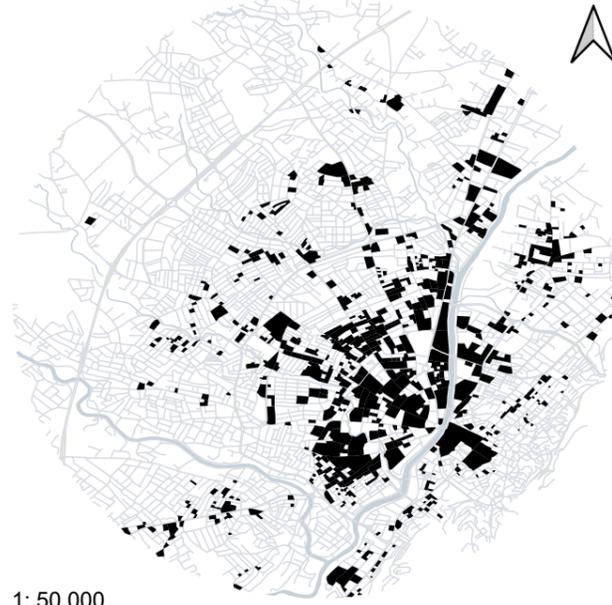
1: 50.000

Abb. 72: Schwarzplan nach dem Erdbeben Februar 2023 (Eigene Abbildung).



1: 50.000

Abb. 73: Zerstörte Gebäude (Eigene Abbildung).



1: 50.000

Abb. 74: Betroffene Flächen in etwa 3.143.881 m² (Eigene Abbildung).

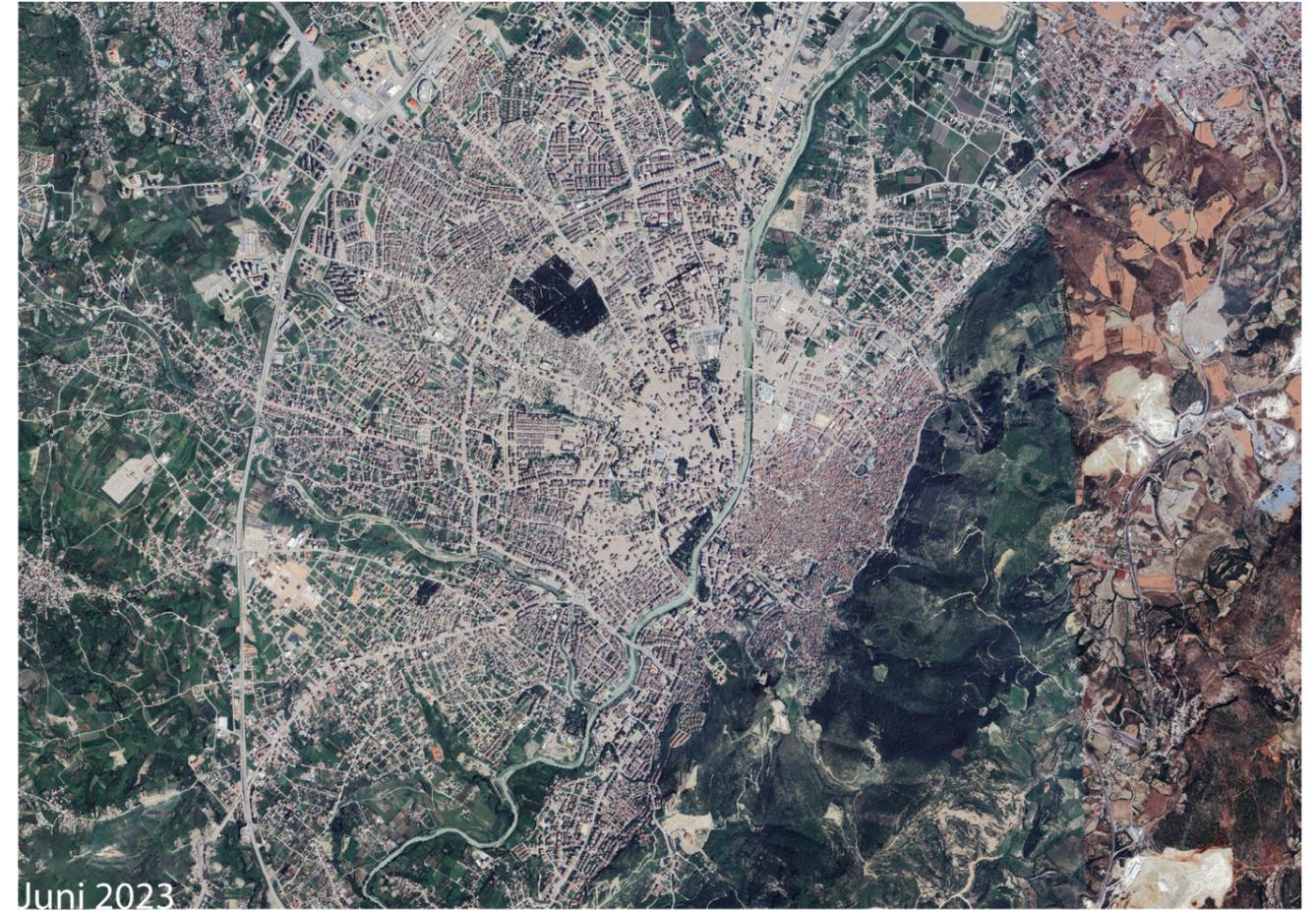


Abb. 70: Stadt Antakya, Stand 06.2023 (Google Earth 2023b).

Insbesondere in der Altstadt, aber auch in einem sehr großen, zentralen Bereich der Neustadt sind viele zerstörte Gebäude zu erkennen. Vor allem entlang des Hauptflusses scheinen sich die meisten zerstörten Flächen, bzw. Gebäude zu befinden.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Bewertung der Mikrozonierung und die reale Zerstörung, ermittelt durch die Fernerkundungsbeobachtung, zum Teil aufeinandertreffen. Dabei sind vor allem die Bereiche entlang des Flusses zerstört worden, sowie die Einrichtungen innerhalb der Altstadt. Es sind aber auch Ausreißer zu erkennen, wie die Bereiche innerhalb der Neustadt, die zwar als moderates, bzw. geringes Risiko eingestuft worden waren, jedoch auch zerstörte Einrichtungen vorweisen (Abb. 75).



Abb. 75: Betroffene Flächen im Verhältnis zu den Risikozonen (Eigene Abbildung).

1: 25.000

4.2.2 Grün- & Freiflächenanalyse

Die Grün- und Freiflächen wurden zunächst über OpenStreetMap ausfindig gemacht und anschließend über eine Fernerkundungsbeobachtung validiert.¹³ Anschließend wurden die identifizierten Flächen nach ihrer Art kategorisiert. Im Untersuchungsgebiet ergaben sich Friedhöfe, Park-, Grün-Erholungs- und Sportanlagen. Anschließend wurde anhand einer Netzwerkanalyse¹⁴ die Zugänglichkeit zu den ermittelten Flächen berechnet. Aufgrund der Bedeutung von städtischem Grün für die Gesundheit der Stadtbewohner wird von der World Health Organization ein Abstand von fünf Gehminuten empfohlen (WHO 2017: 9).

Um zu ermitteln, welche Entfernung eine durchschnittliche Gehdistanz innerhalb 5 Minuten erreicht

¹³ Um eine effektive Analyse und Bewertung durchzuführen, wurde auch überprüft, ob es Grünflächen außerhalb des Untersuchungsgebiets gibt, die mit ihrem Radius in das Untersuchungsgebiet fallen würden.

¹⁴ Eine Netzwerkanalyse, nimmt den Straßenlayer als Grundlage und gibt an, wie weit eine Person mit den angegebenen Werten innerhalb der Stadt sich fortbewegen kann (Erreichbarkeit).

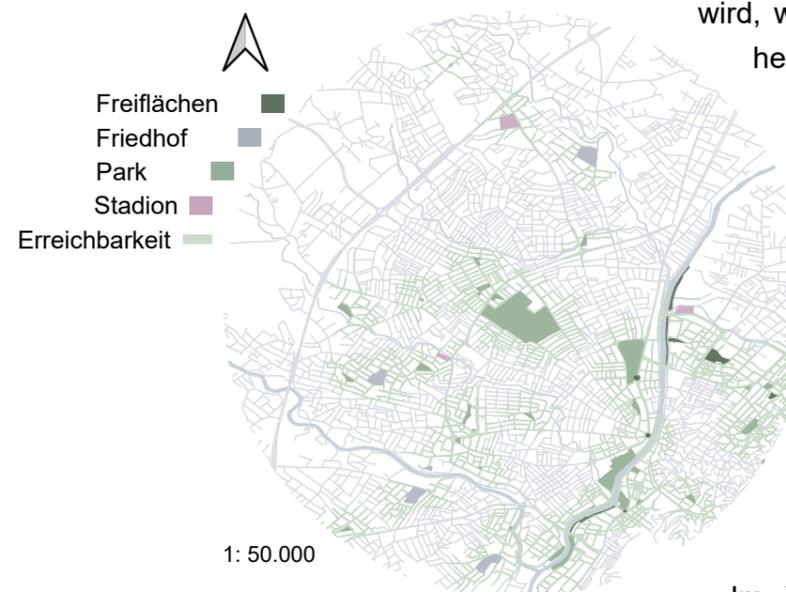


Abb. 76: Grün- und Freiflächen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).

1: 50.000

4.2.3 ÖPNV - Analyse

Auch die Bushaltestellen wurden anhand einer Fernerkundungsbeobachtung gekennzeichnet. Zudem wurde an den jeweiligen Bushaltestellen eine Netzwerkanalyse, um die Erreichbarkeit der Bushaltestellen zu ermitteln, von 350 und 700 Metern angesetzt. Eine Befragung in Deutschland hatte gezeigt, dass Bürger eher den Bus benutzen, wenn die Haltestelle innerhalb einer Distanz von 5 bis 10 Gehminuten entfernt liegt (Sarker et al 2018: 49).

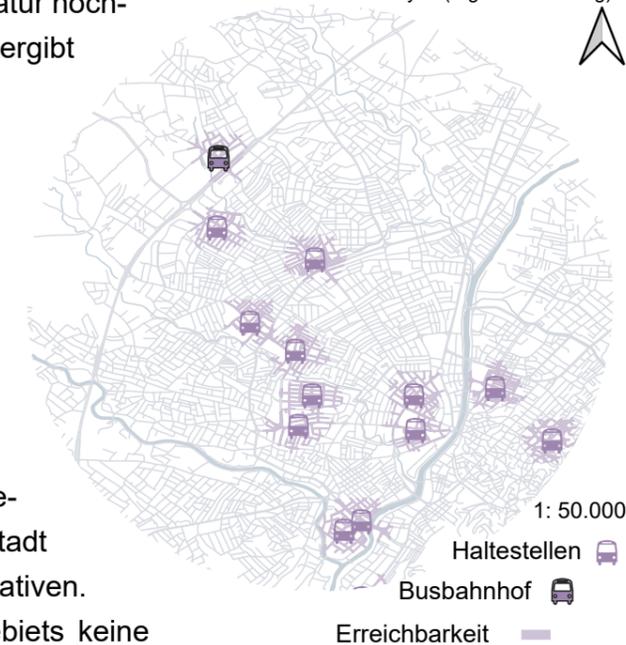
Hierfür wurde erneut die Literatur von Fitzpatrick et al 2006 herangezogen. Werden erneut die Ergebnisse aus der Literatur hochgerechnet und entsprechend auf Meter konvertiert, ergibt sich eine Distanz von 350 und 700 Metern.

Im Norden entlang der Schnellstraße befindet sich der Busbahnhof, welcher die Stadt Antakya mit den Städten Topbogazi und Yayladag verbindet. Gleichzeitig führen zwei Buslinien vom Busbahnhof aus dorthin und verbinden so die Stadt anhand einer Nordwest – Südost Verbindung. Es ist ein deutliches Defizit an öffentlichen Verkehrsmitteln zu erkennen. Zum einen reichen die vorhandenen Bushaltestellen nicht aus, um die gesamte Stadt abzudecken, noch existieren andere ÖPNV Alternativen. Zudem existieren innerhalb des Untersuchungsgebiets keine gekennzeichneten Fahrradwege.

wird, wurde die Literatur von Fitzpatrick et al 2006 herangezogen. In dieser Studie wurde an unterschiedlichen Altersgruppen untersucht, wieviel Fuß pro Sekunde sie gehen können. Aus der Studie ergab sich eine durchschnittliche Gehgeschwindigkeit (von allen Altersgruppen) von etwa 3,82 Fuß pro Sekunde (in etwa 1,16 Meter pro Sekunde) (Fitzpatrick et al 2006: 23). Wird diese Zahl auf 5 Minuten hochgerechnet und entsprechend auf Meter konvertiert, ergibt sich eine Entfernung von etwa 350 Metern.

Im Verhältnis zur Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets beträgt die Menge an Grün- und Freiflächen 2,68 %. Zudem wird durch die Netzwerkanalyse ersichtlich, dass nicht in der gesamten Stadt innerhalb eines 5 Gehminuten Radius von einer grün- oder Freifläche erreichbar ist.

Abb. 77: Bushaltestellen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).



1: 50.000

Haltestellen

Busbahnhof

Erreichbarkeit

4.2.5 Bestandsanalyse - kritische Infrastruktur

Mit dem Eurocode 8 als Grundlage (siehe Kapitel 2.3.1) wurden alle Einrichtungen, wie administrative Gebäude, Krankenhäuser, Polizeistationen, Feuerwehrwachen und Bildungs- sowie religiöse Einrichtungen über eine Fernerkundungsbeobachtung überprüft und anschließend symbolisiert. Obwohl Kraftwerke ebenfalls in diese Kategorie fallen, entfallen sie in Rahmen dieser Analyse, da es keine Kraftwerke im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Während Krankenhäuser, Polizeistationen, administrative Gebäude sowie Feuerwehrzentren insbesondere für die Durchführung von Maßnahmen während und nach einem Erdbeben wichtig sind, sind Bildungs- und religiöse Einrichtungen wichtig für das Unterbringen der Bürger an einem Evakuierungsort, ob kurzfristig oder längerfristig.¹⁵

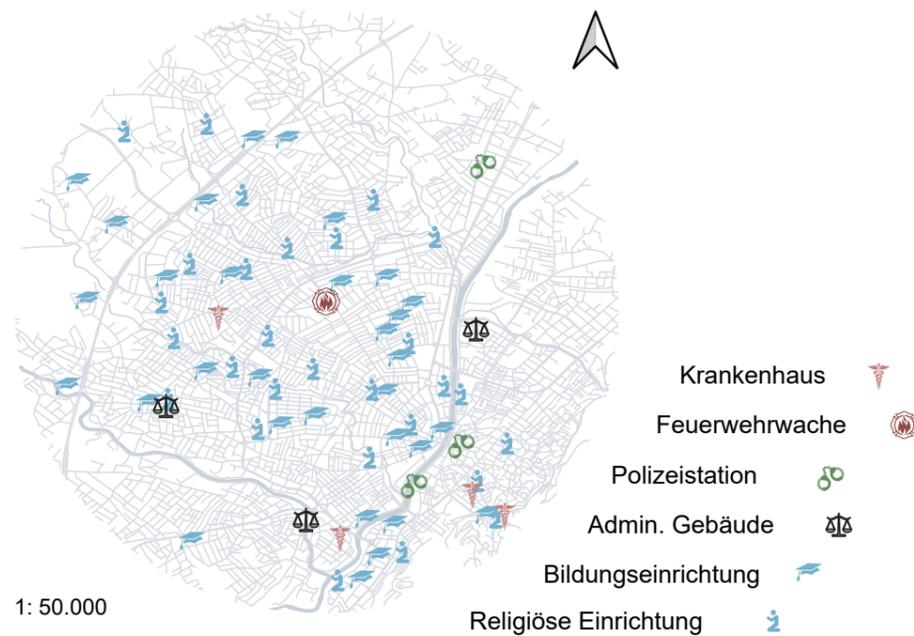


Abb. 81: Kritische Infrastruktur nach dem Erdbeben Februar 2023 (Eigene Abbildung).

¹⁵ Es wurde auch überprüft, ob die erwähnten Einrichtungen auch außerhalb des Untersuchungsgebiets vorhanden sind.

4.3 Strategischer Rahmenplan - Maßnahmen

Im Folgenden sollen nun alle Maßnahmen, die im theoretischen Hintergrund ermittelt wurden, anhand der Analysen, insbesondere der Mikrozonierung, lokalisiert werden. Dabei soll jede Maßnahme zunächst separat vorgestellt werden und im Anschluss in Form des strategischen Rahmenplans, indem die räumliche Verteilung und Konnektivität der Maßnahmen dargestellt werden, visualisiert werden.

Stadtplanung und Entwicklung	
M1 Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien	
Beschreibung der Maßnahme	
Die Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien ermöglicht es, bestimmte Bauvorhaben in andere Gebiete innerhalb der städtischen Grenzen zu verlagern. Damit können gefährliche Zonen unter anderem freigehalten werden. Die Festlegung dieser Regeln in diesen Gebieten dient der ordnungsgemäßen Nutzung, wobei das Ziel nicht das Blockieren von Bauvorhaben ist, sondern den Bau in weniger gefährliche Zonen zu lenken. Dies ermöglicht eine sichere Entwicklung der Stadt.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierungsanalyse (Hydrologische, Topographische, Geomorphologische Analyse, Distanz zu brennbaren Orten)	Praxisbeispiel Haiti

Die Mikrozonierung ergab fünf unterschiedliche Bereiche, die mit Bodennutzungsrichtlinien gekennzeichnet werden können.

Bereiche mit sehr geringem Risiko

(1) Diese Bereiche sind einem äußerst geringen Erdbebenrisiko ausgesetzt.

Die Flächen in diesen Bereichen werden vorrangig als potenzielles Bauland betrachtet.

Jegliche Bauvorhaben sind gestattet, unter der Voraussetzung, dass sie den örtlichen Baubestimmungen und Sicherheitsvorschriften entsprechen.

(2) Zulässig ist die Errichtung von Wohn-, Gewerbe-, Misch- und Industriegebieten.

(3) Insbesondere kritische Infrastrukturen wie

- Kraftwerke,
- Gesundheitseinrichtungen,
- Bildungseinrichtungen,
- Feuerwehrzentralen,
- Versorgungszentralen,
- Polizeistationen,
- Und weitere Gebäude, deren Unversehrtheit bei Erdbeben für den Katastrophenschutz von entscheidender Bedeutung ist, sollen in diesen Bereichen errichtet werden.

Bereiche mit geringem Risiko

- (1) Diese Bereiche sind einem geringen Erdbebenrisiko ausgesetzt. Die Flächen in diesen Bereichen werden vorrangig als potenzielles Bauland betrachtet. Jegliche Bauvorhaben sind gestattet, unter der Voraussetzung, dass sie den örtlichen Baubestimmungen und Sicherheitsvorschriften entsprechen.
- (2) Zulässig ist die Errichtung von Wohn-, Gewerbe-, Misch- und Industriegebieten.
- (3) Insbesondere Bildungseinrichtungen sollten in diesen Bereichen errichtet werden.
- (4) In Ausnahmefällen können
 - a. Gesundheitseinrichtungen,
 - b. Kraftwerke,
 - c. Feuerwehrzentralen,
 - d. Versorgungszentralen,
 - e. Polizeistationen,
 - f. Und weitere Gebäude, deren Unversehrtheit bei Erdbeben für den Katastrophenschutz von entscheidender Bedeutung ist, sollen in diesen Bereichen errichtet werden.

Bereiche mit moderatem Risiko

- (1) Diese Bereiche sind einem moderaten Erdbebenrisiko ausgesetzt.
- (2) Jegliche Bauvorhaben sind gestattet, unter der Voraussetzung, dass sie den örtlichen Baubestimmungen und Sicherheitsvorschriften entsprechen.
- (3) Zugelassen sind Wohn-, Gewerbe-, Misch- und Industriegebiete.
- (4) Kritische Infrastrukturen und weitere Gebäude, deren Unversehrtheit bei Erdbeben für den Katastrophenschutz von entscheidender Bedeutung ist, sind nicht zugelassen.

Bereiche mit hohem Risiko

- (1) Diese Bereiche sind einem starken Erdbebenrisiko ausgesetzt. Die Flächen in diesem Bereichen dienen vorwiegend als Grün- und Freiraum. Das Errichten von baulichen Anlagen ist nur in Ausnahmefällen gestattet und sollte, falls möglich, vermieden werden. Falls bauliche Anlagen errichtet werden sollen, sollten weitere Regelungen zu Abstandsflächen, Gebäudehöhen und zur Grundflächenzahl geregelt werden.
- (2) Kritische Infrastrukturen und weitere Gebäude, deren Unversehrtheit bei Erdbeben für den Katastrophenschutz von entscheidender Bedeutung sind, sind nicht zugelassen.
- (3) Zugelassen sind
 - a. Traditionelle landwirtschaftliche Nutzungen,
 - b. Betriebe für den öffentlichen Dienst und wichtige Infrastruktur.

Bereiche mit sehr hohem Risiko

- (1) Diese Bereiche sind einem sehr starken Erdbebenrisiko ausgesetzt. Die Flächen in diesem Bereichen dienen vorwiegend als Grün- und Freifläche. Bauvorhaben sind grundsätzlich nicht gestattet.
- (2) In Ausnahmefällen zugelassen sind traditionelle landwirtschaftliche Nutzungen.

Risikoanalyse: Da Risiken in Erdbebengebieten nie ausgeschlossen werden können, sollten bei jedem Bauantrag die lokalen Gegebenheiten analysiert werden. Sofern die Errichtung keine Kaskadeneffekte begünstigt und keine weiteren Belange entgegenstehen, kann das Bauvorhaben genehmigt werden.

Hierfür müssen folgende Studien eingereicht werden:

1. Geologische,
2. Topographische,
3. Hydrologische,
4. Distanz zu brennbaren Orten muss ausgewiesen sein.

Die Art und Menge der Analysen können nach Standort variieren und können auch weitere Analysen erfordern.

Standortbasierte Nutzungen: Spezielle Nutzungsarten, insbesondere industrielle Betriebe, sind von spezifischen Standortvorteilen abhängig. Sollte dennoch der Wunsch bestehen, solche Nutzungen in einem hochriskanten Bereich zu etablieren, bedarf es zusätzlicher Sicherheitsvorschriften, darunter Regelungen zur Begrenzung der Gebäudehöhe, zur Schaffung von Abstandsflächen und weitere Maßnahmen, die vor allem im Rahmen der Bauvorschriften festgelegt werden müssen.

Anhand der Mikrozonierung und der Brachflächenanalyse können den durch das Erdbeben zerstörten Flächen neue Nutzungen zugeteilt, aber auch eine neue erdbebensicherere Gestaltung geplant werden. Folglich wurden alle Brachflächen nach den Zonierungen von der Maßnahme M1 Errichtung von Bodennutzungsrichtlinien entsprechend zugeteilt.

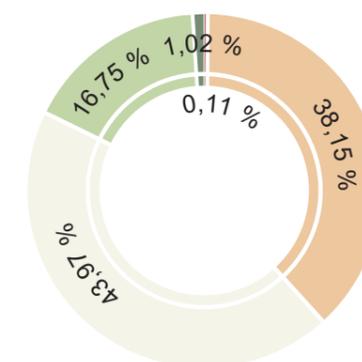


Abb. 83: Brachflächen im Verhältnis zur Bodennutzungsrichtlinie Prozente (Eigene Abbildung).

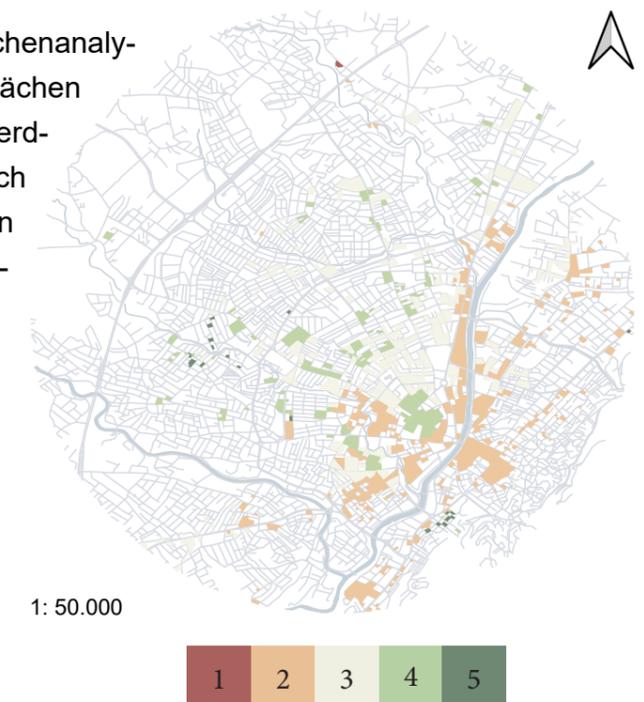


Abb. 82: Brachflächen im Verhältnis zu den Bodennutzungsrichtlinien (Eigene Abbildung).

Stadtplanung und Entwicklung	
M2 Dezentralisierung und Versorgungszentren	
Beschreibung der Maßnahme	
Um das Zentrum der Stadt zu entlasten und um die Anzahl der Menschen innerhalb dieser Bereiche während einer Katastrophe zu reduzieren, muss eine Dezentralisierung in der Stadt vorgenommen werden. Um dies zu ermöglichen, sollen sogenannte Versorgungszentren etabliert werden. Versorgungszentren dienen als zentrale Stellen für die Versorgung und den Transport von Ressourcen an die Evakuierungsorte. Zudem steuern sie den Informationsfluss und koordinieren gleichzeitig Evakuierungen.	
Außerhalb von Katastrophenzeiten sollen diese Versorgungszentren als kleines städtisches Zentrum mit unterschiedlichen Dienstleistungen und administrativen Gebäuden dienen.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierung	Praxisbeispiel Chile
Brachflächenanalyse	Praxisbeispiel Japan
M1 Bodennutzungsrichtlinie	
M7 Evakuierungswege	

Insgesamt konnten sieben potenzielle Flächen identifiziert werden. Dabei ist es wichtig, dass alle Flächen zum einen innerhalb der Zonen 4 und 5 der Mikrozonierung liegen und entweder an Hauptstraßen oder Nebenstraßen, die als Evakuierungswege gekennzeichnet wurden, anbinden. Die Flächen sollen dazu beitragen, Gewerbe und anderen Dienstleistungen zu lokalisieren und dabei das dichte und risikofolle Zentrum zu entlasten. Mit der Lokalisierung dieser Standorte sind alle Evakuierungsorte maximal 2,5 km von einem Versorgungszentrum entfernt und können somit während Katastrophenzeiten versorgt werden.

In Kombination zu dieser Maßnahme und der im theoretischen Hintergrund ergebenden Kriterien zur Erstellung von Gebäuden in Erdbebenrisikogebieten wurden zwei skizzenhafte Darstellungen, die zur Visualisierung dienen sollen, vorbereitet. Dabei sollen ausschließlich die Kriterien zur erdbebensicheren Gestaltung im Vordergrund stehen.

Weitere Standorte könnten im Rahmen weiterer Analysen identifiziert werden. In Hinblick zur neuen Gestaltung der Stadt Antakya nachdem Erdbeben wurden ausschließlich Flächen aus der Brachflächenanalyse entnommen. Zusätzlich zu den Kriterien sah es die Maßnahme vor, die Standorte in allen Himmelsrichtungen anzusiedeln, sodass jeder Bereich innerhalb der Stadt Antakya versorgt werden kann.

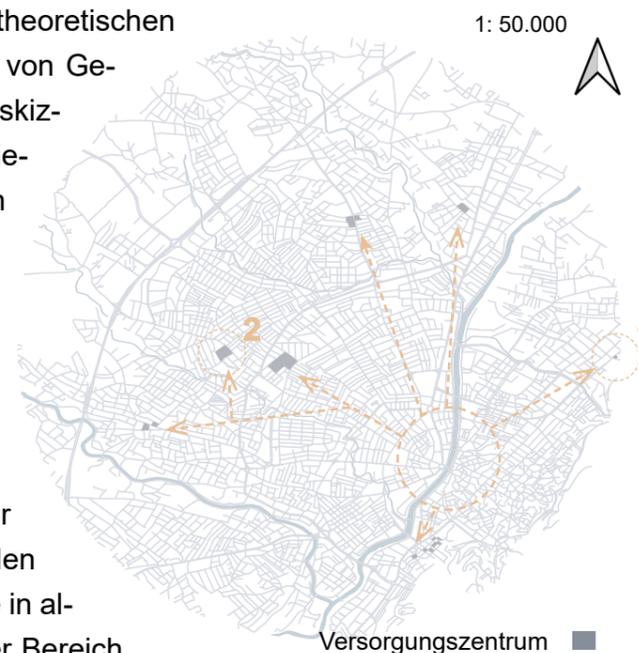


Abb. 84: Mögliche Versorgungszentren und Entlastung des Zentrums (Eigene Abbildung).

Evakuierungsweg:

Der Evakuierungsweg verbindet das Versorgungszentrum anhand einer Nordost und Südwest Verbindung. (siehe M7).

Feuersichere Bebauung:

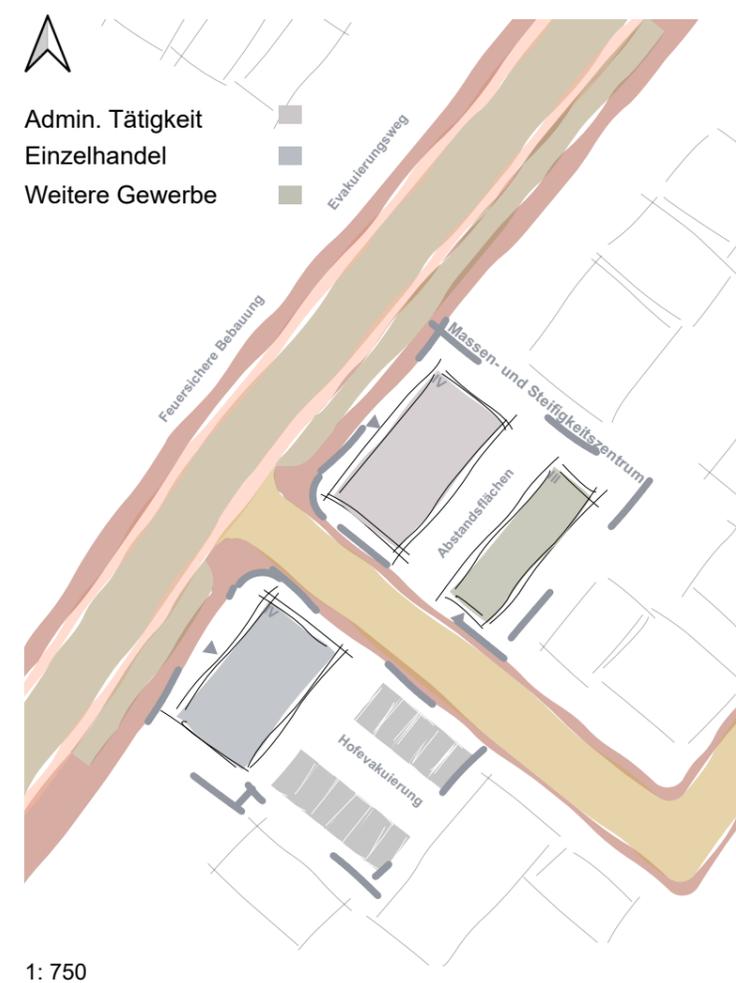
Beide Baukörper entlang des Evakuierungswegs sollen feuersicher errichtet werden, sodass im Notfall der Evakuierungsweg geschützt ist.

Massen- und Steifigkeitszentrum:

Der Grundriss der einzelnen Baukörper wurde explizit so gewählt, sodass das Massen- und Steifigkeitszentrum nah beieinander bestehen können. Andere Bebauungsstruktur können auch infrage kommen (siehe Kapitel 2.3.4).

Eingänge:

Die Eingänge orientieren sich stets Richtung zum nächstmöglichen Evakuierungsort. Dabei haben die beiden Baukörper entlang der Hauptstraße ihre Eingänge dort, um auf den gekennzeichneten Evakuierungsweg auszuweichen, während die hintere Bebauung einen seitlichen Haupteingang hat, um auf die Hofevakuierungsfläche, aber auch um Richtung Evakuierungsweg ausweichen zu können. Zeitgleich bietet sich es auch an, weitere Eingänge insbesondere in die Innenhofbereiche zu setzen.



Parkfläche:

Die Parkfläche hier, dient zusätzlich als Evakuierungsfläche. Die Parkflächen haben eine Länge von fünf und eine Breite von 2,5 Meter. Die Lücken zwischen Planungsgrenze und Parkfläche können begrünt werden. Das gleiche gilt für den Bereich zwischen der Parkfläche und dem Bürgersteig.

Geschossigkeit & Abstandsflächen: Beide Kriterien ergeben sich aus dem türkischen Baurecht und wurden hier entsprechend den Vorgaben angewendet.

Als Empfehlung könnten sich hier am Versorgungszentrum administrative Tätigkeiten des öffentlichen Dienstes, kleine Einzelhandel oder weitere Gewerbearten ansiedeln.

Abb. 85: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung eines Versorgungszentrum 1 (Eigene Abbildung).

Evakuierungsweg:

Der Evakuierungsweg verbindet das Versorgungszentrum anhand einer Nordwest und Südost Verbindung (siehe M7).

Feuersichere Bebauung:

Entlang des Evakuierungswegs wurden zwei Baukörper platziert, die den Evakuierungsweg schützen soll.

Hofevakuierung:

Innerhalb der skizzierten Darstellung sind mehrere Flächen als kurzfristige Evakuierungsflächen gekennzeichnet.

Eingänge:

Die Eingänge orientieren sich an die jeweiligen Erschließungsstraßen. Die Anzahl der Eingänge kann sicherlich auch mit einem Hinterhofausgang ergänzt werden, um eine weitere Evakuierungsmöglichkeit zu gewährleisten.

Offene Bauweise:

Die offene Bauweise mit genügen Abstandsflächen ermöglicht zum einen, dass ein Aufprall zwischen den Gebäuden vermieden werden und öffnet den Freiraumbereich auch für Bewohner außerhalb des Baufeldes. Zeitgleich können dadurch Wegstrukturen konzipiert werden, die eine zusätzliche Evakuierung ermöglichen.

Massen- und Steifigkeitszentrum:

Auch hier wurde ein simples design angewendet, um eine sichere erdbebenresiliente Bauweise in den Vordergrund zu bringen.

Parkfläche:

Die Parkfläche sollen dazu dienen zum einen den ruhenden Verkehr zu verlagern und somit den Platz auf den Straßen zu öffnen. Zeitgleich kann die Parkfläche als kurzfristige Evakuierungsfläche dienen. Gegebenenfalls könnte die Parkfläche erweitert werden.

Geschossigkeiten & Abstandsflächen:

Die Geschossigkeiten und Abstandsflächen ergeben sich aus dem türkischen Baurecht. Die Gebäude entlang der Hauptstraße (15 Meter breit) sind fünfgeschossig, die Gebäude entlang der Nebenstraße drei- und die innerhalb der Planfläche viergeschossig. Die Abstandsflächen variieren dementsprechend mit einem neun Meter Abstand von den fünfgeschossigen Gebäuden, während die restliche Bebauung eine Mindestabstandsfläche von sechs Meter aufweisen muss.

Nutzungen:

Da dieses Versorgungszentrum eines der größeren Flächen ist, bietet es sich an unterschiedliche Nutzungen zu verorten. Dabei wurden die drei größeren Baukörper als möglicher Einzelhandel, die Gebäude entlang der bestehenden Straßen als Dienstleistung und die Bebauung im Südwesten für

administrative Tätigen des öffentlichen Dienstes gekennzeichnet.

Neue Erschließungsstraße:

Um eine Erschließung zu den einzelnen Gebäuden zu ermöglichen wird die Gestaltung eine neue Straße empfohlen, die mit einer Breite von zehn Meter gestaltet wird, wobei vier Meter als Fußweg und sechs Meter als Verkehrsbereich gekennzeichnet werden soll.



1: 1.250

Abb. 86: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung eines Versorgungszentrum 2 (Eigene Abbildung).

Einzelhandel
Admin. Tätigkeiten
Dienstleistung

Stadtplanung und Entwicklung	
M3 Gestaltung zerstörter Baugebiete	
Beschreibung der Maßnahme	
Die Maßnahme umfasst die kleinteilige Gestaltung eines Stadtteils, bzw. eines Quartiers, welches durch ein Erdbeben zerstört wurde und wiederaufgebaut werden soll. Dabei soll ausschließlich die erdbebenresiliente Stadtplanung im Vordergrund stehen.	
1. Die einzelnen Baufelder sollen entsprechend der Detailansicht aus dem Praxisbeispiel Japan gestaltet werden, sofern dies möglich ist. Ziel ist es, Hofflächen zu etablieren, um eine kleine Evakuierungsfreifläche zu ermöglichen.	
2. Die Gebäudestandards sollen miteinbezogen werden. Dabei soll gleichzeitig auf die Gestaltung des Grundrisses, die Gestaltung des Aufrisses und auf die Geschossigkeit geachtet werden, so dass die Gefahr eines Einsturzes minimiert wird.	
3. Das Maß der Bebauung (Geschossigkeiten, Abstandsflächen) ergibt sich aus dem türkischen Planungsrecht und soll auch so angewendet werden.	
4. Die Hofflächen sollen miteinander verbunden werden, um eine sichere Evakuierung zu den designierten Evakuierungsorten gewährleisten zu können.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierung	Praxisbeispiel Japan
Brachflächenanalyse	Kapitel 2.3.4 - Gebäudestandards
M1 Bodennutzungsrichtlinie	
M7 Evakuierungswege	

Im Rahmen dieser Maßnahme wird die Gestaltung einer Baulandfläche in Skizzenform dargestellt. Die Zeichnung und Planung entsprechen der sich aus dem theoretischen Hintergrund ergebenden Kriterien und sollen ausschließlich als Visualisierung für diese dienen.

In der Skizze wurde das Gebiet entsprechend seiner Zonierung für verschiedene Nutzungen aufgeteilt. Die Gebäude für Wohn- und Gewerbenutzungen sind innerhalb der Zone 3 platziert, während der Freiraum sich in Zone 4 befindet. Bei dieser Neugestaltung steht die erdbebenresistente Bauweise im Vordergrund. Die Höhe der Gebäude und ihre Geschossigkeit orientieren sich an den Erschließungsfaktoren. Diese wurden gemäß dem türkischen Planungsrecht ermittelt und entsprechend visualisiert. Demnach sind Gebäude entlang der 15 Meter breiten Hauptstraßen fünfgeschossig, während diejenigen, die den 8 Meter breiten Nebenstraßen erschlossen werden, dreigeschossig sind.

Aus der Geschossigkeit lassen sich die erfordernten Abstandsflächen der einzelnen Gebäude zueinander ermitteln. Während die Gebäude entlang der Hauptstraße eine Abstandsfläche von neun Meter aufweisen müssen, müssen die restlichen Gebäude nur sechs Meter Abstand aufweisen.

Die Platzierung der Baustruktur wurde von japanischen Praxisbeispielen inspiriert. Ziel war es, eine brandschützende Bauweise entlang der Evakuierungswege zu schaffen und gleichzeitig kleine Innenhöfe zu gestalten.

Es wurde explizit für diese Maßnahme eine rechteckige Grundrissgestaltung gewählt, um die Erkenntnisse aus dem theoretischen Hintergrund (siehe Kapitel 2.3.4) anzuwenden. Durch diese symmetrische Gestaltung soll das Massen- und Steifigkeitszentrum in den Vordergrund treten, wodurch das Gebäude selbst weniger belastet wird.

Die geplante Bebauung umfasst großzügige Innenhöfe, die im Falle einer Katastrophe als kurzfristige Evakuierungsbereiche dienen können. In katastrophfreien Zeiten hingegen können diese Flächen als Parkfläche dienen, um den Bedarf an Parkplätzen im Verkehrsraum zu gewährleisten. Dies ermöglicht eine geringere Verkehrsbelastung damit die Straßen von den Bewohnern bei Notfällen nicht blockiert werden. Gleichzeitig können diese Flächen auch als Spiel- und Erholungsfläche für die Bewohner genutzt werden. In diesen Bereichen könnten auch Bäume gepflanzt werden, um das Quartier klimatisch aufzuwerten, falls dies gewünscht wird.

Die Abstandsflächen und die daraus resultierende offene Bauweise bieten den Vorteil einer optimalen Vernetzung der verschiedenen Flächen. Diese Baulücken ermöglichen es, einen räumlichen Zusammenhang zu schaffen, der die Nachbarschaft und die Stadt näher zusammenführt, die Interaktion zwischen den Bewohnern fördert und gleichzeitig als vernetzter Evakuierungsweg zu den gekennzeichneten Evakuierungsorten oder zu Evakuierungswegen dient. Die Wege in der Skizze dienen allein zur Veranschaulichung und sollen die räumliche Vernetzung der Flächen verdeutlichen.

Für die skizzenhafte Gestaltung wurde explizit eine simple Verteilung der Baukörper gewählt, um die Konnektivität und die Zugänglichkeit der einzelnen Hofflächen in den Vordergrund zu bringen. Die vernetzten Wege sollen dazu dienen, einen schnellen und sicheren Weg zu den gekennzeichneten Evakuierungsflächen hervorzubringen. Zeitgleich sollte hier erneut die erdbebensichere Grundrissgestaltung visualisiert werden.



Abb. 87: Skizzierte Darstellung über eine mögliche Gestaltung von Brachflächen (Eigene Abbildung).

Evakuierung und Schutz

M4 Errichtung der Evakuierungsgebäuden

Beschreibung der Maßnahme

Die Errichtung von Evakuierungsorten ermöglicht es, nach einer Katastrophe die Bevölkerung unterzubringen. Oft können schon bestehende Gebäude genutzt werden, sofern sie bestimmte Kriterien, wie Sicherheit, Platz (1 m² pro Person) und Erreichbarkeit per Evakuierungsweg erfüllen. Potenzielle Evakuierungsgebäude sind beispielsweise Bildungseinrichtungen, religiöse und andere Einrichtungen.

Die einzelnen Evakuierungsgebäude müssen je nach ihrer Rolle kategorisiert und als solche gekennzeichnet werden. Hierzu dient die Kategorisierung aus dem Praxisbeispiel Japan. Zudem gilt hier der zweistufige Evakuierungsansatz.

Falls in bestimmten Gebieten der Platz der vorhandenen Evakuierungsgebäude und -freiflächen nicht ausreicht, sollten entweder Erweiterungen oder Neubaumaßnahmen vorgenommen werden.

Zusätzlich bieten Evakuierungsgebäude die Möglichkeit, vor Ort „leichte Krankenhäuser“ zu etablieren. Diese sollen dazu dienen, das Gesundheitssystem nach einer Katastrophe zu entlasten, indem Räumlichkeiten für die medizinische Versorgung sowie für wichtige Artikel (Hygiene, UHF-Funkgeräte) bereitgestellt werden.

Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierungsanalyse	Praxisbeispiel Japan
Brachflächenanalyse	Praxisbeispiel Chile
Kritische Infrastruktur - Bestandsanalyse	
M1 Bodennutzungsrichtlinie	

Evakuierung und Schutz

M5 Einrichtung der Evakuierungsfreiflächen

Beschreibung der Maßnahme

Die Errichtung von Evakuierungsfreiflächen ermöglicht es, nach einer Katastrophe die Bevölkerung unterzubringen. Zusätzlich können Evakuierungsfreiflächen zwischenzeitlich auch andere Nutzungen (Parkanlage, Erholungsraum) zugewiesen werden.

Auf den Evakuierungsfreiflächen können kleine Lagerräume platziert werden, wo wichtige Güter wie Wasserflaschen, Erste-Hilfe-Kästen, Konserven und Funkgeräte gelagert werden können.

Die Freifläche selbst sollte mit Notbeleuchtung ausgestattet werden, die auch während des normalen Alltags als Lichtquelle genutzt werden kann.

Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierung	Praxisbeispiel Japan
Freiraum- Grünflächenanalyse	Praxisbeispiel Chile

Für die Verortung von Evakuierungsorten¹⁶ wurde zunächst die Bestandsanalyse – kritische Infrastruktur weiterbearbeitet, indem alle Orte innerhalb der Zonen 1, 2 und 3 (nach M1 Bodennutzungsrichtlinie) als potenzielle Evakuierungsorte ausgeschlossen wurden. Anschließend wurden sowohl die Evakuierungsgebäude als auch die -freiflächen in die Kategorisierung Japans eingeteilt, wodurch die Distanz bezüglich der Erreichbarkeit zu den Orten festgestellt werden konnte. Die Kategorisierung ergab sich aus der Flächengröße. In diesem Fall wurde eine Puffer- (Luftlinie) und eine Netzwerkanalyse verwendet, um die räumliche Nähe zwischen den Evakuierungsorten und ihre Beziehungen zur Stadt Antakya zu visualisieren. Dadurch können die einzelnen Puffer (Kreise) der Evakuierungsorte zu einem Muster zusammengefügt werden, um zu prüfen, welche Orte innerhalb der gesamten Stadt, zum einen unabhängig und zum anderen abhängig des Straßennetzes, von einem Evakuierungsort abgedeckt werden. Gleichzeitig kann auch eingesehen werden, dass mit dem derzeitigen Bestand in etwa 65,27 % des gesamten Untersuchungsgebiets mit Evakuierungsorten abgedeckt wird (Abb. 88).

Um den Radius zu erhöhen, werden somit im Rahmen dieser Maßnahme weitere Flächen hinzugefügt. Anhand der Brachflächenanalyse wurden Orte identifiziert, die für die Errichtung von neuen Einrichtungen, als Evakuierungsgebäude infrage kommen. Diese neuen Flächen wurden nach der Kategorisierung Japans zugeteilt und mit einem Puffer und einer Netzwerkanalyse entsprechend der Art des Evakuierungsgebäudes angelegt, um die Erreichbarkeit darzustellen. Zeitgleich wurden auf der gleichen Grundlage weitere Evakuierungsfreiflächen identifiziert. Der Unterschied bei der Lokalisierung aller Evakuierungsorte ist die Bewertung nach der Mikrozonierung. Während für Evakuierungsgebäude nur die Zonen 4 und 5 infrage kommen, werden für die Evakuierungsfreiflächen die Zonen 1, 2 und 3 genutzt. Die Kategorisierung der Evakuierungsorte erfolgte anhand dreier Kriterien aus dem Praxisbeispiel Japan. Dabei wurde die Flächengröße, die Nutzung der Fläche/ Einrichtung und die Lage bewertet und entsprechend der Kategorisierung Japans zugeteilt. Die Kategorisierung der Orte inklusive der Begründung kann im Anhang eingesehen werden (Abb. 89).

Zusammen mit den bereits bestehenden Orten wird nun mit den neu hinzugekommenen Evakuierungsorten insgesamt 85,33 % abgedeckt, was einen Aufstieg von ca. 20 % bedeutet (Abb. 90).

Ein Nebeneffekt dieser Maßnahme ist, dass durch die Errichtung neuer Evakuierungsfreiflächen auch der Grünbedarf der Stadt Antakya steigt. So sind nun mehrere Orte fußläufig von einer Grünfläche entfernt. Indem weitere Flächen als designierte Evakuierungsfreiflächen dienen, kann auch der Grünbedarf bedient werden (Abb. 91).

In dieser Maßnahme wurden nur die Orte innerhalb der Brachflächen gewählt. In Anbetracht von Eigentümerverhältnissen und oder weiteren Daten zur Frage, welche Flächen bebaut werden dürfen, könnte eine Erweiterung von 100 % möglich sein. So können weitere Flächen auch in den vor allem dicht besiedelten Gebieten identifiziert werden.

Evakuierung und Schutz

¹⁶ Im Rahmen dieser Masterarbeit wird zwischen der Begrifflichkeit Evakuierungsgebäude, Evakuierungsfreifläche und Evakuierungsort differenziert.
 Evakuierungsgebäude: Einrichtungen, die in sicheren Orten sind und als Sammelpunkt und für das Verweilen dienen.
 Evakuierungsfreiflächen: Grün- oder Freiflächen, die als Sammelpunkte dienen.

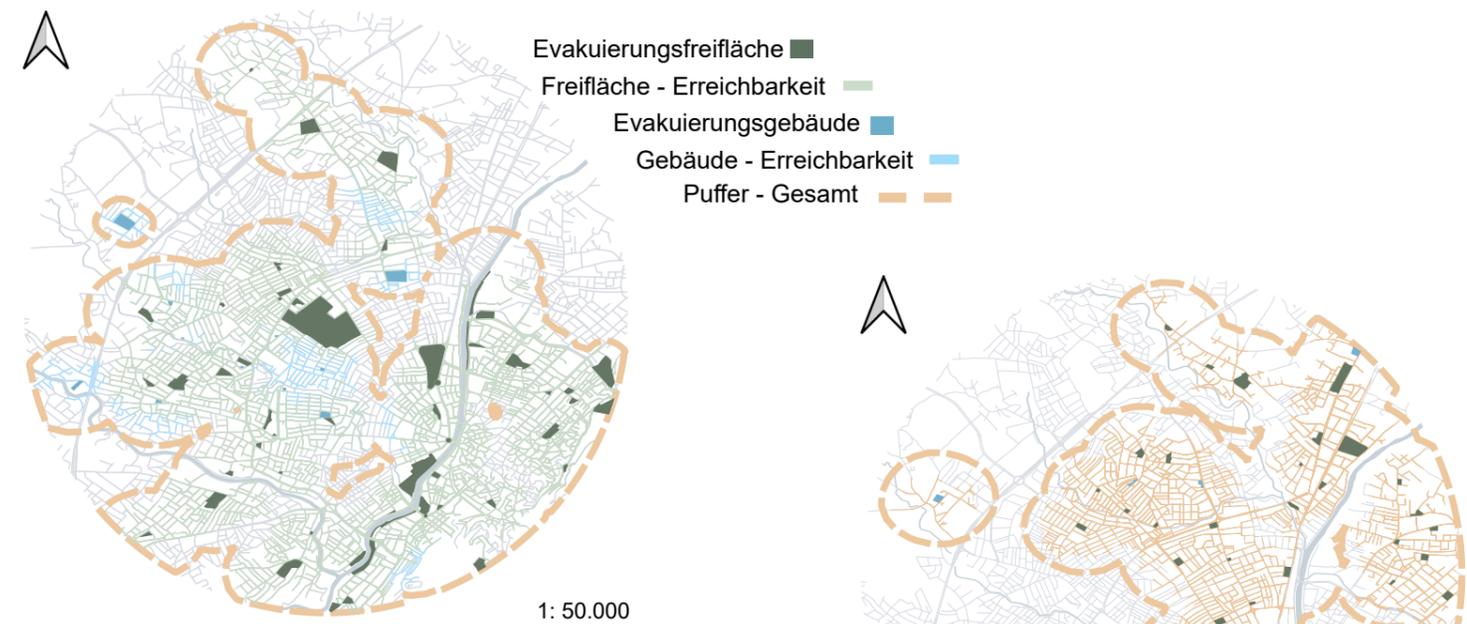


Abb. 88: Bestehende Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).

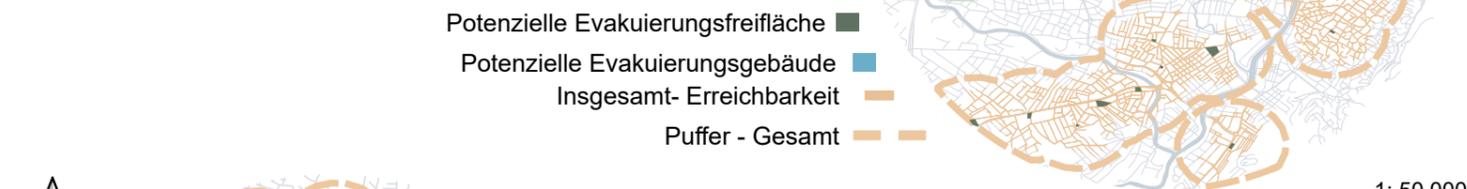


Abb. 89: Potenzielle Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).

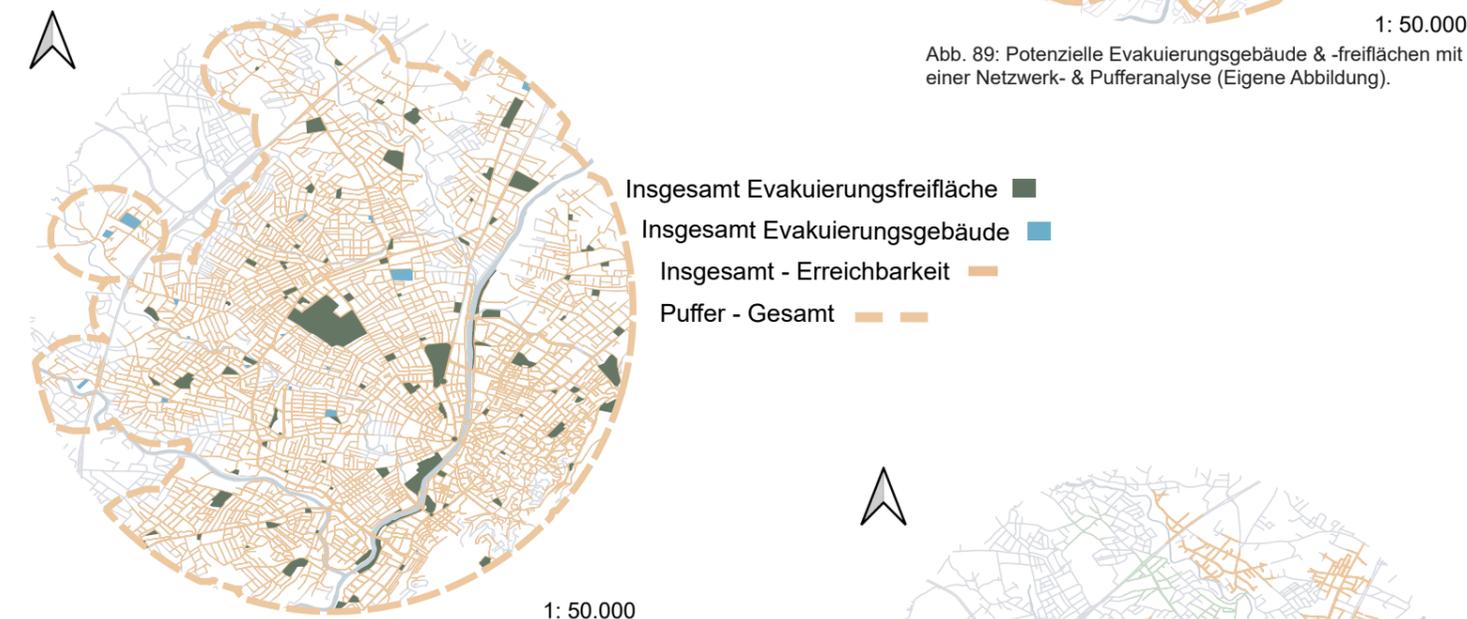


Abb. 90: Bestehende & potenzielle Evakuierungsgebäude & -freiflächen mit einer Netzwerk- & Pufferanalyse (Eigene Abbildung).

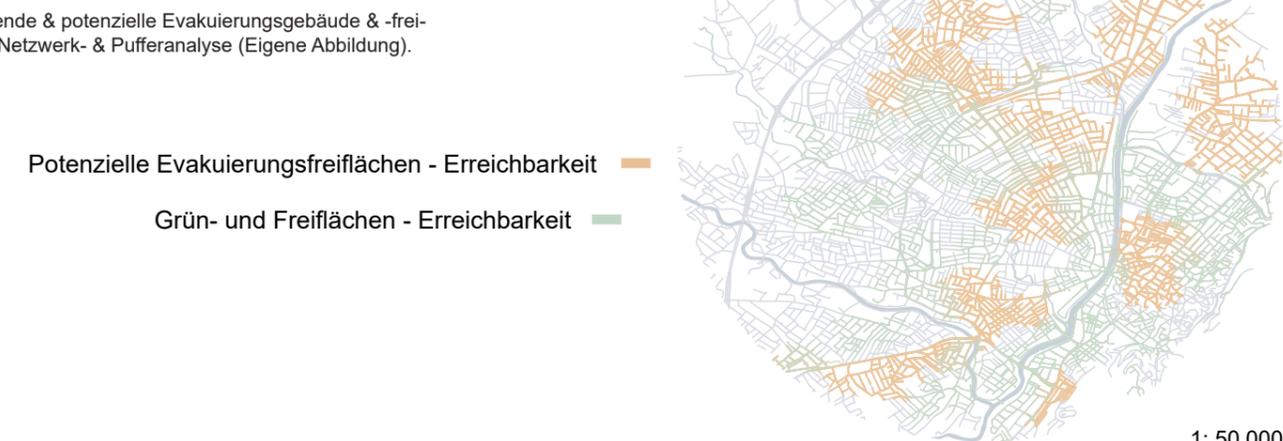


Abb. 91: Erweiterung der Erreichbarkeit der Grün- und Freiflächen durch potenzielle Evakuierungsfreiflächen (Eigene Abbildung).

M6 Lokalisierung temporärer Wohnunterkünften

Beschreibung der Maßnahme

Temporäre Unterkünfte werden als „vereinfachtes Wohnen“ definiert. Im Gegensatz zu Evakuierungsunterkünften, in denen es keine eigenen Räumlichkeiten gibt, bieten temporäre Unterkünfte eigene Räumlichkeiten, inklusive geteilte oder eigene Hygieneeinrichtungen an.

Zusätzlich werden folgende Kriterien vorgegeben:

1. Genügend Platz, damit eine hohe Anzahl gleichzeitig errichtet werden kann. Aus der Rechnung des Praxisbeispiels Chile für die Errichtung temporärer Wohnunterkünfte ergibt sich pro Unterkunft eine Flächengröße von 18 m². Die Menge an Unterkünften war 250 – 500 Stück je Ort. So ergibt sich ein Minimum von 4.500 m² reine Wohnfläche. Werden Fußwege und weitere Anlagen miteingerechnet, sollten diese Flächen eine Mindestgröße von ca. 17.350 m² vorweisen.
2. Eigentum der öffentlichen Hand.
3. Barrierearm. Falls möglich sollte eine barrierefreie Gestaltung wahrgenommen werden.
4. Installation von Anlagen. In den Unterkünften und im Freiraum der Unterkünfte
 - a. Klimaanlage
 - b. Sicherheitsbeleuchtung
 - c. Straßenbeläge
 - d. Entwässerungsanlagen
 - e. Gemeinschaftseinrichtungen/ -räume/ -bereiche

Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme

Mikrozonierung

Brachflächenanalyse

Grün- und Freiflächenanalyse

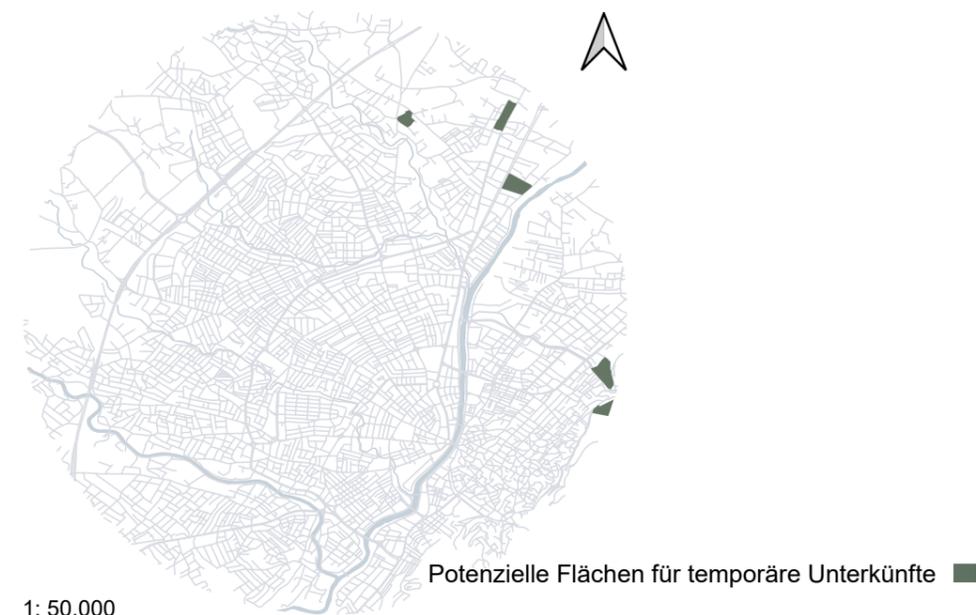
M5 Evakuierungsfreiflächen

Maßnahme stammt aus

Praxisbeispiel Chile

Praxisbeispiel Japan

Grundlage für die Lokalisierung von temporären Unterkünften ist die Maßnahme M5 Errichtung von Evakuierungsfreiflächen (Bestand und neue Evakuierungsfreiflächen) und die Mikrozonierung. Um die Anzahl an möglichen Flächen einzugrenzen, wurden ausschließlich Flächen gewählt, die zum einen innerhalb der Zonen 3, 4 oder 5 liegen und eine Mindestflächengröße von 17.350 m² haben. Insgesamt konnten fünf Flächen identifiziert werden. Wenn alle potenziellen Flächen kombiniert werden, ergeben sie zusammen eine Flächengröße von 153.400 m². Wenn Wege, Hygieneeinrichtungen, Abstandsflächen und Gemeinschaftsflächen miteingerechnet werden, könnten in etwa 2.209¹⁷ Unterkünfte errichtet werden. Die Rechnung ergibt sich durch das Hochrechnen, einer eigenen Zeichnung, die im Rahmen der Maßnahme skizziert, als Perspektive dargestellt wurde und ausschließlich als ein möglicher Ansatz dient. In der Zeichnung wurde eine Fläche von 20.000 m² skizziert, wodurch insgesamt 288 Unterkünfte errichtet werden konnten. Das entspricht in etwa 26 % der gesamten Fläche.¹⁸ Andere Möglichkeiten können sich durch eine unterschiedliche Straßeneinteilung, Mengenverteilung und geänderte Abstandsflächen ergeben. Weitere Flächen, falls benötigt, können anhand der gleichen Grundlage ergänzt werden.



1: 50.000

Abb. 92: Potenzielle Flächen für temporäre Unterkünfte (Eigene Abbildung).

Evakuierungsorte: Die Kombination aus Evakuierungsgebäude und -freifläche.

¹⁷ Rechnung: 153.400 m² * 0,0144 Unterkünfte pro m² = 2209 Unterkünfte

¹⁸ Rechnung: 288 Unterkünfte / 20.000 m² = 0,0144 Unterkünfte pro m².
250 Unterkünfte / 0,0144 Unterkünfte pro m² = 17.361 m² in etwa 17.350 m²-

Bei einer Flächengröße von etwa 20.000² konnten 288 Unterkünfte (18 m²) und 32 Hygieneeinrichtungen errichtet werden. Die Unterkünfte haben eine Höhe von 3 Meter und eine Abstandsfläche von 1,5 Meter in den Seitenbereichen, zwei Meter Abstand in den Vor- und Hinterbereichen und je zwei Reihen einen Abstand von drei Meter gewählt, um einen Durchgang zu gewährleisten und gleichzeitig den verfügbaren Platz so effizient wie möglich zu gestalten. Dadurch soll ein barrierefreier Zugang zu den Unterkünften gewährleistet werden.

Die Gestaltung sieht eine typische Vierteilung vor, wobei die Haupteinschließung eine Breite von fünf Meter aufweist. Die Wege innerhalb der Unterkunftsquartiere haben ebenfalls eine Breite von 5 Metern und bieten sowohl ausreichend Platz für den Verkehr und für die Etablierung eines Gemeinschaftsplatzes.

Der Verkehrsraum innerhalb der Unterkunftsquartiere dient dazu, den Transport von Gütern aus den Versorgungszentren zu erleichtern als auch um schnelle Rettungsmaßnahmen zu ermöglichen. Der Gemeinschaftsraum, der zentrale Platz in den Unterkunftsquartieren, dient als Versammlungsort, der Sitzgelegenheiten, eine Tischtennisplatte und einen Lesebereich anbietet. Weitere Nutzungen können hinzugefügt oder vorhandene ersetzt werden.

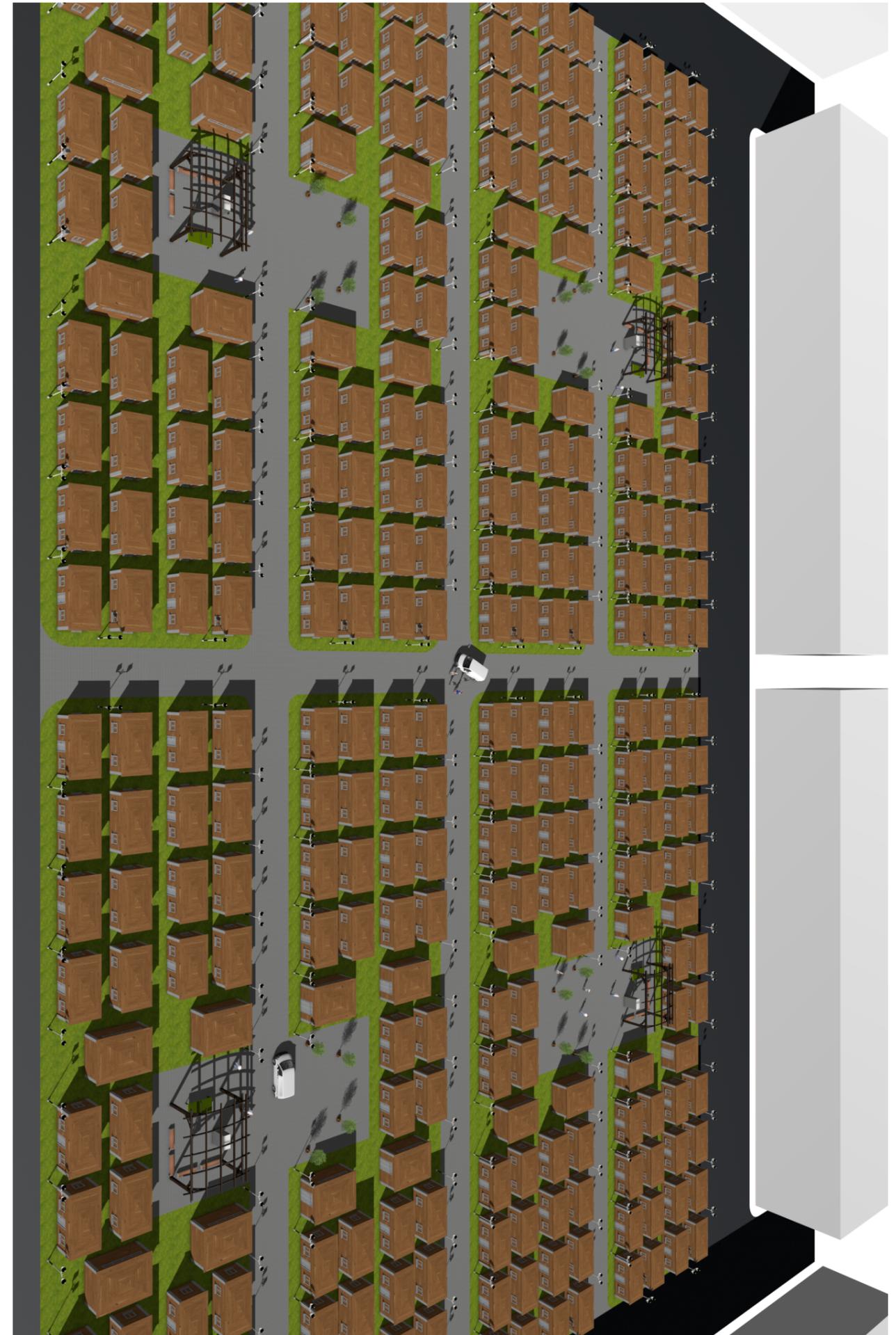
Darüber hinaus bietet die Freifläche vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, die über die bloße Bereitstellung als Freifläche für temporäre Unterkünfte hinausgeht. In katastrophensicheren Zeiten kann der Platz als Versammlungsort für Gemeinschaftsveranstaltungen dienen. Hier können Bewohner sich treffen und soziale Kontakte pflegen.

Um den Platz für eine mögliche Errichtung von temporären Unterkünften freizuhalten, kommen typische Vegetations- und Stadtmöblierungsmaßnahmen nicht infrage. Es empfiehlt sich jedoch die Verwendung der mobilen Variante. Die Ausstattung aus mobilen Möbeln, mobilen Bäumen und transportierbaren Pflanzen (Pflanzen, die leicht aus dem Boden entfernt werden können, ohne diese zu beschädigen) bieten die Möglichkeit, die Freifläche vielseitig zu gestalten.

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Möglichkeiten bietet die Freifläche Raum für sportliche Aktivitäten. Auf der Freifläche können temporär Fußballtore aufgestellt werden. Auch andere Sportarten wie Volleyball oder Badminton können problemlos auf dem Rasen, indem ein Netz aufgestellt wird, gespielt werden, ohne dabei die Fläche zu beeinträchtigen. Zudem können die gepflasterten Wege und die kleinen Plätze zum Grillen genutzt werden. Gleichzeitig können auch Hochbeete für landwirtschaftliche Nutzungen auf der Freifläche angebracht werden. Hochbeete bieten den Vorteil, dass diese flexibel und auch anderweitig angebracht werden können.

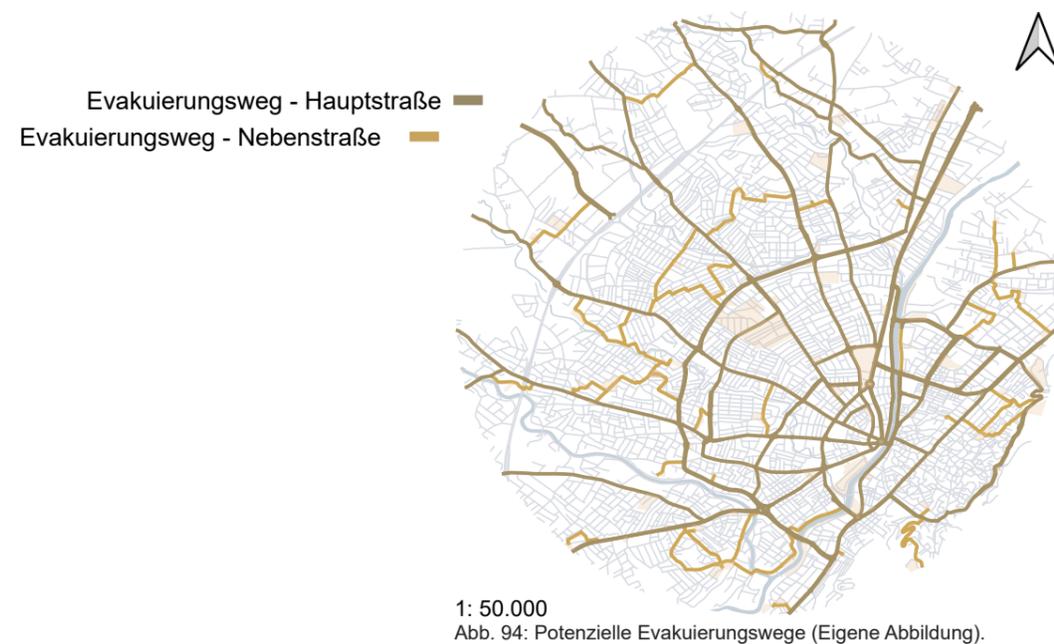
Insgesamt ist die Gestaltung der Freifläche darauf ausgerichtet, nicht nur als Fläche für temporäre Unterkünfte zu dienen, sondern auch als ein Ort des Zusammenkommens, der Erholung und der Gemeinschaftsaktivitäten. Die Flexibilität und Vielseitigkeit der Gestaltung ermöglicht es, den Bedürfnissen der Bewohner gerecht zu werden. Wichtig bei der Gestaltung ist, dass bodengebundene Nutzungen vermieden werden sollten.

Abb. 93: Perspektivische Darstellung temporäre Unterkünfte (Eigene Abbildung).



Evakuierung und Schutz	
M7 Gestaltung der Evakuierungswege	
Beschreibung der Maßnahme	
Um die Planung von potenziellen Evakuierungsrouten so effektiv wie möglich zu gestalten, sollten die Routen nach ihrer Art, ihrer Breite und Nutzung kategorisiert werden. Falls notwendig können durch einen Ausbau der Straßenzüge weitere Evakuierungsrouten hinzugefügt werden. Die Kategorisierung erfolgt nach dem Praxisbeispiel Japan.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Verkehrsanalyse	Praxisbeispiel Japan
M4 Evakuierungsgebäude	
M5 Evakuierungsfreiflächen	

Aufgrund der engen Breiten der Straßen innerhalb der Stadt und um eine Änderung der gesamten Straßenzüge innerhalb der Stadt zu vermeiden, kommt nur die Kategorie „Evakuierungsstraße“ (15 Meter Breite) aus dem Praxisbeispiel Japan infrage. Zunächst wurden alle Hauptstraßen innerhalb des Untersuchungsgebiets als Evakuierungsweg gekennzeichnet. Mit der Etablierung potenzielle Evakuierungsorte sollen nun möglichst die kürzesten Wege von den Hauptstraßen zu den Orten ermittelt und anschließend auf den Standard einer „Evakuierungsstraße“ angepasst werden. Der kürzeste Weg wurde berechnet und anschließend markiert. Daraus resultierte folgende Evakuierungswegekarte:

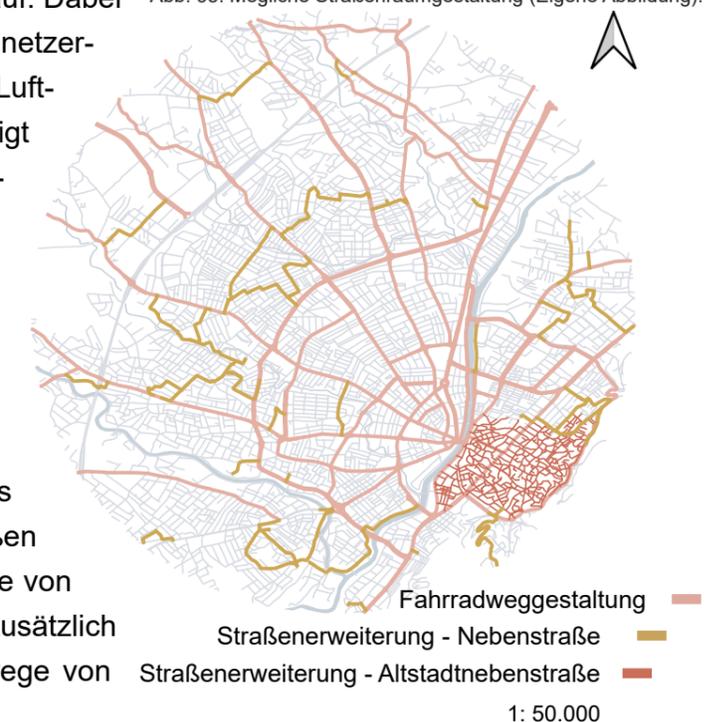


Falls die Breite von 15 Meter nicht erreicht werden kann, sollte zumindest eine Mindestbreitenerweiterung wie in der Stadt Dhaka (siehe Kapitel 2.3.3) erwogen werden. Die Straßen müssen genügend Platz für eine große Welle von Menschen anbieten. Gleichzeitig sollten alle Evakuierungswege mit einer feuerresistenten Bauweise gestaltet werden.

Infrastruktur und Versorgung	
M8 Straßenraumgestaltung	
Beschreibung der Maßnahme	
Unmittelbar nach einer Katastrophe können die Straßen durch Trümmer blockiert werden. Aus diesem Grund sieht die Maßnahme vor, eine Mindestvorgabe für bestehende Straßen vorzugeben. Hier wird als Referenz die Stadt Dhaka genommen, die eine Mindestbreite von einem Feuerwehrauto und einem weiteren Kraftfahrzeug vorgeben (3 Meter + 2,5 m). Um dies zu ermöglichen, sollen, falls möglich, Änderungsmaßnahmen (Abriss, Rückbau) vorgenommen werden. Ausnahmsweise darf von den Änderungsmaßnahmen abgewichen werden, falls eine unmittelbare Anbindung an eine designierte Evakuierungsrouten gegeben ist und Rettungsmaßnahmen möglich sind.	
Zusätzlich sollen Fernstraßen errichtet werden. Diese sollen einzelne Stadtbezirke unterteilen, um zum einen die Ausbreitung von Feuer zu verhindern und zum anderen mehrere Zufahrtsmöglichkeiten zu ermöglichen.	
Die hohe Anzahl an privaten Fahrzeugen kann häufig dazu führen, dass bei Katastrophen die Evakuierungswege überlastet sind, was die Effizienz der Rettungsmaßnahmen einschränkt. Die Gestaltung von Fahrradwegen entlang der Evakuierungswege hätte den Vorteil, die Abhängigkeit von individuellen Kraftfahrzeugen zu reduzieren und gleichzeitig den Zugang zu Evakuierungsorten zu erleichtern, wodurch die benötigte Zeit für Rettungsaktionen verkürzt werden kann.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Verkehrsanalyse	Praxisbeispiel Chile
Brachflächenanalyse	Praxisbeispiel Japan
M7 Evakuierungswege	Kapitel 2.3.3 - Mobilität

Die Maßnahme teilt sich in drei Teilbereiche auf. Dabei wird eine der Untermaßnahmen, die Straßennetzerweiterung, nicht in Betracht gezogen, da die Luftbildanalyse der verkehrlichen Situation gezeigt hat, dass das Untersuchungsgebiet gut angebunden ist.

Die Brachflächen insbesondere im Altstadtbereich bieten das Potenzial, die historischen engen Gassen breiter zu gestalten, sodass Evakuierungswege mit einer Breite bis zu 15 Meter dort ausgebaut werden können. Falls möglich sollten jedoch alle Altstadtnebenstraßen angepasst werden, sodass eine Straßenbreite von 5,5 Meter erreicht wird (siehe Kapitel 2.3.3). Zusätzlich sollen die gekennzeichneten Evakuierungswege von



M7 auf eine Straßenbreite von 15 Metern angepasst werden.

Die Stadt hat keine gekennzeichneten Fahrradwege. Aus diesem Grund sieht es die Maßnahme vor, zumindest bei den 15 Meter breiten Hauptstraßen Fahrradwege mit jeweils 1,25 Meter an beiden Fahrtrichtungen anzubauen. Folglich ergeben sich für das Untersuchungsgebiet zwei Vorschläge der Fahrradwegegestaltung und Straßenbreitenerweiterung für die Hauptstraßen und die Altstadtnebenstraßen.

Im Rahmen dieser Maßnahme wird vorgeschlagen, einer der beiden Parkflächen zu entfernen, um Platz für zwei Fahrradwege mit einer Breite von jeweils 1,25 Meter zu schaffen. Dies würde einerseits den Verkehr reduzieren und gleichzeitig eine Evakuierung zu den Evakuierungsorten gewährleisten. Um diese Maßnahme zu verstärken, könnte in Erwägung gezogen werden, den zweiten Parkstreifen teilweise aufzulösen. Es wird vorgeschlagen, Parkbuchten zu schaffen, um den Gehweg auf 4,5 Meter zu erweitern, der wiederum gelegentlich auf 2 Meter verengt werden könnte. Dadurch wird der ruhende Verkehr nicht ganz ausgeschlossen und das Verkehrsaufkommen als auch die Menge der parkenden Fahrzeuge könnte weiter reduziert werden. Zeitgleich könnte der Fahrradstreifen auf beiden Seiten auf der Ebene des Bürgersteigs verlegt werden, um eine sichere Fahrt auf dem Fahrrad zu gewährleisten und eine Distanz zum Verkehr zu schaffen.

Die Altstadtnebenstraßen sollen zunächst auf eine Mindestbreite von 5,5 Metern erweitert werden. Obwohl es derzeit keine markierten Parkplätze auf diesen Straßen gibt, werden sie dennoch als solche genutzt. Im Zuge dieser Maßnahme wird vorgeschlagen, gekennzeichnete Parkflächen mit ausreichendem Abstand voneinander einzurichten. Dies würde sowohl dem Gegenverkehr als auch

Fußgängern ermöglichen, in diese Bereiche auszuweichen. Eine mögliche Alternative wäre die Umgestaltung dieser Straßen zu Einbahnstraßen und das vollständige Verbot des Parkens in ihnen. Dies würde Rettungsmaßnahmen erleichtern und Evakuierungen unterstützen. Darüber hinaus böte der neu eröffnete Platz die Möglichkeit, sowohl eine kombinierte Geh- und Radwegfläche auf der einen Seite und auf der anderen Seite einen Gehweg zu planen. Dadurch wird zum einen die Verkehrsfläche in eine eigene Zonen unterteilt und auch die Möglichkeit geschaffen, dass anliegende Häuser ihre Eingänge nicht unmittelbar zur Straße haben.

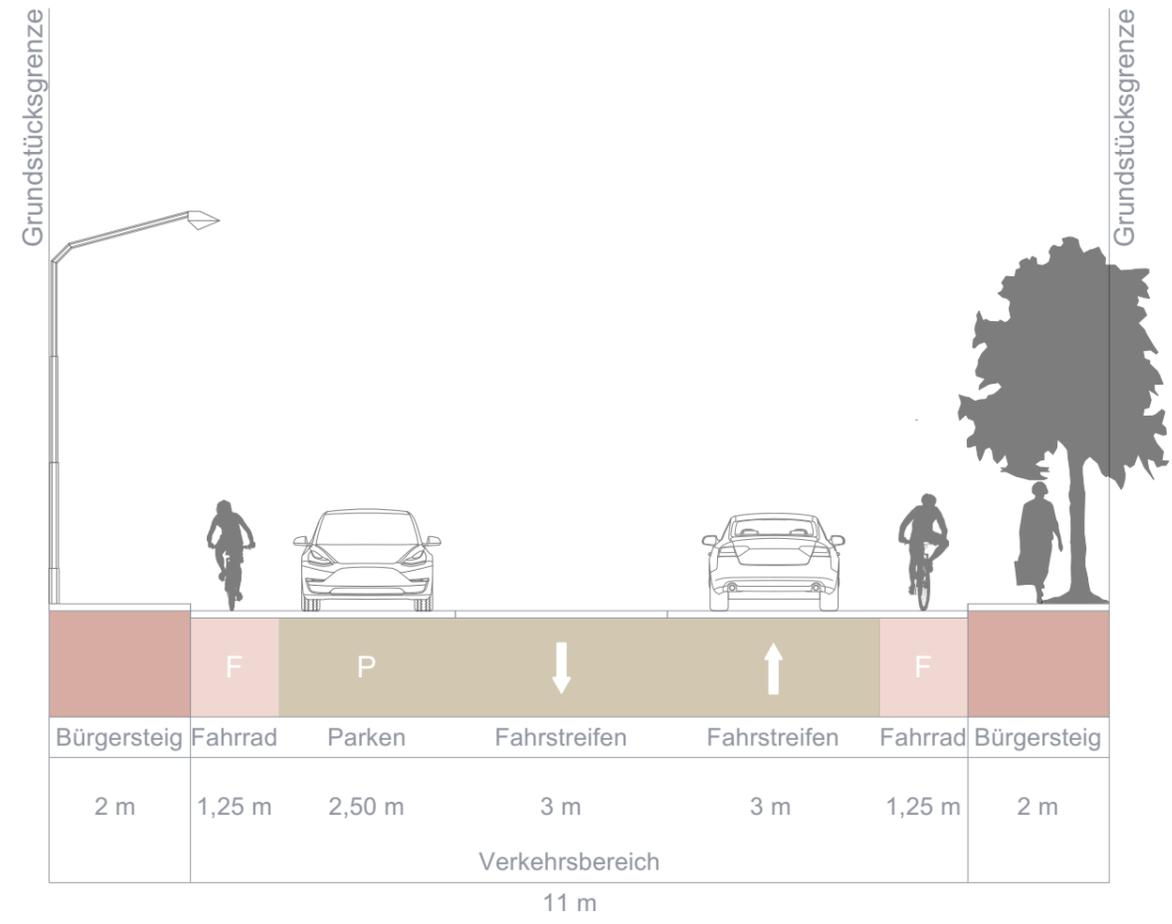


Abb. 96: Straßenquerschnitt Hauptstraße Alternative 1 (Eigene Abbildung).

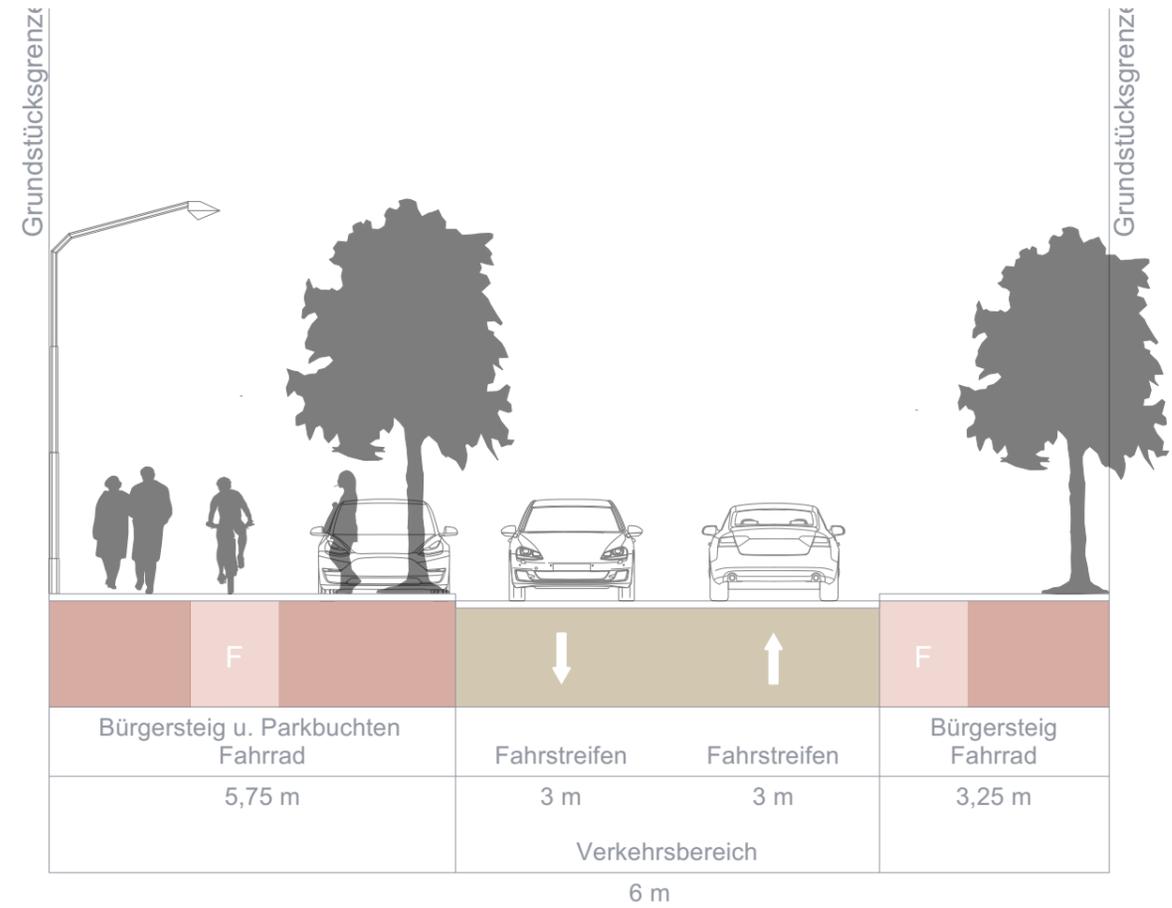


Abb. 97: Straßenquerschnitt Hauptstraße Alternative 2 (Eigene Abbildung).

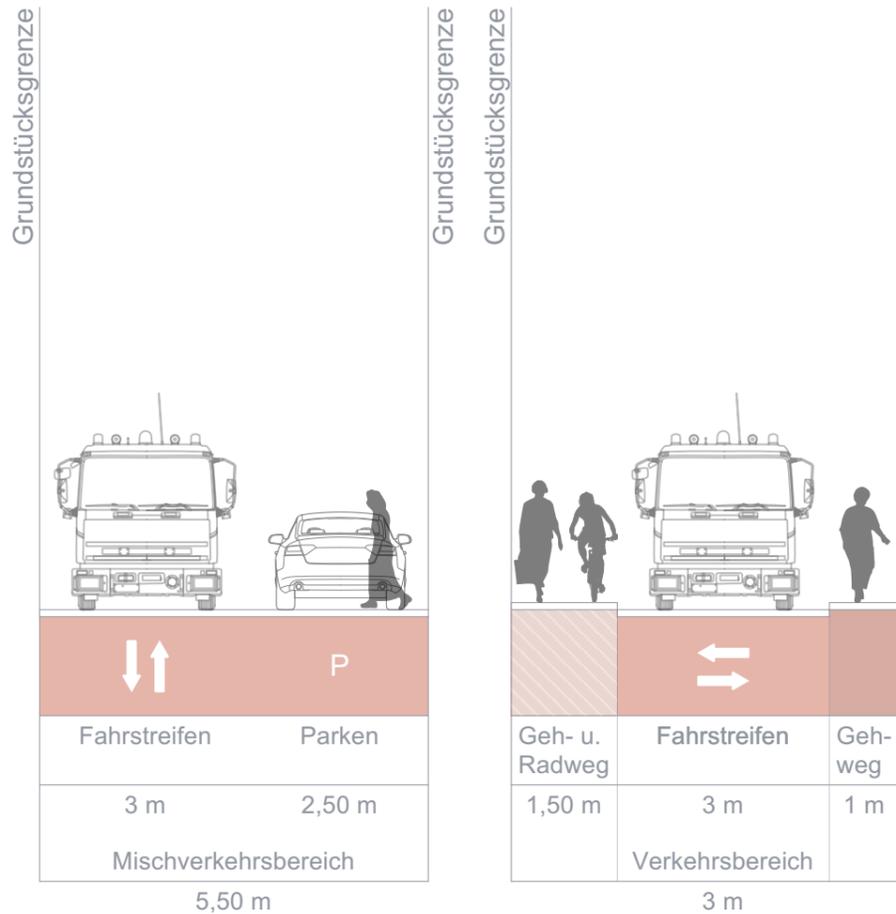


Abb. 98: Straßenquerschnitt Altstadtnebenstraße Alternative 1 (links) & 2 (rechts) (Eigene Abbildung).

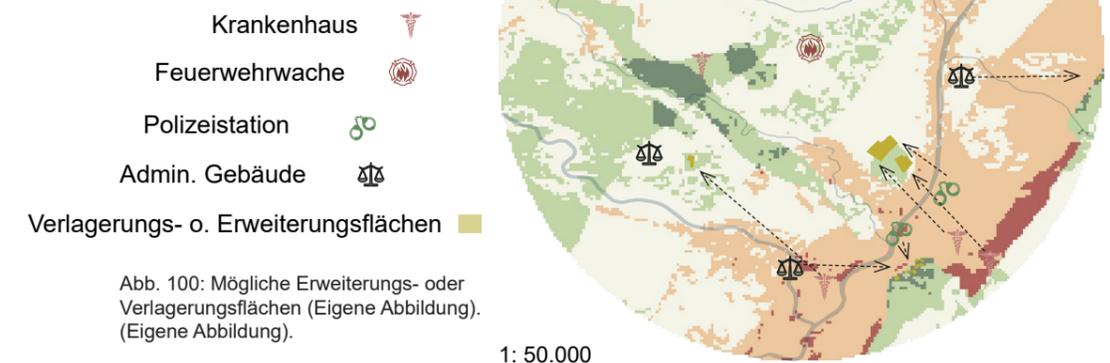
Infrastruktur und Versorgung	
M9 Lagerung von Trümmern	
Beschreibung der Maßnahme	
Trümmer auf den Straßen und auf Bauflächen hindern zum einen eine schnelle Fortbewegung durch die Stadt und zum anderen die Möglichkeit, mit dem Wiederaufbau zu beginnen.	
Um eine reibungslose Räumung der Trümmer nach einer Katastrophe zu ermöglichen, müssen vorab schon die Orte für die Lagerung festgelegt werden.	
Die Orte für die Lagerung sollten, falls möglich, solche mit sehr hohem Risiko oder hohem Risiko, in der Nähe der Stadt platziert sein und in der Nähe von Hauptstraßen, sodass zum einen potenzielles Bauland nicht genutzt wird und zum anderen eine schnelle Räumung der Trümmer gewährleistet werden kann.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierung	Praxisbeispiel Chile
Brachflächenanalyse	
M1 Bodennutzungsrichtlinie	

Um Orte für die Lagerung von Trümmern zu lokalisieren, wurde als Grundlage die Mikrozonierung und die Brachflächenanalyse verwendet. Zum einen war es wichtig, eine Fläche mit sehr hohem, bzw. hohem Risiko, aber auch eine mit Anbindung zu einer Hauptstraße zu finden, um eine schnelle Räumung gewährleisten zu können. Insgesamt wurden sieben Flächen gefunden, die dafür verwendet werden können. Die Flächengrößen der einzelnen Flächen variiert von 1.500 bis hin zu 17.000 m², wobei insbesondere die kleineren Flächen als Übergangflächen und die größeren Flächen als Endlagerungsfläche genutzt werden können. Die Trümmer, die auf den Übergangflächen gelagert werden, können anschließend in den Außenbereich verlagert werden. Wichtig war es, dass es im gesamten Untersuchungsgebiet designierte Flächen für die Lagerung von Trümmern verortet werden konnte. Der genaue Bedarf für solche Flächen kann eventuell mit einer Modellierungsberechnung identifiziert werden.



Infrastruktur und Versorgung	
M10 Erweiterung oder Verlagerung kritischer Infrastrukturen	
Beschreibung der Maßnahme	
Bestimmte Einrichtungen wie Gesundheits-, Feuerwehr- und Polizeizentren sind während und nach einer Katastrophe sehr wichtig, da von ihnen aus Rettungs- und Sicherungsmaßnahmen durchgeführt und koordiniert werden, weshalb eine strategische Platzierung dieser erfolgen muss, sodass diese zum einen sicher und funktionsfähig sind und zum anderen ein großes Einzugsgebiet abdecken können.	
Die Maßnahme schlägt hierzu zwei Empfehlungen vor. Die identifizierten Flächen können dazu genutzt werden, bestehende Einrichtungen zu verlagern. Falls dies aufgrund wirtschaftlicher Gründe nicht möglich sein sollte, können die identifizierten Flächen auch als Erweiterungsfläche der entsprechenden Einrichtungen angesehen werden, sodass zumindest Erweiterungsmaßnahmen auf sicheren Flächen erfolgt und bestehende Einrichtungen in Hochrisikobereichen nicht weiter ausgebaut werden.	
Der Eurocode 8 gibt hierzu eine gute Kategorisierung, welche Einrichtungen besonders Schutz benötigen.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Mikrozonierung	Praxisbeispiel Chile
Brachflächenanalyse	Praxisbeispiel Japan
Bestandsanalyse – kritische Infrastruktur	Kapitel 2.3.4 - Gebäudestandards
M1 Bodennutzungsrichtlinie	

Zunächst wurde geprüft, welche von den bestehenden kritischen Infrastrukturen innerhalb der Zone 4 und 5 liegen. Daraus resultiert, dass nur die Feuerwehrzentrale und zwei Krankenhäuser innerhalb dieser Zonen liegen. Alle anderen Einrichtungen wurden an Orten abhängig der Brachflächenanalyse verlagert, die zum einen an den Hauptstraßen und innerhalb der Zonen 4 und 5 liegen. Da die Versorgungszentren auch die Standortnutzung von administrativen Tätigkeiten vorsehen, werden die administrative öffentlichen Gebäude der Gemeinden, die sich in Risikozonen befinden, in die Versorgungszentren verlagert. Andere alternative Standorte können nach Prüfung mittels der Mikrozonierung und Brachflächenanalyse geschaffen werden.



Infrastruktur und Versorgung	
M11 Mobilitätsalternativen	
Beschreibung der Maßnahme	
Die Menge an privaten Fahrzeugen führt oft dazu, dass Evakuierungswege bei einer Katastrophe überbelastet sind und Rettungsmaßnahmen somit eingeschränkt werden. Die Förderung öffentlicher Verkehrsmittel würde gleichzeitig die Abhängigkeit von privaten Kraftfahrzeugen reduzieren, den Zugang zu Evakuierungsorten deutlich erleichtern und die für Rettungsmaßnahmen erforderliche Zeit verringern.	
Falls möglich sollte der ÖPNV entlang der gekennzeichneten Evakuierungswege verkehren und vor jedem potenziellen Evakuierungsort halten, auch, weil viele Evakuierungsorte entweder Bildungseinrichtungen oder Freiflächen sind.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
ÖPNV-Analyse	Praxisbeispiel Chile
Verkehrsanalyse	Kapitel 2.3.3 - Mobilität
M3 Versorgungszentren	
M4 Evakuierungsgebäude	
M5 Evakuierungsfreiflächen	
M7 Evakuierungswege	

Nach der Etablierung der Evakuierungsorte und der neuen Versorgungszentren konnte ein neues Bushaltestellennetzwerk erstellt werden. Die geplanten Haltestellen wurden in der Nähe der oben genannten Orte platziert und die bestehenden in das neue Netzwerk integriert, sofern diese sich innerhalb des Evakuierungsnetzes befinden. Alle Bushaltestellen wurden ausschließlich entlang der breiten Evakuierungswege platziert, um eine sichere Fahrt entlang dieser Wege zu ermöglichen. Zudem weisen alle Bushaltestellen einen Abstand von etwa 350 – 700 Meter zueinander auf. Durch die Erhöhung der Anzahl der Bushaltestellen konnte gleichzeitig auch ein deutlich höherer Raum innerhalb der Stadt Antakya abgedeckt werden. Die in der Maßnahme platzierten Bushaltestellen könnten entsprechend weiter ergänzt werden, sodass das gesamte Untersuchungsgebiet fußläufige Entfernungen zu diesen anbietet. Die Haltestellen sollten sich jedoch stets innerhalb der Evakuierungswege befinden, sodass eine sichere Fahrt gewährleistet werden kann. In der folgenden Abbildung können sowohl die neuen Bushaltestellen als auch die Netzwerkanalyse eingesehen werden.

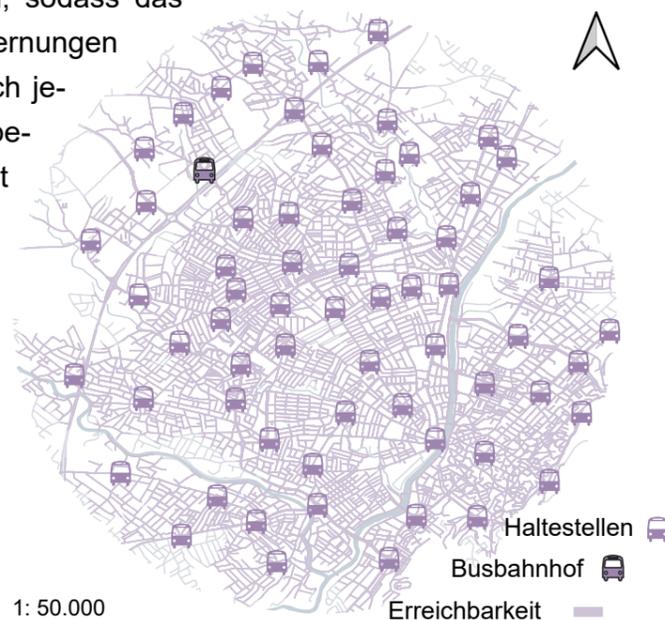


Abb. 101: Potenzielle neue Bushaltestellen mit einer Netzwerkanalyse (Eigene Abbildung).

1: 50.000

Infrastruktur und Versorgung	
M12 Etablierung eines Frühwarnsystems	
Beschreibung der Maßnahme	
Ein gut funktionierendes Frühwarnsystem kann durch miteinander verbundene Sirenen die Bevölkerung warnen, sodass die Anzahl von Opfern verringert werden kann. Die Sirenen müssen entsprechend ihrer Lautstärke an strategischen Orten platziert werden, sodass der gesamte Stadtbereich akustisch abgedeckt ist. Die Anzahl und Platzierung dieser variiert nach Art und Qualität und müssen entsprechend vor Katastrophen regelmäßig kontrolliert und getestet werden. Die Benachrichtigung kann mit einer Mitteilung auf die Smartphones der Bürger zusätzlich ergänzt werden.	
Lokalisierung basiert auf Analyse/ Maßnahme	Maßnahme stammt aus
Verkehrsanalyse	Kapitel 2.3.2 - Frühwarnsystem

Als ein mögliches Sirenensystem wird hier als Referenz die elektronische Sirene verwendet. Die elektronische Sirene ist im Gegensatz zu anderen Sirenenarten, wie die pneumatische Sirene oder mechanische Sirene, unabhängig gegenüber Tiefbaumaßnahmen, da die elektronische Sirene sowohl über das Stromnetz, aber auch über Solaranlagen oder über einen Akku eingerichtet werden kann (Brand-Feuer 2023). Zudem können elektronische Sirenen auch auf Dächern und auf Wänden installiert werden. Darüber hinaus können die Schalltrichter in die gewünschte Richtung gedreht werden, so dass die Warnung in bestimmten Gebieten stärker oder schwächer sein kann. Die Lautstärke von diesen Sirenen ist stark abhängig von den Lautsprechern und den elektronischen Verstärkern, die verwendet werden (ebd.). Im Rahmen dieser Maßnahme wird die Sirene ECN 600-D exemplarisch verwendet. Die Sirene hat eine Lautstärke von 109 dB(A), die bis zu einer Entfernung von 30 Metern mit der angegebenen Lautstärke gehört werden kann (Hörmann – Warnsysteme o.J.a).

Um zu ermitteln, welche Bereiche sich innerhalb des Lautstärkengeltungsbereichs der Sirene befinden, wird die Tabelle zur Lärmwirkung vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen herangezogen. Die Tabelle kategorisiert die Geräuschempfindung nach unterschiedlichen dB(A) Werten (LANUV 2023). Daraus lässt sich schließen, dass wahrscheinlich ein db(A)-Wert von mindestens 70 benötigt wird, damit die Sirene noch effektiv gehört werden kann.

Schallpegel dB (A)	Geräuschquelle	Geräuschempfindung
20 bis 30	Uhrenticken, Blätterrauschen	gerade hörbares Geräusch
40 bis 50	Unterhaltungssprache, ruhige Wohnstraße	schwaches Geräusch
60 bis 70	laute Unterhaltung, Bürogeräusche, Pkw in 10 Meter Abstand	mäßiges Geräusch
80 bis 90	Straßenverkehrsgeräusch, lauter Fabriksaal	starkes Geräusch
100 bis 110	Autohupe in 7 Meter Abstand, Kesselschmiede	sehr starkes Geräusch
120 bis 130	Presslufthammer in 1 Meter Abstand	ohrenbetäubendes Geräusch
140 bis 150	Nahbereich einer Explosion, Nahbereich eines Stahltriebwerks	Schmerz

Tab. 15: Lärmwirkung (verändert nach LANUV 2023).

Anhand der Tabelle kann die Faustformel für die Berechnung von Schalldistanzen verwendet werden. Diese besagt, dass die Verringerung der Lautstärke in etwa 6 dB(A) bei einer Verdopplung der Entfernung beträgt (Long 2014: 73). Somit kann wie folgt gerechnet werden (Tab. 16).

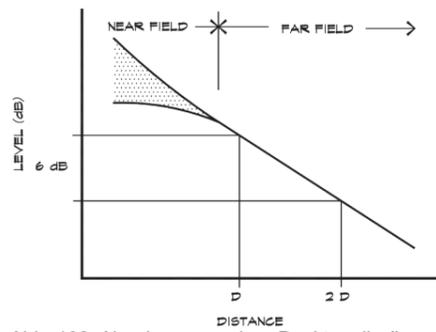


Abb. 102: Abnahme von einer Punktquelle (Long 2014: 73).

109 dB(A)	30 Meter
103 dB(A)	60 Meter
97 dB(A)	120 Meter
91 dB(A)	240 Meter
85 dB(A)	480 Meter
79 dB(A)	960 Meter
73 dB(A)	1.920 Meter

Tab. 16: Berechnung Schalldistanz (Eigene Tabelle).

Die Faustformel bezieht sich jedoch ausschließlich auf den offenen Raum. Faktoren, wie topographische und meteorologische Bedingungen sowie Immissionen (Hörmann o.J.b) und Schallreflexionen (Höfker 2022: 579f; Long 2014: 72) durch Bauwerke können dazu führen, dass der Radius reduziert wird. Hierzu gibt es keinen genauen Standard und muss entsprechend Vorort geprüft werden. Die im Rahmen dieser Maßnahme verorteten Sirenen, können jedoch als mögliche Grundlage dienen, um diese weiter auszubauen.

Die einzelnen Standorte für die Lokalisierung der Sirenen wurden entlang der Hauptstraßen geplant. Alle Sirenen decken einen Radius von 1.920 Meter ab und sind dementsprechend auch voneinander entfernt. Es wurde explizit aufgrund der fehlenden Grundlagen zu den oben genannten Einflussfaktoren, nicht der doppelte Radius als Distanz zwischen den Punkten gewählt, um einen Sicherheitspuffer zu schaffen. Abweichung können bestehen, da die einzelnen Standorte ausschließlich entlang der Hauptstraßen identifiziert wurden, um einen leichten Zugang zu den Sirenen zu gewährleisten.



Abb. 103: Potenzielle Standorte für Sirenen Puffer (Eigene Abbildung).

4.4 Strategischer Rahmenplan

Der strategische Rahmenplan dieser Arbeit präsentiert eine umfassende Vision für die zukünftige Entwicklung der Stadt Antakya. Dieser Plan integriert die verschiedenen Maßnahmen, die innerhalb der Stadt identifiziert wurden, um einen koordinierten Ansatz für die Stadtentwicklung sicherzustellen, dabei bildet es zeitgleich eine Grundlage für die freiraumplanerische und städtebauliche Gestaltung der Stadt Antakya. Unterschiedliche komplexe räumliche Parameter wurden sorgfältig bewertet und miteinander gewichtet, um ein Fundament für die Lokalisierung dieser Maßnahmen zu schaffen.

Durch die Maßnahmen wurden Brachflächen einer neuen Nutzung zugeordnet, die aus der M1 Bodennutzungsrichtlinie abgeleitet werden kann. Allein dadurch können innerhalb des Rahmenplans Standorte für die Entwicklung von Bauprojekten und Freiflächen lokalisiert und deren räumliche Verteilung in der Stadt abgewogen werden. Dies führt zu einer Stadt mit einem deutlich höheren Grünanteil und einer gezielten Entwicklung in Gebieten mit geringem Risiko.

Zeitgleich wurde die Mobilität verbessert, indem die Straßenbreite auf ein sicheres Maß erweitert und gekennzeichnete Fahrradwege innerhalb der Hauptstraßen angelegt wurden. Die Schaffung neuer Bushaltestellen und Mobilitätsalternativen trägt zur nachhaltigen Fortbewegung bei. Dadurch wird die Nutzung für Autos, insbesondere für den motorisierten Individualverkehr (MIV), reduziert.

Zudem konnten neue Versorgungszentren etabliert werden, die zum einen die hohe Dichte im alten Zentrum der Altstadt im Hochrisikobereich verringern und gleichzeitig kürzere Wege fördern sollen. Die polyzentrische Gestaltung und die Nutzung der Flächen als zusätzliche kleine Zentren ermöglichen eine effektive Nutzung der Flächen als Orte für Versammlung, Einkauf und Arbeit. Diese Flächen bieten sich auch als koordinierende Stützpunkte für den Informationsfluss zu Evakuierungsorten während Katastrophen an.

Durch die Vorgaben und der Skizze aus der Maßnahme M3 wird deutlich, dass die Flächen aufgebrochen werden und neue Flächen nichts als einzelnes, sondern stets in Verbindung zueinander gesehen werden sollte. Besonders durch die Gestaltung neuer Baugebiete wird ersichtlich, dass die offene Bauweise alle Flächen miteinander verbinden soll. Dies fördert nicht nur die Sicherheit während Katastrophen, sondern auch die Nachbarschaft und die Gemeinschaft.

Kritische Infrastrukturen wurden in Gebiete mit geringem oder sehr geringem Risiko verlagert, um ihre Sicherheit auch während Katastrophen zu gewährleisten. Weitere Flächen oder Standorte könnten ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Eine gewisse Anzahl an Grün- und Freiflächen wurden zur Nutzung als Evakuierungsfreiflächen bestimmt. Während Katastrophen sollen, einiger dieser Flächen auch für die Errichtung temporärer Unterkünfte genutzt werden. Hierbei wird empfohlen, bodengebundene Nutzungen zu vermeiden.

Die Lagerung von Trümmern bietet eine optimale Möglichkeit für schnelle Räumungsmaßnahmen. Die Flächen, die im Rahmen der Maßnahmen lokalisiert wurden, können erweitert und um weitere

Flächen ergänzt werden. Hier sind weitere Modellierungsrechnungen erforderlich, um den Bedarf abzuschätzen.

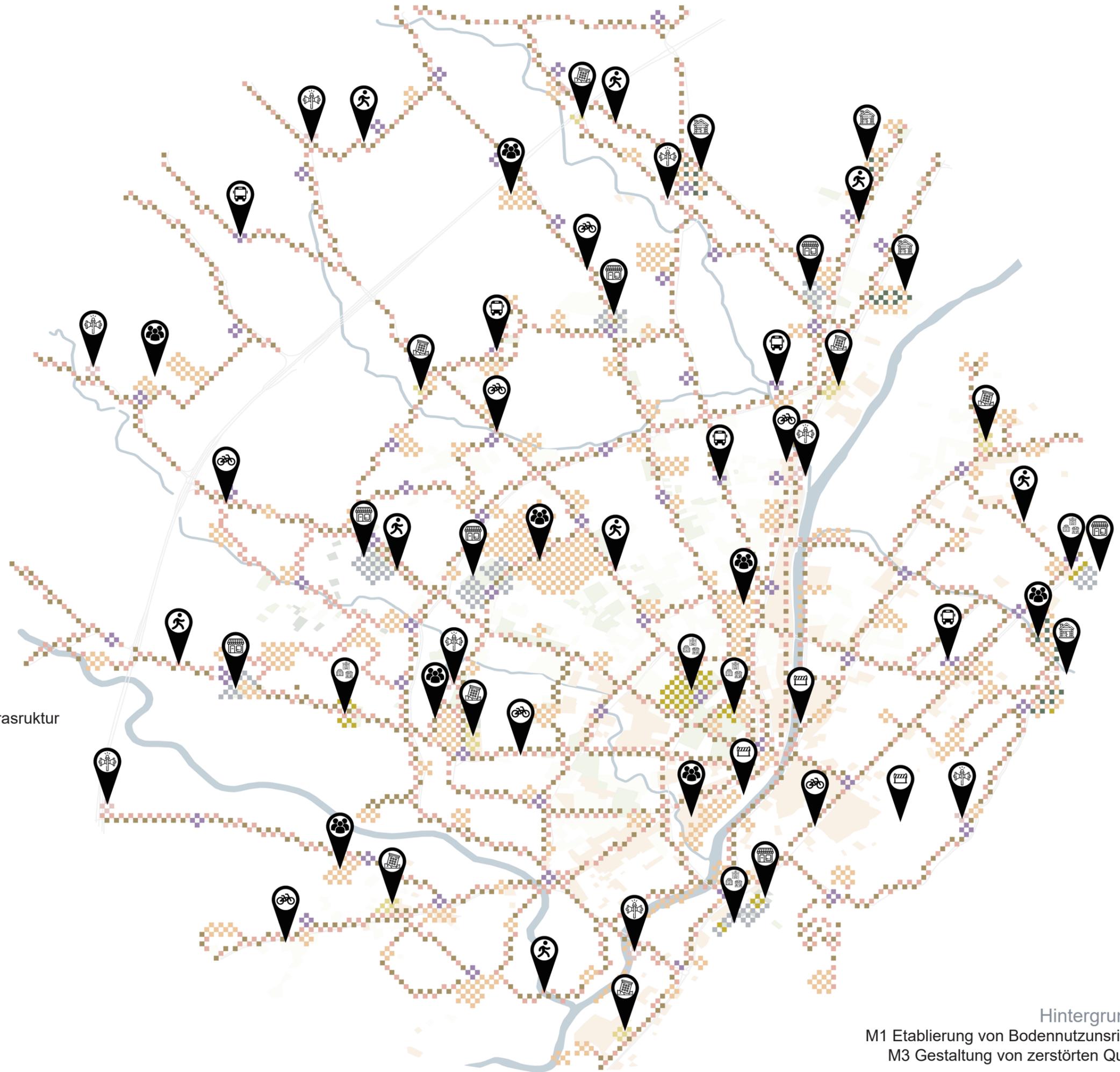
Die elektronischen Sirenen bieten eine effektive Möglichkeit zur Warnung der Bevölkerung und können problemlos installiert werden. Ihre Reichweite und die Möglichkeit, sie an Wänden oder auf Dächern zu montieren, gewährleisten ihre Funktionsfähigkeit während Katastrophen. Zusätzlich werden sie durch Solarenergie oder eigene Batterien betrieben, was ihre Unabhängigkeit von Stromleitungen sicherstellt.

Der strategische Rahmenplan erfüllt mehrere wichtige Funktionen. Er schafft Klarheit über langfristige erdbebensichere Maßnahmen und deren Verteilung im städtischen Raum. Darüber hinaus fungiert er als Leitfaden für die gesamte Stadtentwicklung und stellt sicher, dass die verschiedenen Maßnahmen aufeinander abgestimmt sind und ein gemeinsames Ziel verfolgen: die Schaffung einer erdbebensicheren Stadt, die den Herausforderungen von Erdbeben standhalten kann.

Insgesamt bildet dieser strategische Rahmenplan das Fundament für eine erdbebenresiliente Entwicklung der Stadt Antakya und wird dazu beitragen, die Stadt widerstandsfähiger, lebenswerter und besser auf die kommenden Herausforderungen zu machen.



-  Stadtplanung und Entwicklung
M2 Dezentralisierung und Versorgungszentren
-  Evakuierung und Schutz
M4 Errichtung von Evakuierungsgebäuden
M5 Errichtung von Evakuierungsfreiflächen
-  M6 Lokalisierung von temporären Unterkünften
-  M7 Gestaltung von Evakuierungswegen
-  Infrastruktur und Versorgung
M8 Straßenraumgestaltung
-  M9 Lagerung von Trümmern
-  M10 Erweiterung und Verlagerung kritischer Infrastruktur
-  M11 Mobilitätsalternativen
-  M12 Frühwarnsystem



Hintergrundkarte
M1 Etablierung von Bodennutzungsrichtlinien
M3 Gestaltung von zerstörten Quartieren

Abb. 104: Strategischer Rahmenplan für die Stadt Antakya (Eigene Abbildung).

Anlass & Ziele

Theoretische Grundlagen

Fallstudie Antakya

Planerische Konzeption

5 Diskussion, Limitation & Fazit

5.1 Diskussion & Limitation

In dieser Diskussion werden die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit im Kontext des theoretischen Hintergrunds interpretiert und diskutiert. Dabei wird eine kritische Reflexion der Datengrundlage und der Methodik durchgeführt, und es werden Anregungen für zukünftige Forschungsarbeiten gegeben.

Obwohl es heutzutage Möglichkeiten gibt, fremdsprachige Literatur wie Französisch (Haiti), Spanisch (Chile) oder Japanisch (Japan) zu übersetzen, ist es oft schwierig, die Bedeutung einiger Abschnitte nach der Übersetzung vollständig zu erfassen. Es wäre zudem ratsam, weitere Praxisbeispiele zu untersuchen und erfolgreiche Maßnahmen zu identifizieren, die dann in den eigenen Kontext integriert werden können.

Die erdbebenresiliente Stadtplanung, wie in dieser Untersuchung dargestellt, erweist sich als komplex und von vielen Faktoren beeinflusst. Zu diesen Faktoren gehören hydrologische, geologische und topographische Einflussfaktoren sowie weitere Parameter, die Kaskadeneffekte von Erdbeben begünstigen können.

Aus den hydrologischen Faktoren ergaben sich zwei Analysen. Die Analyse, um die Distanz zu den Wassersystemen zu bewerten konnte problemlos anhand der verfügbaren Open-Source-Daten ermittelt werden. Dabei stützte sich das Bewertungskriterium für das Risiko aus dem theoretischen Hintergrund.

Die Analyse zur Ermittlung und Bewertung der Tiefe des Grundwassers erwies sich jedoch schwer. Aufgrund des geringen Datenmaterials mussten die restlichen Daten anhand der verfügbaren Daten mathematisch geschätzt werden, wodurch die Gültigkeit infrage gestellt werden könnte. Zudem stellte sich hier die Problematik, dass die ermittelten Bewertungskriterien aus dem theoretischen Hintergrund nicht mit den vorhandenen Werten übereinstimmten, weshalb die Bewertungsmatrix, entsprechend den verfügbaren Daten, leicht angepasst werden musste.

Die Analyse zur Ermittlung der Distanz zu den Verwerfungslinien entsprach derselben Vorgehensweise wie die Ermittlung der Distanz zu den Wassersystemen. Die Verwerfungslinien konnten anhand von Open-Source-Daten entnommen, von der Literatur validiert und anschließend in die Analyse integriert werden. Das Bewertungskriterium ergab sich ebenfalls aus dem theoretischen Hintergrund. Hier ist jedoch zu beachten, dass das Bewertungskriterium zwar als Standard verwendet werden kann, aber stets eigene geologische Studien zu den Verwerfungslinien durchgeführt werden sollten.

Die Bewertung der Böden war hingegen eine Herausforderung, die auf wissenschaftlichen Arbeiten basierte. Hierbei stellte sich das Problem, dass eine der Quellen einen detaillierten Ansatz verfolgte, während die andere Quelle weniger umfangreich war. Diese Problematik führte dazu, dass die zweite Quelle lediglich für die Bereiche verwendet wurde, in denen die erste Quelle keine Daten lieferte. Im Anschluss wurden die Böden anhand der Bewertungskriterien der Türkei analysiert und beurteilt. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass andere Länder aufgrund ihrer spezifischen Bodenverhältnisse eigene Bewertungskriterien entwickeln sollten. Lokale Böden können Unterschiede in

den Bodenhorizonten aufweisen, weshalb die Bewertungskriterien angepasst werden sollten.

Die Analyse zur Beurteilung der Hangneigung basierte auf dem Digital Elevation Model (DEM), das von einer öffentlichen Institution in den USA bereitgestellt wurde. Die im DEM enthaltenen Geländehöheninformationen des Untersuchungsgebiets ermöglichten die Berechnung der Hangneigung mittels einer Geoinformationsanalyse (GIS-Analyse).

Eine Herausforderung bei der Bewertung der Hangneigung bestand darin, dass es keine standardisierte Bewertungsmatrix für Hangneigungen in Erdbebenrisikogebieten gab. Daher wurden zwei unterschiedliche Quellen herangezogen: Eine der Quellen verwendete den Standardansatz für die amerikanische Stadtplanung, während die andere Quelle eine Mikrozonierung für eine erdbebengefährdete Stadt führte. Allerdings wurde in dieser letzteren Quelle keine klare Methode oder Begründung für die Bewertung der Hangneigungen geliefert. Dadurch war nicht ersichtlich, wie die Bewertung genau vorgenommen wurde und auf welchen Grundlagen sie beruhte. Aus diesem Grund wurde entschieden, beide Werte miteinander zu interpolieren, um eine Bewertungsmatrix zu erhalten. Sicherlich besteht hier weiterer Forschungsbedarf, um eine optimalere Bewertung von Erdbebenrisikogebieten durchführen zu können.

Die Geländehöhen waren ebenfalls dem DEM entnommen. Diese Daten konnten ohne zusätzliche Datenaufbereitung direkt in die entsprechenden Bewertungskriterien integriert werden. Es ist dabei wichtig zu betonen, dass niedrigere Höhenwerte in diesem Zusammenhang von Vorteil sind, da bedeutende Höhenunterschiede die Auswirkungen von Erdbeben und damit verbundene Effekte wie Hangrutschungen oder Erdrutsche verstärken können. In Bezug auf die Erstellung einer Bewertungsmatrix für die Geländehöhen stellte sich während der Literaturrecherche die Schwierigkeit heraus, dass keine einschlägigen Quellen für eine solche Matrix gefunden wurden. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit entschieden, ein gleichmäßiges Intervall von 50 Metern für die Kategorisierung zu verwenden. Dabei wurden fünf Bewertungskategorien entwickelt, die dazu dienen sollte, die unterschiedlichen Geländehöhen zu bewerten.

Es ist wichtig, anzumerken, dass in diesem Bereich der Arbeit eine gewisse Beschränkung besteht. Diese resultiert aus der Tatsache, dass zwar der theoretische Hintergrund bezüglich des Einflusses von Geländehöhen auf Erdbeben bekannt ist, jedoch keine standardisierten Bewertungsmatrizen in der Literatur zur Verfügung standen. Daher war es notwendig, auf eine eigene Methode zurückzugreifen, um die Geländehöhen angemessen in den Kontext der Arbeit zu integrieren.

Für die Ermittlung der Distanzen von brennbaren Orten bestand ebenfalls darin die gleiche Problematik. Obwohl aus dem theoretischen Hintergrund die potenzielle Gefahr von brennbaren Standorten ermittelt werden konnten, fehlt ein standardisierter Messwert, da verschiedene zusätzliche Faktoren berücksichtigt werden mussten. Dazu gehören beispielsweise das Material oder die Art der Güter, die sich an diesem Standort befinden, sowie die generelle Brennbarkeit des Standorts selbst. Da es keinen festgelegten Standardwert für diese Parameter gibt, wurde in dieser Arbeit auf eine Literatur hingewiesen, die über den Sicherheitsabstand von Tankstellen zu Gebäuden geforscht hat. Die Forschung selbst wurde jedoch für den nordamerikanischen Standard für Tankstellen ver-

wendet, weshalb dieser Wert variieren kann. Außerdem gingen aus dem theoretischen Hintergrund noch weitere Faktoren hervor, die nicht mit in die Analyse einberechnet worden sind. Dazu gehören Tiefbaugasleitungen, Warmwasserbereiter und die Bebauungsdichte. Diese sollten in einem breiteren Verfahren mit einbezogen werden. Zudem wurden auch nur die Orte als potenziell brennbar markiert, die im Rahmen der Fernerkundungsbeobachtung gefunden worden waren.

Anschließend wurden die einzelnen Analysen, die für die gewichtete Überlagerung verwendet wurden, flächenhaft ausgewertet und mit einem Risikofaktor von 1-5 bewertet. Der Risikofaktor kann entsprechend weiter ausgebaut werden, indem beispielsweise auch eine Bewertung von 1-10 vorgenommen werden kann, wodurch jedoch die einzelnen Analysen dem neuen Standard entsprechend angepasst werden müssten. Es ist ebenfalls zu beachten, dass die Ergebnisse der gewichteten Überlagerung je nach gewählten Prozentwerten variieren können. Dabei bietet sich jedoch die Möglichkeit, verschiedene Ansätze auszuprobieren und die Praktikabilität der gewichteten Überlagerung für andere erdbebenbetroffene Städte zu nutzen. Für Städte ohne Flüsse ließe sich beispielsweise der entsprechende Parameter entfernen und die anderen Parameter entsprechend anpassen. Diese Parameter sollten wahrgenommen und in die Planung einer erdbebenresilienten Stadt einbezogen werden.

Alle weiteren Analysen wurden im Rahmen einer Fernerkundungsanalyse erhoben, erarbeitet und bewertet. Dabei wurde bei der Brachflächenanalyse über Google Earth ein vorher und nachher Vergleich getätigt, um zu überprüfen, welche Flächen innerhalb des Untersuchungsgebiets durch das Erdbeben zerstört wurden. Dabei wurden zunächst alle Flächen markiert, die zerstört aussahen und anschließend mit Open-Source-Daten der Bestandsgebäude vor dem Erdbeben überprüft und entsprechend so angepasst, dass nur die Flächen als Brachflächen markiert wurden, die vorher ein Gebäude aufwies. Offensichtlich besteht hier ein deutliches Ausbaupotenzial, wodurch Analysen vor Ort ein umfangreicheres Ergebnis liefern würden. Anschließend wurden die Ergebnisse mit der Mikrozonierung verglichen. Es sind einige Ausreißer zu erkennen, die obwohl sie von einem geringen Risikobereich gekennzeichnet waren, durch das Erdbeben zerstört wurden. Hier lassen sich unterschiedliche Vermutungen erörtern. Zum einen könnten weitere Parameter, die im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht wurden, den Effekt in diesen Gebieten verstärkt haben oder es könnte auch eine schlechte Bauqualität, trotz geringem Risikobereichs, dazu geführt haben, dass die Bodenbewegungen das Gebäude zum Einsturz gebracht haben.

Bei der Grün- und Freiflächenanalyse wurden alle Flächen, die im Rahmen einer Fernerkundungsanalyse gefunden wurden, markiert. Die Erreichbarkeit wurde anhand einer Netzwerkanalyse ermittelt, wobei die Zeit von 5 Minuten mit einer Fußlaufgeschwindigkeit von 1,16 Meter pro Sekunde kombiniert wurde (350 Meter).

Für die ÖPNV-Analyse wurde das gleiche Vorgehen gewählt, wobei zunächst per Fernerkundungsanalyse alle Haltestellen gekennzeichnet wurden, was anschließend mit einer Netzwerkanalyse abgeschlossen wurde, um die Defizite der Erreichbarkeit der vorhandenen Haltestellen darzustellen.

Die Datengrundlage zu der Verkehrsanalyse basierte zum einen auf OpenStreetMap und auf Goo-

gle Earth. Die Ermittlung der Straßenbreiten wurde durch Google Earth vorgenommen, wobei exemplarisch Straßen beobachtet und nachgemessen wurden, um die durchschnittliche Straßenbreite und die Hierarchie und Verteilung der Straßen innerhalb der Stadt Antakya zu ermitteln. Dabei wurden Defizite innerhalb der Altstadt erkannt und entsprechend aufgezeigt. Zudem wurde auch die Erschließungen zur Stadt bewertet.

Zu guter Letzt wurde die bestehende kritische Infrastruktur ermittelt, indem erneut über Fernerkundungsanalysen Orte markiert und identifiziert wurden. Um sicherzustellen, dass es sich hierbei um bestehende Orte handelte, wurde hier erneut die Brachflächenanalyse herangezogen, beide miteinander abgewogen und entsprechend angepasst.

Es ist anzumerken, dass die Fernerkundungsanalyse ihre Grenzen hat. Bei bestimmten Maßstäben kann sie an Details verlieren, was die genaue Lokalisierung und Bewertung von Orten erschwert. Zudem besteht die Gefahr, dass bestimmte Orte übersehen werden können, da die Sichtbarkeit von Objekten beeinträchtigt sein kann und somit Datenlücken entstehen könnten. Daher ist es ratsam, bei Bedarf Vor-Ort-Analysen durchzuführen.

Die Analysen müssen unter einer großen Anzahl von Begrenzung betrachtet werden, was auf die qualitative Datenerfassung zurückzuführen ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein sehr großer Teil der Datengrundlage von Fernerkundungsanalysen, Open-Source-Daten und aus anderen wissenschaftlichen Arbeiten verwendet. Trotz dieser Problematik können alle Analyseschritte und die Lokalisierung der Maßnahmen nach der Ermittlung von konkreteren Daten angepasst werden, wodurch weiterhin die Validität der vorliegenden Arbeit bestehen bleibt.

Die Arbeit konnte insgesamt zwölf Maßnahmen zusammenfassen. Diese Maßnahmen können grob in drei Hauptkategorien unterteilt werden: Stadtplanung und Entwicklung, Evakuierung und Schutz sowie Infrastruktur und Versorgung.

Zuerst wurde entsprechend der Mikrozonierung eine Bodennutzungsrichtlinie festgesetzt. In dieser sind die einzelnen Zonen und Bereiche aus der Mikrozonierung in fünf Kategorien unterteilt worden, wobei bei einem sehr hohen Risiko Baumaßnahmen ganz untersagt und bei einem sehr geringen Risiko erlaubt wurden. Die Richtlinien könnten entsprechend angepasst werden und dienen ausschließlich als Fundament für die Etablierung solch einer Maßnahme, wobei die Maßnahme selbst sich aus dem theoretischen Hintergrund aus dem Praxisbeispiel Haiti entnommen, ergänzt und auf die Stadt Antakya übertragen wurde. Dies bietet den weiteren Erdbebenrisikogebieten die Möglichkeit, die Entwicklung innerhalb ihrer städtischen Grenzen zu lenken, ohne dabei Baumaßnahmen zu stoppen, bzw. ganz zu untersagen. Jedoch muss beachtet werden, dass nicht alle Nutzungen mit den Bodennutzungsrichtlinien abgedeckt werden können, da es immer Ausnahmen geben wird. So dürfen beispielsweise Industrien, die an bestimmte Orte gebunden sind, auch in Hochrisikozonen errichtet werden, wobei vor allem die Baurichtlinien die Bodennutzungsrichtlinie ergänzen müssen.

Die Arbeit hat zudem die Gestaltung eines Quartiers gezeigt, dass durch ein Erdbeben zerstört wurde. Dabei waren vor allem, die erwähnten Bauvorschriften aus dem theoretischen Hintergrund

im Fokus, sowie die Etablierung einer feuerfesten Baustruktur entlang der Straßen, ein kleiner Evakuierungsraum im Innenhof und genügend Abstandsflächen zwischen den einzelnen Gebäuden, um zum einen sichere Durchgänge zu gewähren und um Brände zu minimieren. Dabei zielte die Gestaltung darauf ab, dass die einzelnen Bauflächen miteinander verbunden sind. So werden die Baufelder mit gekennzeichneten Gehwegen verbunden, damit auf diese Flächen, zusätzlich zu den Evakuierungsorten, bei einer Katastrophe ausgewichen werden darf und soll.

Zusätzlich wurde eine Dezentralisierung vorgenommen. Dabei wurden wichtige innerstädtische Einrichtungen, wie Dienstleister oder Einzelgewerbe, in sichere Zonen verlagert, um zum einen die Innenstadt baulich, aber auch in Abhängigkeit von Personen, die sich innerhalb der Zonen aufgrund der verfügbaren Leistungen dort aufhalten, umzulenken. Gleichzeitig konnten in diesen neuen Flächen Versorgungszentren etabliert werden, die die Koordinierungs- und Steuerungsfunktion während Katastrophenzeiten übernehmen. Dabei wurden explizit Flächen ausgewählt, die als sehr geringes Risiko und geringes Risiko bewertet wurden und gleichzeitig innerhalb eines kurzen Radius zu den lokalisierten Evakuierungsorten in Kombination mit den Maßnahmen aus der Kategorie Evakuierung und Schutz sich befinden. Dadurch kann der schnelle und leichte Transport von Gütern gewährleistet werden.

Anschließend wurden potenzielle Evakuierungsgebäude lokalisiert. Dabei wurde zunächst der Bestand anhand der durchgeführten Mikrozonierung bewertet und nur jene Gebäude als Evakuierungsgebäude ausgewählt, sofern diese in Bereichen mit geringem Risiko liegen. Anschließend wurde eine Puffer- und Netzwerkanalyse nach der Art des Vorbilds aus dem Praxisbeispiel Japan angelegt.

In Kombination mit der Maßnahme M5, Evakuierungsfreiflächen, wurden hier alle Flächen einer Puffer- und Netzwerkanalyse entsprechend ihrer Art aus der Tabelle vom Praxisbeispiel Japan angelegt. Dadurch konnten Defizite erkenntlich gemacht werden, wodurch neue Evakuierungsgebäude und -freiflächen anhand der Brachflächenanalyse lokalisiert wurden, um den restlichen städtischen Bereich abzudecken.

Basierend auf der Maßnahme M6 wurden anschließend Freiflächen für temporäre Unterkünfte lokalisiert. Dabei wurden ausschließlich Flächen mit einer bestimmten Mindestgröße gewählt. Diese Flächen können zwischenzeitlich als Versammlungs- und Tätigkeitsfläche genutzt werden. Wichtig hierbei ist, dass keine bodengebundenen Nutzungen errichtet werden.

Nach der Etablierung von Evakuierungsorten, wurden schließlich potenzielle Evakuierungswege identifiziert. Dabei kamen insbesondere die Hauptstraßen, sowie jeweils der kürzeste Weg durch die Nebenstraßen, falls die Evakuierungsorte nicht an eine Hauptstraße angebunden sind, infrage.

Darauf folgte die generelle Straßenraumgestaltung aus der Maßnahme 8 aus der Kategorie Infrastruktur und Versorgung. Aus der Analyse ging hervor, dass ein deutliches Defizit an Mobilitätsalternativen existiert und dass die Altstadtnebenstraßen für Rettungsmaßnahmen deutlich zu schmal sind. Daraus folgte der Entschluss, zunächst die Hauptstraßen mit beidseitigen Fahrradwegen aus-

zustatten und den ruhenden Verkehr zu minimieren. Für die Altstadtnebenstraßen wurde eine Mindestbreite von 5,5 Meter vorgeschlagen und entweder den ruhenden Verkehr zu reduzieren oder ganz auszuschließen bzw. eine Alternative mit Einbahnstraßen einzuführen. Zum einen kann dadurch der Verkehr reduziert werden, was Rettungs- und Evakuierungsmaßnahmen erleichtert und gleichzeitig können gekennzeichnete Fahrradwege gestaltet werden.

Darauffolgend wurden Verlagerungs- oder Erweiterungsflächen für bestimmte kritische Infrastrukturen identifiziert. Diese Flächen befinden sich ausschließlich innerhalb sehr geringen, bzw. geringen Risikozonen und sollen dazu dienen, wichtige Infrastrukturen besonders zu schützen.

Es wurden insgesamt sieben Flächen für die Lagerung von Trümmern durch die Brachflächenanalyse gefunden. Es wurden, basierend auf den Analysen, ausschließlich Flächen innerhalb der hohen Risikobereiche gewählt. Problematisch hierbei ist, ob die in der Arbeit identifizierten Flächen insgesamt genügen. Dies müsste anhand einer Modellierungsrechnung aufbereitet und gegebenenfalls mit weiteren Flächen ergänzt werden. Zusätzlich könnten auch Flächen außerhalb des Untersuchungsgebiets infrage kommen, anstatt ausschließlich Flächen im städtischen Raum dafür zu reservieren.

Aus der ÖPNV-Analyse ging hervor, dass die Stadt ein deutliches Defizit an Erreichbarkeit und Buslinien besitzt. Die Maßnahme M11, Mobilitätsalternativen, sieht da eine Veränderung vor, indem zunächst an allen potenziellen Evakuierungsorten und -freiflächen und Versorgungszentren neue Bushaltestellen angebracht werden. Aufgrund der guten Verteilung der obengenannten Flächen konnte somit ein sehr großer Bereich der Stadt mit Bushaltestellen abgedeckt werden. Gleichzeitig sind die Stellen oft Versammlungsorte, neue Zentren und Bildungseinrichtungen, was die Effektivität und Nutzbarkeit der neuen Haltestellen weiter positiv beeinflusst. Zudem wurden alle Bushaltestellen, ausschließlich entlang der Evakuierungswege platziert, sodass sichere Fahrten gewährleistet werden können.

Zu guter Letzt wurde auch die Etablierung eines Frühwarnsystems vorgeschlagen. Die passenden Orte wurden entlang des Straßenverkehrs lokalisiert, unabhängig von der Breite und des verfügbaren Platzes im Straßenraum. Doch besteht die Möglichkeit, nach Angaben des vorgestellten Modells in dieser Arbeit, die Sirenen an Wänden und auf Dächern zu installieren. Es könnte über die Sinnhaftigkeit diskutiert werden, da der Stand der Literatur gezeigt hat, dass Sirenen die Bevölkerung nur um einige Sekunden vorwarnen können. Zudem kann die Bevölkerung auch durch Smartphones benachrichtigt werden. Dennoch können selbst einige Sekunden dabei helfen, kurzfristige Sicherheitsvorkehrungen treffen zu können. Zudem sollte in Betracht gezogen werden, dass nicht die gesamte Bevölkerung ein Smartphone besitzt.

Darüber hinaus spielen auch Faktoren eine Rolle, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden, wie Eigentumsverhältnisse, örtliche Gesetzesvorschriften und die Einbindung aller relevanten Akteure in die städtische Planung. Durch die Berücksichtigung dieser zusätzlichen Faktoren könnten die Maßnahmen, die auf der Brachflächenanalyse basieren, erweitert werden, und es könnten weitere potenzielle Entwicklungsflächen identifiziert werden, die für wichtige Einrichtungen genutzt

werden könnten. Zeitgleich könnten dadurch Nutzungskonflikte entstehen, wodurch die Anzahl der potenziellen Flächen reduziert werden müsste. Die umfassende Zusammenarbeit und Koordination aller Akteure sind von entscheidender Bedeutung, um erdbebenresiliente Maßnahmen erfolgreich umzusetzen.

Insbesondere eine aktive Beteiligung ist vonnöten, um effektiv und gemeinschaftlich städtebauliche Veränderungen innerhalb der Kommune leiten zu können und das Wohnen innerhalb eines Erdbebenrisikogebiets zu verbessern. Modellprojekte, wie der Gestaltungsplan für zerstörte Quartiere, die Straßenbreitenerweiterung, die Erstellung von Bodennutzungsrichtlinien oder Umnutzung von Freiflächen für die spätere Nutzung für die Errichtung von temporären Unterkünften und der Gestaltungsplan für die Versorgungszentren stellen ein Fundament für diese Städte dar, um ihre Stadt erdbebenresilient zu gestalten. Sie sind jedoch stets mit möglichen Nutzungskonflikten zu betrachten.

Zudem stellt sich aus der Gestaltung der Stadt nach dem Erdbeben die Frage, wie sehr die Altstadt mit ihren historischen Gassen verändert werden sollte. Dabei ergibt sich ein bedeutender Nutzungskonflikt zwischen der Erhaltung historischer Altstädte und der Schaffung einer kompakten und erdbebenresilienten Stadtplanung.

Breitere Straßen könnten den Zugang für Rettungsdienste verbessern und die Evakuierung der Bevölkerung erleichtern. In der Tat könnten solche Maßnahmen Leben retten und die Schäden in Katastrophensituationen minimieren. Dieser Ansatz betont die Sicherheit und den Nutzen von breiten Straßen. Doch der Wiederaufbau der Altstadt mit breiten Straßen und den entsprechenden Bodennutzungsrichtlinien mit der Art und Maß der Bebauung können sicherlich den kulturellen Wert dieser Orte beeinträchtigen. Die historische Altstadt in Antakya ist für ihre sehr dichte Bebauung und ihre engen und verwinkelten Gassen bekannt. Durch die Verbesserung der Zugänglichkeit könnten diese charakteristischen Merkmale verloren gehen, was einen unwiderruflichen Verlust des kulturellen Erbes darstellen würde.

Jedoch sollte bei dieser Diskussion in Betracht gezogen werden, dass das Erdbeben in der Stadt Antakya viele Menschenleben gekostet hat und der Wiederaufbau der Stadt lange Zeit brauchen wird. Eine Veränderung der Altstadt durch die dargestellten Maßnahmen in den Bodennutzungsrichtlinien und den Vorgaben zur Art und Maß der Bebauung und die Straßenraumgestaltung können sicherlich bei einem erneuten Fall den Wiederaufbau beschleunigen und die Sicherheit der Bevölkerung gewährleisten. Zwar bietet sich hier keine optimale Lösung an, doch sollte die Sicherheit in einer erdbebenresilienten Stadtplanung vorgehen.

Die vorübergehende Nutzung von Flächen, sei es für temporäre Unterkünfte oder die vorübergehende Lagerung von Trümmern, steht zweifelsohne im Konflikt mit einer langfristigen Nutzung. Dies liegt daran, dass diese Flächen während Katastrophen schnell umgewidmet werden müssen und daher keine dauerhaften Strukturen wie Gebäude oder Bäume darauf errichtet werden dürfen. Dies könnte als Argument dienen, um zu betonen, dass diese Flächen als brachliegende Flächen betrachtet werden können.

Jedoch bietet sich vor allem auf diesen Flächen die Möglichkeit an, mobile Varianten zu verwenden. Zudem sollen die Flächen auch weiterhin in den städtischen Kontext integriert und öffentlich zugänglich und nutzbar sein. Zwar sollte der eigentliche Bedarf anhand von Modellierungsrechnungen abgeschätzt werden, um den genauen Flächenbedarf zu ermitteln. Zusätzlich bietet es sich an, auch diese Flächen in den Außenbereich zu verlagern.

Dennoch wird empfohlen, die Nutzung nicht ganz aus dem innerstädtischen Raum auszuschließen, da die Erfahrung gezeigt hat, dass Bürger oft in der Nähe ihrer ursprünglichen Wohngebiete bleiben möchten. Es sollte zumindest die Möglichkeit bestehen, kleine Zwischenlagerflächen für die Räumung bereitzustellen, um den Wiederaufbau nach Katastrophen zu beschleunigen. Anschließend können diese Trümmer in den Außenbereich verlagert werden.

Die Anwendung von Bodennutzungsrichtlinien ist zweifellos eine effektive Methode, um die urbane Entwicklung einer Stadt zu lenken. Sie ermöglicht es, bestimmte Nutzungen (wie kritische Infrastruktur) ausschließlich in Gebieten mit geringem Risiko zuzulassen. Dennoch sind hier einige Konflikte zu berücksichtigen, die in dieser Arbeit erörtert werden sollten.

Einerseits könnte das Verbot bestimmter Einrichtungen in Risikobereichen dazu führen, dass bestimmte Gebiete unterversorgt werden. Beispielsweise könnte ein ganzer Stadtteil möglicherweise keine Feuerwache in erreichbarer Nähe haben. Die Entfernung zu wichtigen Einrichtungen ist zweifellos ein entscheidender Faktor, der berücksichtigt werden muss. Darüber hinaus könnten aufgrund bestimmter wirtschaftlicher Standortfaktoren auch Standorte innerhalb von Risikobereichen attraktiv sein. Daher sollten Bodennutzungsrichtlinien immer in Verbindung mit seismischen Baustandards betrachtet werden. Diese Standards geben klare Anweisungen, wie bauliche Anlagen auch in Risikozonen errichtet werden können, wobei die Anforderungen an die Bauwerke höher sind. Dies kann zu steigenden Materialkosten, größeren Abstandsflächen und begrenzter Gebäudehöhe führen.

Im Vergleich zu kompakten Städten, gekennzeichnet durch hohe Baudichte, Nutzungsmischung und ökologische Aufwertung (Jessen 1997: 55f)¹⁹ kann eine erdbebensichere Stadt in Bezug auf Dichte und Zugänglichkeit zu wichtigen Einrichtungen variieren. Städte mit vielen Risikobereichen müssen erweiterte Abstandsflächen und niedrigere Gebäudehöhen einhalten, während Gebiete mit geringem Risiko dies möglicherweise nicht in dem Maße tun müssen. Die Notwendigkeit, bestimmte Flächen freizuhalten oder Baufelder nicht maximal auszunutzen, kann die Wirtschaftlichkeit einer Stadt sicherlich in Frage stellen. Das Untersuchungsgebiet der Stadt Antakya ist ein gutes Beispiel, da die Risikobereiche gut verteilt waren, abgesehen von der Altstadt, die nach den Bodennutzungsrichtlinien möglicherweise nur eingeschränkt wiederaufgebaut werden darf.

Wenn die Mischung von Nutzungen ausschließlich auf bestimmte Gebiete beschränkt wird, kann dies dazu führen, dass die Ziele einer kompakten Stadt nicht vollständig realisiert werden können. Es besteht zweifellos ein erheblicher Diskussionsbedarf hinsichtlich des Ausmaßes, in dem Bodennutzungsrichtlinien auf die Zonierung von Nutzungen hinwirken können. Darüber hinaus sind

¹⁹ Eine kompakte Stadt ist eine dichte Stadt mit hohen zusammenhängenden Bauwerken und einer hohen Bevölkerungs- und Bebauungsdichte. Sie ist durch einen hohen Flächenverbrauch in städtischen Gebieten gekennzeichnet (Jessen 1997: 56f).

weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um eine Stadt zu entwickeln, die sowohl erdbebenresilient als auch städtebaulich sinnvoll ist. Obwohl Bodennutzungsrichtlinien dazu beitragen sollen, Grünflächen näher an die Bevölkerung zu bringen, erweisen sie sich als wirkungslos, wenn die gesamte Stadt als „Hochrisikogebiet“ eingestuft ist und daher keine Bebauung gestattet ist. Aus diesem Grund sollte die Bodennutzungsrichtlinie als Teil einer umfassenderen Richtlinie betrachtet werden. Es gibt auch zahlreiche Baustandards, die den Bau in Gebieten mit höherem Risiko ermöglichen. Es ist daher wichtig, immer abzuwägen, welches Ziel innerhalb der Stadt erreicht werden soll. Dies eröffnet zweifellos weiteren Forschungsbedarf, um unterschiedliche städtebauliche Zielsetzungen mit erdbebensicherer Stadtplanung zu vergleichen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Forschungsfragen im Rahmen der strategischen Planung der Stadt Antakya Anwendung finden können. Es ist jedoch zu beachten, dass die Untersuchung aufgrund der geringen qualitativen Daten ihre Grenzen hat. Um die Repräsentativität der Ergebnisse der Mikrozonierung und die Lokalisierung der Maßnahmen zu überprüfen, sollten eigene Daten auf kommunaler Ebene entwickelt werden. Ein großer Teil der Datengrundlage wurde in dieser Arbeit aus Luftbildanalysen, Open-Source-Quellen und anderen wissenschaftlichen Arbeiten verwendet. Zwar wurde versucht, alle Daten mit anderen Quellen zu validieren, trotzdem wurde bei der Datenerfassung klar, dass eine örtliche Datenerfassung sicherlich bessere Ergebnisse erzielen würde. Trotzdem können alle Analysemethoden und die Lokalisierung der Maßnahmen angepasst werden, sobald genauere Daten verfügbar sind, wodurch die Validität der Arbeit weiterhin gewährleistet bleibt.

Im Rahmen dieser Arbeit stellt sich vor allem die Frage, wie Städte erdbebenresilient gestaltet werden können. Dabei weisen zwar neu errichtete Stadtteile einen geringen Nutzungskonflikt auf, da diese oft schon mit den nötigen Erschließungen gestaltet worden sind. Historische Altstädte hingegen lösen eine komplexe Debatte aus, aus der ein deutlicher Nutzungskonflikt hervorgehen könnte. Die Herausforderung besteht darin, einen angemessenen Ausgleich zwischen dem Schutz des kulturellen Erbes und der Verbesserung der Katastrophenvorsorge zu finden, wobei sich hier weiterer Forschungsbedarf eröffnet, indem mögliche kreative und flexible Lösungen für diese Bereiche entwickelt werden könnten. Zusätzlich ist die Effektivität von städtebaulichen Maßnahmen nicht direkt ersichtlich, was darauf hindeutet, dass die Effektivität der erarbeiteten Maßnahmen erst beim nächsten Erdbeben erkenntlich wird, sofern die Maßnahmen effektiv durchgeführt worden sind.

Zusammenfassend zeigt diese Diskussion, dass die erdbebenresiliente Stadtplanung eine komplexe Angelegenheit ist, die eine umfassende Analyse und Koordination erfordert. Die in dieser Arbeit identifizierten Maßnahmen und Erkenntnisse bieten eine wertvolle Grundlage, die durch weitere Forschung und die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten und Gesetze weiterentwickelt werden kann. Weitere Forschungen und Praxisbeispiele sind erforderlich, um das Verständnis und die Umsetzung einer erdbebenresilienten Stadtplanung weiter zu vertiefen, vor allem im Bereich der Bewertung der Parameter, die für eine erdbebenresiliente Stadtplanung relevant sind. Es wird deutlich, dass die erfolgreiche Umsetzung erdbebenresilienter Stadtplanung auf einer Vielzahl von Faktoren basiert und eine kontinuierliche Anpassung und Verbesserung erfordert. Dieser Forschungsbereich bietet viele Möglichkeiten für zukünftige Arbeiten, um das Verständnis und die Umsetzung erdbe-

benresilienter Städten weiter voranzutreiben.

5.2 Fazit

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der hochrelevanten Forschungsfrage der erdbebenresilienten strategischen Stadtplanung in Antakya nach dem Erdbeben im Februar 2023. Hierbei wurde mittels einer GIS-basierten gewichteten Überlagerungsanalyse auf Ansätze und internationale Konzepte zurückgegriffen, um die Widerstandsfähigkeit der Stadt gegenüber zukünftigen Erdbeben zu stärken, Schäden zu minimieren und als Modell für vergleichbare erdbebengefährdete Regionen zu dienen.

Die Forschung begann mit einer Untersuchung relevanter Faktoren wie hydrologischer, topographischer und geologischer Aspekte sowie anderer Einflussgrößen, die Erdbeben und deren Auswirkungen begünstigen. Diese Faktoren wurden in den städtischen Kontext integriert und bewertet, sowohl auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse als auch anhand der Praxisbeispiele. Dabei erwies sich die Mikrozonierung unter Anwendung einer GIS-basierten gewichteten Überlagerungsanalyse als Schlüsselwerkzeug zur Identifizierung gefährdeter Bereiche und zur Entwicklung gezielter Schutzmaßnahmen.

Die Schutzmaßnahmen wurden in drei Hauptkategorien zusammengefasst: Stadtplanung und Entwicklung, Evakuierung und Schutz sowie Infrastruktur und Versorgung. Diese Kategorien wurden anhand konkreter Praxisbeispiele aus Haiti, Chile und Japan sowie kleinerer Konzepte aus verstreuten Quellen und wissenschaftlichen Arbeiten zusammengefasst. Diese Maßnahmen wurden in Antakya lokalisiert und Modelle für ihre Umsetzung erstellt. Darüber hinaus wurde die multifunktionale Nutzung von Flächen betrachtet, sowohl in Zeiten ohne Katastrophen als auch im Katastrophenfall.

Der strategische Rahmenplan für die Stadt Antakya wurde basierend auf den einzelnen Maßnahmen entwickelt. Es ist die Kombination aller Maßnahmen, die einen umfassenden Fahrplan für eine erdbebenresiliente Entwicklung der Stadt anbietet und dazu beiträgt, die Lebensqualität der Bewohner zu verbessern, den Wiederaufbau nach einem Erdbeben zu beschleunigen und die Schäden durch ein Erdbeben zu minimieren. Der strategische Rahmenplan ermöglicht ganzheitliche und koordinierende Planungen für die Stadt und berücksichtigt dabei die einzelnen aus der Mikrozonierung ergebenden Risikozonen. Diese Arbeit bietet eine solide Grundlage für weitere Forschungen und kann universell auf andere Städte angewendet werden, indem die Analysen und Bewertungskriterien an örtliche Gegebenheiten angepasst werden und stets mit anderen Leitzielen abgewogen wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Frage nach erdbebenresilienter Stadtplanung positiv beantwortet werden kann. Erfolgreiche Ansätze und Modelle existieren bereits und können als Inspiration dienen. Die vorliegende Arbeit vertieft das Verständnis für die Bedeutung von Maßnahmen zur Erdbebensicherheit und zeigt Wege auf, wie Städte sich besser auf zukünftige Erdbeben vorbereiten können. Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfordert jedoch Zeit, Ressourcen und eine umfassende Zusammenarbeit von Behörden und Bürgern und ist stets mit möglichen Nutzungskonflikten zu betrachten. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind ein wichtiger Schritt hin zu einer erdbebenresilienten Zukunft, und es ist zu hoffen, dass sie als Grundlage für weitere Forschung und praktische Umsetzung dienen werden.

Literaturverzeichnis

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

Abrahamczyk, L.; Schwarz, J.; Langhammer, T.; Genes, C.; Bikçe, M.; Kaçin, S.; Gülkan, P. (2013): Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya–Maras Region (SERAMAR): Empirical Studies on the Basis of EMS-98. *Earthquake Spectra*, 29(3). S. 683–704.

Akther, S. (2010): Earthquakes of Dhaka. Verfügbar unter: https://www.academia.edu/429823/Earthquakes_of_Dhaka [abgerufen am 15.10.2023].

Andrecs, P.; Obernforder, S. (2008): Beurteilung von Naturgefahren – Gefahr, Risiko und Vulnerabilität. In: BFW Praxisinformation, Nr. 15, 2008. S. 5–6.

Ansary, M.; Noor, M.; Rashid, M. (2004): Site amplification characteristics of Dhaka city. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 32(1). S. 1–16.

Arya, A. (2012): An Earthquake Preparedness Guide. Verfügbar unter: <https://www.undp.org/india/publications/earthquake-preparedness-guide> [abgerufen am 15.10.2023].

Bachmann, H. (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser, Basel.

Barua, U.; Ansary, M. A.; Islam, I.; Munawar, H.; Mojtahedi, M. (2022): Mapping Earthquake Risk Sensitivity of Land Use Plan at Local Level for Sustainable Risk Sensitive Land Use Planning (RSLUP). Verfügbar unter: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-1187390/v1/46cd8513-1b0d-4764-b66c-474526574e63.pdf?c=1666354370> [abgerufen am 15.10.2023].

Bellgardt, F.; Marquart, H. (2014): Stadtentwicklung in Osaka und Kobe – Strategien, Verfahren und Instrumente im Rahmen des internationalen Städtewettbewerbs. In: Kasagami, T.; Vacher, C.; Kulke, E.; Suwala, L. (Hrsg.): Japan – Bericht zur Hauptexkursion 2013. Nr. 183, 2014. S. 154-169.

Brand-Feuer (2023): Sirene. Verfügbar unter: <https://www.brand-feuer.de/index.php/Sirene> [abgerufen am 15.10.2023].

Bryant, W. (2013): Fault. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 317-321.

Bundesverband Geothermie (2022): Richterskala. Verfügbar unter: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/r/richterskala.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Cassidy, J. (2013): Earthquake. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 208–223.

Çetin, K. Ö.; İlgaç, M.; Can, G.; Çakır, E. (2023): Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes. REPORT NO: METU/EERC 2023-01. Verfügbar unter: https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/DMAM_Report_2023_Kahramanmaraş-Pazarcık_and_Elbistan_Earthquakes_Report_final_ENG.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Chang, S. (2000): Disasters and transport systems: loss, recovery and competition at the Port of Kobe after the 1995 earthquake. *Journal of Transport Geography*, (8). S. 53–65.

Christiansen, T.; Erb, W. D. (2001): GIS. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/gis/3079> [abgerufen am 15.10.2023].

Chung, J.; Roger, J. (2013): Influence Assumed Groundwater Depth on Mapping Liquefaction Potential. *Environmental & Engineering Geoscience*, (19). S. 377–389.

Clague, J. (2013): Landslide. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 594-602.

Comerci, V. (2013): Epicenter. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 284 – 284.

Davidson, R. A.; Shah, H. C. (1997): An Urban Earthquake Disaster Risk Index. Verfügbar unter: https://stacks.stanford.edu/file/druid:zy159jm6182/TR121_Davidson.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Değerliyurt, E. (2013): ANTAKYA'DA DOĞAL AFET RİSK ANALİZİ VE YÖNETİMİ. Verfügbar unter: <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/50790.pdf> [abgerufen am 15.10.2023].

Değerliyurt, E. & Özşahin, E. (2013): MODELING OF SEISMIC HAZARD RISK ANALYSIS IN ANTAKYA (HATAY, SOUTH TURKEY) BY USING GIS. *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, (1). S. 31–54.

Desramaut, N.; Modaresi, H.; Cozannet, G. (2013): Earthquake Damage. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 223–225.

Dietrich, D. (2011): Was sind offene Daten? Verfügbar unter: <https://www.bpb.de/themen/daten/opendata/64055/was-sind-offene-daten/> [abgerufen am 15.10.2023].

Earl, S. (2019): *Physical Geology*. BCcampus. 2. Auflage. British Columbia.

Erdik, M. (2006): Urban Earthquake Risk. Verfügbar unter: <https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=geohazards> [abgerufen am 15.10.2023].

ESRI (2019): Raster is faster but vector is corrector. Verfügbar unter: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/media/pdf/teach-with-gis/raster-faster.pdf> [abgerufen am 15.10.2023].

European Committee for Standardisation (2004): EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures

for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Verfügbar unter: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf> [abgerufen am 15.10.2023].

Ferreira, T. M.; Vicente, R.; Mendes Silva, R.; Varum, H.; Maio, R. (2014): Urban Fire Risk: evaluation and emergency planning. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/268209182_Urban_Fire_Risk_evaluation_and_emergency_planning [abgerufen am 15.10.2023].

Fiedrich, F.; Zlatanova, S. (2013): Emergency Mapping. In: Encyclopedia of Natural Hazards. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 272–276.

Fitzpatrick, K.; Brewer, M. A.; Turner, S. (2006): Another Look at Pedestrian Walking Speed. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1). S. 21–29.

Freepik (2023): Strategischer Rahmenplan Piktogramme. <https://www.freepik.com/> [abgerufen am 15.10.2023].

Garthwaite, E. (2023): Earthquake levels city of Antakya in southern Turkey. Verfügbar unter: <https://abcnews.go.com/International/earthquake-levels-city-antakya-southern-turkey/story?id=97034631> [abgerufen am 15.10.2023].

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (2022): active Faults of Eurasia Database (AFEAD). http://neotec.ginras.ru/index/english/database_eng.html [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010a): PLAN MAESTRO Isla Santa Maria. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/65356799-Plan-de-reconstruccion-del-borde-costero-prbc18-plan-maestro-isla-santa-maria.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010b): PLAN MAESTRO Tubul. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/63736583-Plan-de-reconstruccion-del-borde-costero-prbc18-plan-maestro-tubul-diciembre-2010.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010c): PLAN MAESTRO Talcahuano. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/19126185-Plan-maestro-talcahuano.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010d): PLAN MAESTRO Llico. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/72564338-Plan-de-recons-truccion-del-struccio-borde-costero-prbc18-plan-maestro-llico-diciembre-2010.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010e): PLAN MAESTRO Cobquecura. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/47773299-Plan-maestro-cobquecura.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010f): PLAN MAESTRO Tumbes. Verfügbar unter: <https://docplayer.es/23725128-Plan-de-recon-nstruccion-del-borde-coste-ero-prbc18-plan-maestro-tumbes.html> [abgerufen am 15.10.2023].

[es/23725128-Plan-de-recon-nstruccion-del-borde-coste-ero-prbc18-plan-maestro-tumbes.html](https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf) [abgerufen am 15.10.2023].

Gobierno de Chile (2010g): PLAN DE RECONSTRUCCIÓN TERREMOTO Y MAREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010. Verfügbar unter: https://www.preventionweb.net/files/28726_plandere-construccionagosto2010.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Google Earth (2022): Stadt Antakya Dezember 2022. Verfügbar unter: <https://earth.google.com/web/@36.21163069,36.14148662,118.09597498a,10976.29694311d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA> [abgerufen am 15.10.2023].

Google Earth (2023a): Stadt Antakya Februar 2023. Verfügbar unter: <https://earth.google.com/web/@36.21163069,36.14148662,118.09597498a,10976.29694311d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA> [abgerufen am 15.10.2023].

Google Earth (2023b): Stadt Antakya Juni 2023. Verfügbar unter: <https://earth.google.com/web/@36.21163069,36.14148662,118.09597498a,10976.29694311d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA> [abgerufen am 15.10.2023].

Government of the Republic of Haiti (2010): Action Plan for National Recovery and Development of Haiti. Verfügbar unter: <https://reliefweb.int/report/haiti/action-plan-national-recovery-and-development-haiti> [abgerufen am 15.10.2023].

Grünthal, G. (1998): European Macroseismic Scale 1998. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15. Verfügbar unter: https://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Guth, P. L.; van Niekerk, A.; Grohmann, C. H.; Muller, J. P.; Hawker, L.; Florinsky, I. V.; Gesch, D.; Reuter, H. I.; Herrera-Cruz, V.; Riazanoff, S.; López-Vázquez, C.; Carabajal, C. C.; Albinet, C.; Strobl, P. (2021): Digital Elevation Models: Terminology and Definitions. Remote Sensing, 13(18). S. 1–19 [abgerufen am 15.10.2023].

Hatay (2022): HATAY BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ İMAR YÖNETMELİĞİ. Verfügbar unter <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/03/20220315-6.htm> [abgerufen am 15.10.2023].

Høeg, K. (2013): Slope Stability. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 919–924.

Höfker, G. (2022): Schall. In: Willems, W. M. (Hrsg.): Lehrbuch der Bauphysik. Springer Vieweg. 9.Auflage. Wiesbaden. S. 567-587.

Hörmann-Warnsysteme (o.J.a): Elektronische Sirene ECN-D. Verfügbar unter: <https://www.hoermann-ws.de/de/sirenen/elektronische-sirenen/elektronische-sirene-ecn-d-grosse-warnsysteme->

und-sirenenetze [abgerufen am 15.10.2023].

Hörmann-Warnsysteme (o.J.b): Warnsystem in Städten – Elektronische Sirenen warnen schnell vor einer Katastrophe. Verfügbar unter: <https://www.hoermann-ws.de/de/einsatzbereiche/bevoelkerungswarnsysteme/warnsysteme-fuer-staedte-und-gemeinden-sirenenetz-bevoelkerungswarnung> [abgerufen am 15.10.2023].

Hultquist, C. (2022): Disaster Planning. In: Schintler, L. A.; McNeely, C. L. (Hrsg.): Encyclopedia of big data. Springer Nature reference. Springer, Cham, Schweiz. S. 401–403.

Idriss, I. M.; Boulanger, R. W. (2008): Soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland, Kalifornien.

Ilustre Municipalidad de Talcahuano (2013): Guía participativa de orientaciones de respuesta frente a emergencia de terremoto-tsunami. A partir de la experiencia de Talcahuano, Chile. Verfügbar unter: <https://www.undp.org/es/chile/publications/gu%C3%ADa-participativa-de-orientaciones-de-respuesta-frente-emergencia-de-terremoto-tsunami-partir-de-la-experiencia-de-talcahuano> [abgerufen am 15.10.2023].

Institute of International Harmonization for Building and Housing (iibh) (2007): Turkish Earthquake Code 2007 – EN. Verfügbar unter: http://www.iibh.org/kijun/pdf/Turkey_04.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Işık, E.; Harirchian, E. (2022): A Comparative Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Eastern Turkey (Bitlis) Based on Updated Hazard Map and Its Effect on Regular RC Structures. Buildings, 12(10). S. 1-19. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1573> [abgerufen am 15.10.2023].

Ismail-Zadeh, A. (2013): EARTHQUAKE PREDICTION AND FORECASTING. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 225–229.

Jeoloji Mühendisleri Odası – Chamber of Geological Engineers of Turkey (2021): Hatay'ın Depremselliği. Verfügbar unter: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a349229db3a94a8_ek.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Jessen, J. (1997): Verkehrsmindernde Siedlungsstruktur als Ziel der Stadtplanung. In: Jessen, J.; Roos, H. J.; Vogt, W. (Hrsg.): Stadt-Mobilität-Logistik. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden. S. 54-75.

Koller, M. G.; Studer, J. A.; Wenk, T. (1995): Das grosse Hanshin-Erdbeben vom 17. Januar 1995. Schweizer Ingenieur und Architekt, 113(11). S. 258-265.

Korkmaz, H. (2006): ANTAKYA'DA ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE DEPREM ETKİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİ. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2). S. 49–66.

Kovats, S.; Lloyd, S.; Scovronick, N. (2014): Climate and health in informal urban settlements. Verfügbar unter: <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/10719IIED.pdf> [abgerufen am 15.10.2023].

Kramer, S. (2013): Liquefaction. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 629–633.

Kuebler, M. (2023): Turkey-Syria earthquake: How can cities build up resilience? Verfügbar unter: <https://www.dw.com/en/turkey-syria-earthquake-how-can-cities-build-up-resilience/a-64771273> [abgerufen am 15.10.2023].

Kukfisz, B.; Kuczyńska, A.; Piec, R.; Szykuła-Piec, B. (2022): Research on the Safety and Security Distance of Above-Ground Liquefied Gas Storage Tanks and Dispensers. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(2). S. 1-12.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2023): Grundlagen der Wahrnehmung, Wirkung und Beurteilung von Geräuschen. Verfügbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/laerm/geraeusche/grundlagen-der-wahrnehmung-wirkung-und-beurteilung/> [abgerufen am 15.10.2023].

Logan, J. (2013): Building, Structures, and Public Safety. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 51–55.

Long, M. (2014): Fundamentals of Acoustics. In: Long, Marshall (Hrsg.): Architectural Acoustics, 2. Auflage. Elsevier Science, Burlington. S. 39–79.

Lunecke, M. (2016): Planificación territorial y mitigación de impacto de tsunami en Chile después del 27 Febrero 2010. Verfügbar unter: <https://lajtp.uchile.cl/index.php/RU/article/view/39418/43589> [abgerufen am 15.10.2023].

Malla, H. (2023): Earthquake levels city of Antakya in southern Turkey. Verfügbar unter: <https://abcnews.go.com/International/earthquake-levels-city-antakya-southern-turkey/story?id=97034631> [abgerufen am 15.10.2023].

Marques, M. (2018): Lessons Learned from Chile, Evaluating Strategic Reconstruction Master Plans in Post-Disaster Scenarios. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/328580701_Lessons_Learned_from_Chile_Evaluating_Strategic_Reconstruction_Master_Plans_in_Post-Disaster_Scenarios [abgerufen am 15.10.2023].

McBride, S. (1999): Site Planning and Design. Verfügbar unter: <https://researchrepository.wvu.edu/>

cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=rri-web-book [abgerufen am 15.10.2023].

Meijde, M.; Shafique, M. (2010): The Importance of Topography in Seismic Amplification. *Asian Disaster Management News*, 16 (1). S. 25–26.

Meskouris, K.; Hinzen, K.-G.; Butenweg, C.; Mistler, M. (2011): Seismologische Grundlagen. In: Meskouris, K.; Hinzen, K.-G.; Butenweg, C.; Mistler, M. (Hrsg.): *Bauwerke und Erdbeben*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden. S. 53–188.

Ministere de L'interieur (2015): Haïti, ensemble face aux risques | Programme De Développement Des Nations Unies. Verfügbar unter: <https://www.undp.org/fr/haiti/publications/ha%C3%Afti-ensemble-face-aux-risques> [abgerufen am 15.10.2023].

Ministry of Public Works and Settlement Turkey (2007): Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones. Verfügbar unter: https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/53_Turkey/53_Turkey_Overall.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Miranda, C. A. (2015): Earthquake lessons: A Chilean city develops a new way of living with nature. *Los Angeles Times*. Verfügbar unter: <https://www.latimes.com/entertainment/arts/miranda/la-et-cam-chile-earthquake-lessons-constitucion-urban-planning-20150604-column.html> [abgerufen am 15.10.2023].

Mitsui, Y. (2022): *Disaster Management and City Planning. Lessons of the Great Hanshin-Awaji Earthquake*. Reihe: *New Frontiers in Regional Science*, v.58. Springer Nature Singapore; Springer, Singapore.

Naddaf, M. (2023): Turkey-Syria earthquake: what scientists know. *Nature*, 614 (7948). S. 398–399.

Nadim, F. (2013): Mitigation. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer. Dordrecht. S. 682–683.

OCHA – UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2023a): Türkiye: 2023 Earthquakes Situation Report No. 1, As of 16 February 2023. Verfügbar unter: <https://reliefweb.int/report/turkiye/turkiye-2023-earthquakes-situation-report-no-1-16-february-2023> [abgerufen am 15.10.2023].

OCHA – UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2023b): Türkiye: 2023 Earthquakes Situation Report No. 5, As of 27 February 2023. Verfügbar unter: <https://reliefweb.int/report/turkiye/turkiye-2023-earthquakes-situation-report-no-5-27-february-2023> [abgerufen am 15.10.2023].

OCHA – UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2023c): Türkiye: 2023 Earthquakes Situation Report No. 10, as of 17 March 2023 [EN/TR]. Verfügbar unter: <https://reliefweb.int/report/turkiye/turkiye-2023-earthquakes-situation-report-no-10-17-march-2023-entr> [abgerufen am

15.10.2023].

OCHA – UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (2023d): Türkiye: 2023 Earthquakes Situation Report No. 15, as of 20 April 2023 [EN/TR]. Verfügbar unter: <https://reliefweb.int/report/turkiye/turkiye-2023-earthquakes-situation-report-no-15-20-april-2023-entr> [abgerufen am 15.10.2023].

Öngören, G. (2020): İNŞAAT HUKUKU. Verfügbar unter: <https://ongoren.av.tr/wp-content/uploads/2020/08/İ%CC%87NS%CC%A7AAT-HUKUKU-INT-05-03-2020.pdf> [abgerufen am 15.10.2023].

OpenStreetMap (o.J.): Stadt Antakya. Verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/36.2083/36.1520> [abgerufen am 15.10.2023].

Över, S.; Özden, S.; Ünlügenc, U.; Yilamz, H. (2004): A synthesis: Late Cenozoic stress field distribution at northeastern corner of the Eastern Mediterranean, SE Turkey. *Geoscience*, 336(1). S. 93–103.

Över, S.; Ünlügenc, U.; Özden, S. (2001): Hatay bölgesinde etkin gerilme durumları. *Yerbilimleri*, 0(23), S. 1-14.

Özşahin, E. (2010): ANTAKYA'DA (HATAY) YER SEÇİMİNİN JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER VE DOĞAL RİSK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ. Discussion of Geographical Survey In Respect of Geomorphologic Characteristics And Natural Risks In Antakya (Hatay). *alıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(23). S. 1–16.

Platt, S. (2019): Planning Recovery and Reconstruction After the 2010 Maule Earthquake and Tsunami in Chile: Re-thinking Urban Transformation. In: Brunetta, G. (Hrsg.): *Urban Resilience for Risk and Adaptation Governance. Theory and Practice. Resilient Cities*. Springer, Cham. S. 285–304.

Ramzy, A. (2015): The Deadliest Earthquakes Since 2000. Verfügbar unter: <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/live/earthquake-katmandu-nepal-updates/the-deadliest-earthquakes-since-2000/> [abgerufen am 15.10.2023].

Reja, Y.; Ansary, M.; Jahan, I. (2008): Earthquake evacuation plan for old Dhaka, Bangladesh. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/328744846_Earthquake_evacuation_plan_for_old_Dhaka_Bangladesh [abgerufen am 15.10.2023].

République d'Haïti (2015): Guide méthodologique. Réduction des risques naturels en zone urbaine en Haïti. Verfügbar unter: <https://www.undp.org/fr/haiti/publications/guide-m%C3%A9thodologique-r%C3%A9duction-des-risques-naturels-en-zone-urbaine-en-ha%C3%Afti> [abgerufen am 15.10.2023].

Salıcı, A.; Güzelmansur, A.; Altunkasa M. F. (2007): Kentsel Yapı Değişiminin Tarihi Kent Dokusuna Etkilerinin İrdelenmesi: Antakya Örneği. In: ICANAS Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi. Nr. 2, 15.09.2007. S. 707–716.

Saracoğlu, P. E. (2015): REDUCING LOCAL VULNERABILITIES AND RISKS BY PLANNING DECISIONS: THE CASE OF FATİH DISTRICT IN İSTANBUL. METU JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE, 32(01). S. 261-298.

Sarker, R. I.; Mailer, M.; Sikder, S. K. (2018): Walking to a public transport station. Smart and Sustainable Built Environment, 9(1). S. 38–53.

Sengezer, B.; Koç, E. (2005): A critical analysis of earthquakes and urban planning in Turkey. Disasters, 29(2). S. 171–194.

Şentürk, E.; Erener, A. (2017): DETERMINATION OF TEMPORARY SHELTER AREAS IN NATURAL DISASTERS BY GIS A CASE STUDY FOR GÖLCÜK/TURKEY. International Journal of Engineering and Geosciences, 2(3). S. 84–90.

Stadt Antakya (2020): Antakya Belediyesi 2020 - 2024 Stratejik Planı. Verfügar unter: https://antakya.bel.tr/Files/2020_ilanlar/2020-2024%20antakya%20belediyesi%20stratejik%20plan.pdf [abgerufen am 15.10.2023].

Sucuoğlu, H. (2019): New Improvements in the 2019 Building Earthquake Code of Turkey. Turkish Journal of Earthquake Research 1(1). S. 63–75.

T.C. Hatay Valiliği (o.J.): Sosyal ve Coğrafi Durum. Verfügar unter: <http://www.hatay.gov.tr/sosyal-ve-cograf-durum> [abgerufen am 15.10.2023].

Tan, O.; Tapirdamaz, M.; Yörük, A. (2008): The Earthquake Catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 17(2). S. 405–418.

Teimouri, H.; Ansari, M.; Teimouri, H.; Hashemi Nasab, H.; Ghavagh, A. R. (2018): Assessing Potential of Physical Development with an Emphasis on Geomorphological Indicators Using AHP-FUZZY (Case Study: Estahban City). Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 15(2). S. 115–126.

Towashiraporn, P. (2010): Overview of Urban Earthquake Risk Reduction in Asia. Asian Disaster Management News, 16(1). S. 4–5.

Tudes, S. (2012): Correlation Between Geology, Earthquake and Urban Planning. In: D'Amico, S. (Hrsg.): Earthquake Research and Analysis. Statistical Studies, Observations and Planning. IntechOpen, Rijeka. S. 417-434.

Turoğlu, H. (2004): Zemin Sıvılaşmasının 17 Ağustos 1999 Depreminde Adapazarı'ndaki Hasara

Etkisi. Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, (12). S. 63–74.

Vemaps (o.J.): Grey Basemaps. World, Turkey, Haiti, Chile, Japan. Verfügar unter: <https://vemaps.com/turkey/tr-04> <https://vemaps.com/world/wrld-20> <https://vemaps.com/haiti/ht-04> <https://vemaps.com/chile/cl-03> <https://vemaps.com/japan/jp-04> [abgerufen am 15.10.2023].

UNDP – United Nation Development Programme (2013): Plan de recuperación post desastre con enfoque de gestión de riesgo y participación ciudadana Comuna de Curepto, Región del Maule. Verfügar unter: <https://www.undp.org/es/chile/publicaciones/plan-de-recuperaci%C3%B3n-post-desastre-con-enfoque-de-gesti%C3%B3n-de-riesgo-y-participaci%C3%B3n-ciudadana-comuna-de-curepto-regi%C3%B3n-del-maule> [abgerufen am 15.10.2023].

UNDP – United Nation Development Programme (2023a): Recovery and Reconstruction after the 2023 Earthquakes in Türkiye, UNDP Project Catalogue [EN/TR]. Verfügar: unter <https://reliefweb.int/report/turkiye/recovery-and-reconstruction-after-2023-earthquakes-turkiye-undp-project-catalogue-entr> [abgerufen am 15.10.2023].

UNDP – United Nation Development Programme (2023b): Millions of tons of earthquake rubble await removal in Türkiye, Pressemitteilung vom 2023b. Verfügar unter: <https://www.undp.org/turkiye/press-releases/millions-tons-earthquake-rubble-await-removal-turkiye> [abgerufen am 15.10.2023].

United States Geological Survey (o. J.a): Modified Mercalli-Scale. Verfügar unter: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale> [abgerufen am 15.10.2023].

United States Geological Survey (o.J.b): Digital Elevation Model. Verfügar unter: <https://www.usgs.gov/the-national-map-data-delivery/gis-data-download> [abgerufen am 15.10.2023].

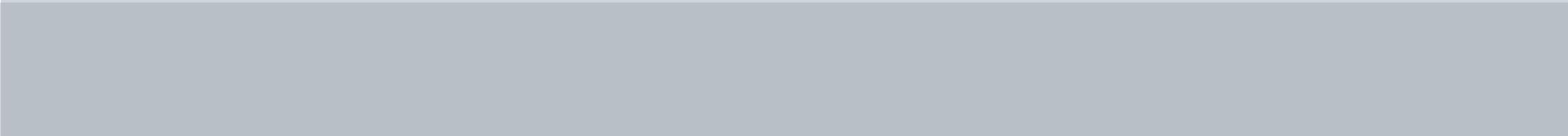
Wagemann, E. (2017): Need for Adaptation. Transformation of Temporary Houses. Disasters, 41(4). S. 828-851.

Watt, K.; Weinstein, P. (2013): Casualties following natural hazards. In: Bobrowsky, P. T. (Hrsg.): Encyclopedia of Natural Hazards. Springer. Dordrecht. S. 59–64.

WHO – World Health Organization (2017): Urban green spaces: a brief for action. Verfügar unter: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344116/9789289052498-eng.pdf?isAllowed=y&sequence=1> [abgerufen am 15.10.2023].

WHO – World Health Organization (2022): Urban planning, design and management approaches to building resilience - an evidence review. First report on protecting environments and health by building urban resilience. Verfügar unter: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-10665-355761> [abgerufen am 15.10.2023].

Anhang



Fragebogen Literaturrecherche

1. Ist der Autor/ Herausgeber bekannt?
2. Ist die Herkunft der Quelle bekannt?
3. Ist das Veröffentlichungsdatum bekannt?
4. Um welchen Quellentyp handelt es sich?
5. Was sind die Kernaussagen der Arbeit?
6. Können die Ergebnisse und Erkenntnisse der Arbeit wiedergegeben werden?
7. Unterscheidet die Quelle zwischen nachprüfbaren Informationen und deren Interpretation?
8. In welchem Zusammenhang wird die Quelle verwendet? Konzept? Richtlinien? Vorschläge? Analyse?
9. Ist die Arbeit für meine Arbeit relevant und welche Inhalte können verwendet werden?

Evakuierungsorte

Bestand Grün- und Freiflächen

Nummer	Nutzung	Evakuierungsort	Begründung	Erreichbarkeit
1	Freifläche	Relay Evacuation Area/ Sammelevakuierungsbe- reich	Flächengröße und Lage	176 m
2	Freifläche	Relay Evacuation Area/ Sammelevakuierungsbe- reich	Flächengröße und Lage	176 m
3	Freifläche	Relay Evacuation Area/ Sammelevakuierungsbe- reich	Flächengröße und Lage	176 m
4	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
5	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
6	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
7	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
8	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
9	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
10	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
11	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
12	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
13	Freifläche	Open space for waiting/ offener Raum zum Warten	Flächengröße	0,5 km
14	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
15	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
16	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
17	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
18	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
19	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km
20	Freifläche	Evacuation site/ Evakuie- rungsort	Flächengröße	0,5 km

21	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
22	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
23	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
24	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
25	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
26	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
27	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
28	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
29	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
30	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
31	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
32	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
33	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
34	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
35	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
36	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
37	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
38	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
39	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
40	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
41	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
42	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
43	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
44	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km

45	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
46	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
47	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
48	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
49	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
50	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
51	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
52	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
53	Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
54	Freifläche	Area hub/ Evakuierungszentrum	Flächengröße und sehr zentrale Lage	176 m

Bestand Einrichtungen

1	Bildungseinrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
2	Bildungseinrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
3	Bildungseinrichtung	Primary evacuation Area/ Primäre Evakuierungszone	Aufgrund der Nutzung (Bildungseinrichtung) und Flächengröße	0,5 km
4	Bildungseinrichtung	Relay Evacuation Area/ Sammelevakuierungsbe- reich	Flächengröße	176 m
5	Bildungseinrichtung	Relay Evacuation Area/ Sammelevakuierungsbe- reich	Flächengröße	176 m
6	Religiöse Einrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
7	Religiöse Einrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
8	Religiöse Einrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
9	Religiöse Einrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
10	Religiöse Einrichtung	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km

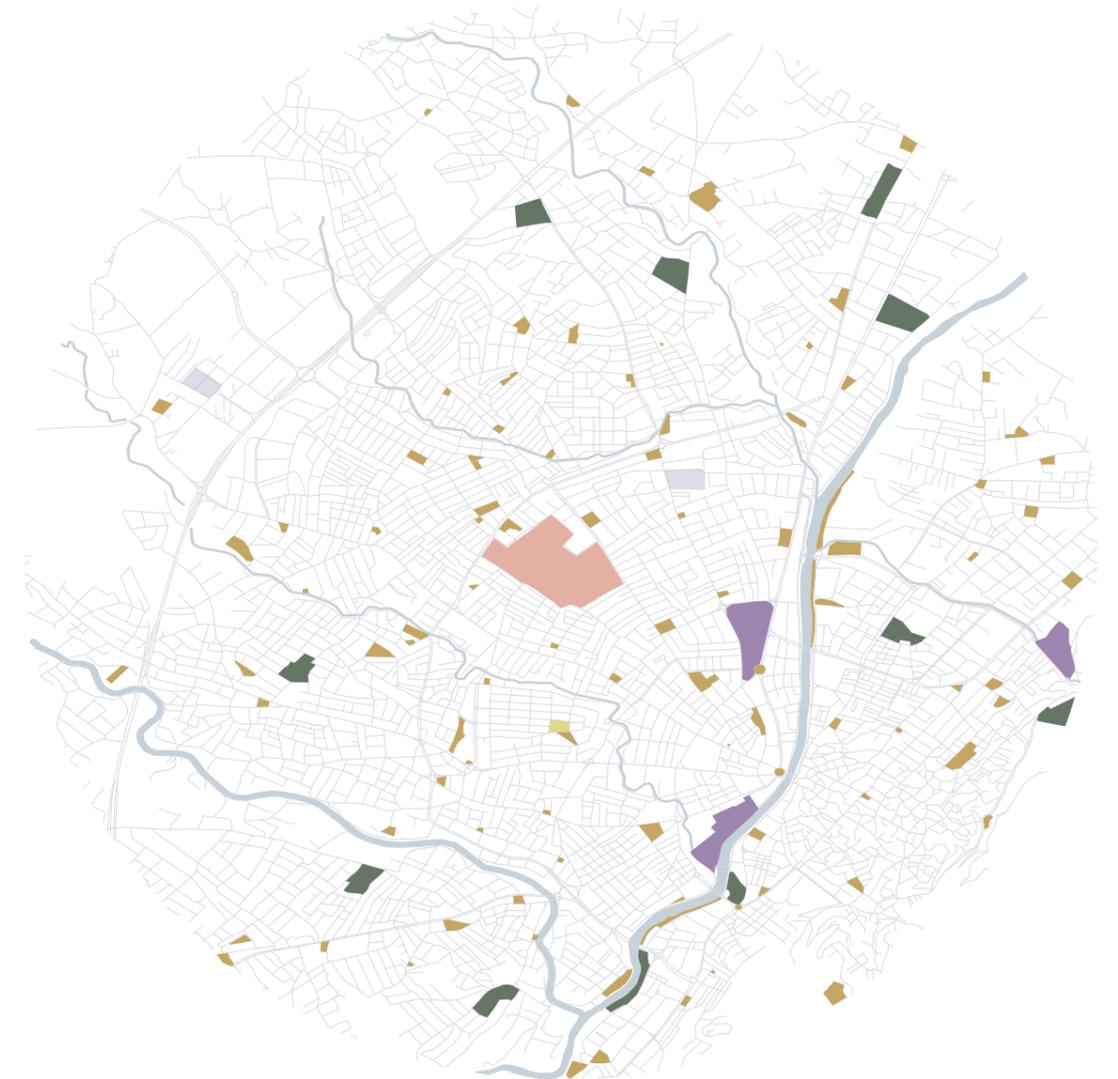
44	Grün-o. Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
45	Grün-o. Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
46	Grün-o. Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km
47	Grün-o. Freifläche	Evacuation site/ Evakuierungsort	Flächengröße	0,5 km

Begründung:

Flächengröße = Die Kategorisierung der Fläche/ Einrichtung ergibt sich durch die Flächengröße aus dem Praxisbeispiel Japan

Lage = Aufgrund der zentralen Lage, ermöglicht der Ort zusätzliche Möglichkeiten. Aufgrund der Lage im Außenbereich kann die Bevölkerung leichter durch Rettungsmaßnahmen außerorts gerettet werden.

Aufgrund der Nutzung = Die Kategorie der Fläche/ Einrichtung ergibt sich aus der Nutzung.



Sammelevakuierungsbereich



Offener Raum zum Warten



Evakuierungszentrum



Primäre Evakuierungszone



Evakuierungsort

