



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Eine Analyse von Rutschungen in Tuzla 2010“

Verfasser

Edin Mumic

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, November 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt: Theoretische und Angewandte Geographie

Betreuerin / Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade

ERKLÄRUNG

Ich versichere,

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich diese Arbeit bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin /einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im November 2012

Edin Mumic

DANKSAGUNG

Zuerst möchte ich mich herzlich bei Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Thomas Glade bedanken, der mich bei meiner Diplomarbeit betreute, mir die ganze Zeit half und mit mir Geduld hatte. Ohne ihn wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Weiterhin möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mir mit den Daten geholfen haben. Bei der Zivilschutzbehörde möchte ich mich für die Bereitstellung der Rutschungsdaten, beim hydrologischen Dienst der Föderation Bosnien für den Zugang der Klimadaten bedanken.

Einen besonderen Dank gilt Mr. sci. Elvir Ferhatbegovic, der mich mit Kartenmaterial unterstützte.

Außerdem möchte ich mich bei Prof. Dr. Sabid Zekan und Prof. Dr. Zijad Ferhatbegovic bedanken, welche mir in der Theorie beiseite standen und mit denen ich verschiedene Gespräche führte.

Ich möchte mich auch beim Mr. sci. Dipl. Ing. Geo Amer Džindo und Dr .sci. Dipl. Ing. Geo. Miralem Mulac sowie Dipl. Ing. Serifovic Enes bedanken. Weiterhin gilt mein Dank dem Personal des Geographieinstitutes in Tuzla, speziell Dr. sci. Alija Suljic und Dr. sci. Sabahudin Smajic.

Insbesondere danke ich meiner Familie, die mich die ganze Zeit unterstützt hat.

Danke auch an Elvira, Mirsad, Tobias, und alle Freunde, die mich während meiner Studienzeit begleiteten.

ZUSAMMENFASSUNG

Gravitative Massenbewegungen als ein globales Problem werden oft unterschätzt. Eine Auseinandersetzung mit dem Thema ist wichtig, besonders in Entwicklungsländern. Dort stellt es ein größeres Problem dar, weil einerseits begrenzte Mittel für Gegenmaßnahmen zur Verfügung stehen und andererseits von den zuständigen Ämtern nicht beglaubigte und unautorisierte Bauvorhaben durchgeführt werden. Um diese Probleme besser zu lösen, ist ein multidisziplinärer Einsatz erforderlich. Das übergeordnete Ziel dieser Untersuchung, war die Ereignisanalyse von Rutschungen in Tuzla vom 1.-5. Juni 2010. Im Rahmen dieser Arbeit standen eine topographische Karte sowie Klimadaten und unvollständige Rutschungsdaten zur Verfügung. Für die angestrebte Analyse waren das zu wenige Daten und daher musste auf eine aufwändige Geländearbeit zurückgegriffen werden. Es wurden insgesamt 106 Rutschungen in 13 Gemeinden in Tuzla kartiert, wobei sich eine räumliche und zeitliche Verteilung von Rutschungen feststellen ließ. Bei den Faktoren wie Höhenlage und Exposition konnte kein Zusammenhang zu den Rutschungen nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu wurde festgestellt, dass es bei einigen geologischen Schichtabfolgen, insbesondere bei der Wechselablagerung von Mergel, Tonstein und Sandstein zu Anhäufungen von Rutschungen kam. Bezüglich der Hangneigung hat sich herausgestellt, dass fast alle Rutschungen in einem Bereich zwischen 12° und 32° entstanden, was eine kleine Hangneigung darstellt und sich mit dem Einfluss der anthropogenen Faktoren erklären lässt. Die Gegenüberstellung von Hangneigung und Rutschungsfläche ergab, dass große Rutschungen meist bei kleiner Hangneigung und kleine Rutschungen bei großer Hangneigung entstehen. Die meisten Rutschungen im Untersuchungsgebiet zählen zu den Komplexrutschungen, sowie zu der Gruppe der Oberflächenrutschungen mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit bis zu 4 m. Durch die Analysen hat sich bestätigt, dass die Geologie zusammen mit dem Niederschlag die Hauptursachen für die Aktivierung von Rutschungen darstellen. Der anthropogene Einfluss als vorbereitender Faktor stellt sich als deutlich geringer, als im Vorhinein angenommen, heraus.

Für die Auslösung von so vielen Rutschungen innerhalb von 3 Tagen ist der Niederschlag verantwortlich, und zwar nicht nur die Niederschlagsmenge und die Intensität des gefallenen Niederschlags, sondern auch die Vorbefeuchtung. Für den Raum Tuzla wurden für die Auslösung von Rutschungen folgende Niederschlagsschwellenwerte $I=1,161 \cdot D^{-0,577}$ ermittelt (I = Niederschlagsintensität, D = Niederschlagsdauer).

ABSTRACT

Gravitational movements are a global problem that is unrarely being underrated. Discussions about this topic are important, especially in the developing countries. It is here that they represent a big issue due to lack of financial resources and the fact that much is being built without permission of the authorities. A multidisciplinary access is needed in order to solve this problem efficiently.

The main goal of the following research is to analyze the landslides that took place in Tuzla, Bosnia and Herzegovina between 1. and 5. June 2010.

A topographic map and incomplete landslide dates have been used in the given research. These have not resulted in enough information for the wanted analysis, thus a field work had to be applied. A total of 106 landslides in 13 different municipalites in Tuzla have been mapped with a certain distribution pattern in space and time. No correlation could be found between landslides and factors such as hight or exposition.

However, it has been found that landslides occured more within a certain pattern of geological layers- especially in deposits of marl, mudstone and sandstone.

Regarding the slope area in which the events occured brings to light that the vast majority lied beetween 12 and 32°, this inclination can be explained through anthropological factors. It has also been found that much of the small surface landslides took place at high slopes, whereas big landslides vastly occured at low slopes.

Complex and surface landslides form the biggest category group regarding analyzed events with an average surface of 4 m. The analysis results confirm that geological activities and precipitation are the main triggers for landslides. The human factor seems to be from less importance than normally assumed.

Not only precipitation quantity and intensity, but also prehumidity of the soil are responsible for the activation of so many landslides in only 3 days in the research area of Tuzla, Bosnia and Herzegovina.

The necessary precipitation threshold for the activation of landslides in Tuzla reaches the value of $I=1,161 \cdot D^{-0,577}$ (I = precipitation intensity, D = precipitation duration).

INHALTSVERZEICHNIS

Erklärung.....	I
Danksagung.....	II
Zusammenfassung.....	III
Abstract.....	IV
Verwendete Abkürzungen.....	V
1. Einleitung	1
2. Theorie.....	5
2.1 Definition von gravitativen Massenbewegungen.....	5
2.2 Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen	5
2.3 Rutschungen	7
2.4 Rutschungselemente.....	9
2.5 Ursachen und Auslösung von Massenbewegungen	10
2.6 Anthropogene Faktoren.....	14
2.7 Auslösende Faktoren	15
2.8. Niederschlagsschwellenwerte	16
3. Methoden.....	18
3.1 Rutschungsdaten.....	19
3.2 Kartierung im Gelände.....	19
3.3 Kartierung mit Gis	21
3.4 Klimadaten	21
3.5 Anthropogene Faktoren.....	22
3.6 Intensity-Duration Modell.....	22
3.7 Erstellung von Inventarkarte	23
4. Untersuchungsgebiet.....	25
4.1. Geographische Lage von Tuzla	25
4.2 Das Klima von Tuzla.....	26
4.2.1 Temperatur	28
4.2.2 Niederschlag	30
4.3 Geologie	31
4.4 Hydrologie	35

4.5 Vegetation.....	37
4.6 Böden.....	38
4.7 Geomorphologie	39
4.8 Anthropogene Faktoren	40
5. Daten.....	43
5.1 Topografische Karte	43
5.2 Geologische Karte	43
5.3 Klimadaten	43
5.4 Rutschungsdaten	44
6. Ergebnisse.....	46
6.1 Kartierungsergebnisse	46
6.2 Niederschlag als auslösender Faktor von Rutschungen in Tuzla	55
6.3 Intensity Duration Model (ID)	58
6.4 Einfluss anthropogener Faktoren	60
6.5 Inventarkarte	60
7. Diskussion.....	63
7.1 Kartierungsergebnisse	63
7.2 Niederschlag	67
7.3 Diskussion Intensity Duration Model	67
7.4 Anthropogene Faktoren	68
7.5 Diskussion Inventarkarte	71
8. Schlussfolgerungen und Perspektive.....	72
9. Literaturverzeichnis.....	74
10. Abbildungsverzeichnis.....	82
11. Tabellenverzeichnis.....	84
12. Anhang.....	85

VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

TK	Tuzla Kanton
KM	Konvertabile Mark (Offizielle Währung)
BiH	Bosnien und Herzegowina
MIO	Million
TRT	Türkisch Radio und Television
FHZ BiH	Föderaler Hydrometeorologischer Dienst Bosnien und Herzegowina
DGH	Digitales Geländemodell
RGGF	Bergbau-Geologie-Bauwesen Fakultät
CZ	Zivilschutzbehörde
ID	Intensity Duration Model

1 EINLEITUNG

Gravitative Massenbewegungen stellen ein globales Phänomen dar und haben ein großes Gefährdungspotential, obwohl sie oft unterschätzt werden. Sie begleiten die Menschheit schon seit sehr langer Zeit. In den Medien hören wir immer mehr Berichte von Naturkatastrophen auf der ganzen Welt mit menschlichen Opfern und enormen Sachschäden.

So kam es laut Medienberichten im Juni und Juli 2012 in mehreren Ländern zu Rutschungen, die Menschenleben kosteten, wie zum Beispiel in Japan mit insgesamt 19 Toten (TRT-TV-Portal in bosnischer Sprache, 13.7.2012.), in Uganda mit 18 Toten und Hunderten Vermissten (das Portal von Al Jazeera Balkan, 26.6.2012), in Haiti mit 6 Toten sowie in Bangladesch, wo mehr als 90 Menschen durch Rutschungen ums Leben kamen (TRT-TV-Portal in bosnischer Sprache, 28.6.2012). Wie die oben genannten Beispiele zeigen, können gravitative Massenbewegungen nicht nur großen Schaden an Infrastruktur und Gebäude verursachen, sondern auch Menschenleben gefährden.

Auf dem gesamten Territorium von Bosnien und Herzegowina und den Nachbarländern kommt es häufig zu Rutschungen (Bognar 1996). Die Komplexität der geologischen, als auch klimatischen Faktoren sowie menschliche Einflüsse sind Voraussetzungen für die Aktivierung von gravitativen Massenbewegungen, vor allem Rutschungen. In BiH werden Rutschungen oft durch menschliche Fahrlässigkeit (s. Abb. 1.1), wie die Hangunterschneidung, das Errichten von Gebäuden und Straßen, defekte Sanitär- und Abwassersysteme, die Bewirtschaftung von gefährlichen Hängen sowie die Entfernung der Vegetationsdecke verursacht (Langof 2000).

Besonders bedeutsam ist das Problem der Rutschungen in der Gegend von Tuzla. Dieses Gebiet hat eine sehr komplexe geologische Struktur (viele lithostratigraphische Zonen). Jede dieser Zonen wird charakterisiert durch den spezifischen Untergrund (Cackovic 2003).

Die Spezifität der natürlichen Bedingungen (geologische, hydrologische, klimatologische, geomorphologische und geologische Besonderheiten) und die hohe Anzahl an wirtschaftlichen und infrastrukturellen Einrichtungen sowie die hohe Bevölkerungsdichte, tragen dazu bei, dass die Stadt zu den am stärksten gefährdeten in Bosnien und Herzegowina zählt (Mulac 2011).

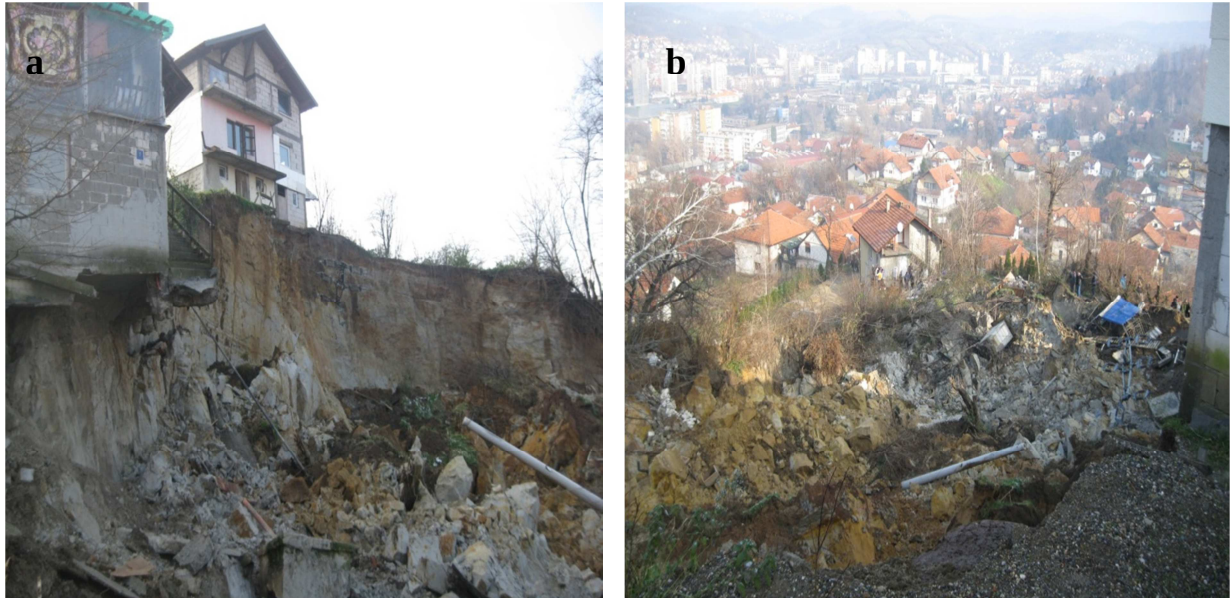


Abbildung 1.1: a). Blick auf Abrisskante einer Rutschung in Crvene Njive b). Rutschungsfuß einer Rutschung in Crvene Njive Quelle: Foto Zekan

Alle diese Faktoren führten in den letzten Jahren zu einer Reihe von Rutschungen, vor allem entlang der Straßen und Eisenbahnlinien, der Flüsse sowie an bebauten Hängen mit Wohn- und Gewerbeimmobilien. Rutschungen, die keine Gefahr für die Infrastruktur darstellen, werden in der Regel nicht gemeldet. Das stellt auch ein Problem dar, da niemand weiß, wie viele Rutschungen es tatsächlich gibt.

Die Auslösung von Rutschungen in Tuzla steht in einem Zusammenhang mit starken Niederschlagsereignissen, so wie das in den folgenden Jahren beziehungsweise Monaten der Fall war:

1996 / 1997 (Schneesmelze)

Juli 1997 (Intensive Niederschläge)

Dezember 1999 (Schneesmelze)

Juni 2001 (Intensive Niederschläge)

März 2005 (Schneesmelze)

Juni/Juli 2005 (Intensive Niederschläge)

Mai/Juni 2010 (Intensive Niederschläge) (T. K. 2008)

Aufgrund der hohen Anzahl der anthropogenen Faktoren sind viele Bau- und Infrastruktureinrichtungen, darunter gesamte Stadtteile und somit auch das Leben der Menschen von Rutschungen bedroht. Es ist nicht ungewöhnlich, dass es durch die Folgen von Rutschungen zu einer Naturkatastrophe kommt, wie das beispielsweise im Jahr 2010 zweimal passierte (Juni und Dezember).

Nach Angaben des Instituts für Städtebau Tuzla (2005) sind 13,7 % der Fläche Tuzlas von Rutschungen gefährdet, während 27,5 % potentiell Rutschungsgebiet darstellen (instabile Oberflächen).

Allein im Jahr 2010 beträgt der Gesamtbetrag der Schäden an Material und anderen Gütern durch Rutschungen in Tuzla Kanton 35,379 Mio. KM (rund 17,7 Mio. Euro), (Zivilschutzbehörde 2010.). Rutschungen gefährden sehr oft Menschenleben, wie zum Beispiel 2010, als in dem Stadtteil Crvene Njive drei Menschen durch Rutschungen ums Leben gekommen sind (s. Abb. 1.2).



Abbildung 1.2: Zerstörtes Haus durch Rutschungen in Crvene Njive, Tuzla 2010
Quelle: Foto Zekan

Da Tuzla somit ein stark gefährdetes Rutschungsgebiet darstellt, ist es wichtig, sich mit Rutschungen auseinanderzusetzen, um die Auswirkungen zu minimieren. Im Moment

untersuchen nur wenige Institutionen (Geologieuniversität und das Institut für Städtebau Tuzla) sowie einige Personen (Herr Mulac 2004, 2008) Rutschungen. Bei der Betrachtung der Literatur lässt sich feststellen, dass in Tuzla bisher kaum Nachforschungen zu Rutschungen stattfanden, es liegen lediglich einige Untersuchungen in der näheren Umgebung im Gebiet Tuzlanski Kanton vor.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist, alle Rutschungen zwischen dem 1. und 5. Juni 2010 in Tuzla zu identifizieren, kartieren und digitalisieren. Es sollen weitere gründliche Analysen durchgeführt werden. Zusätzlich sollen alle vorbereitenden und auslösenden Faktoren festgestellt werden.

Sind die Rutschungen im Untersuchungsgebiet durch menschliche Aktivitäten entstanden oder eher durch natürlichen Faktoren?

Damit soll erklärt werden, ob in erster Linie Rutschungen durch natürliche Faktoren oder durch anthropogene Faktoren entstehen.

Können die Rutschungsereignisse durch Niederschläge erklärt werden?

Auch hier wird versucht einen Zusammenhang näher zu beleuchten. Kann man einen Niederschlagsschwellenwert ausrechnen?

Lässt sich anhand gewonnener Erkenntnisse eine Gefährdungskarte erstellen?

Im Zuge dieser Arbeit sollte anhand gewonnener Erkenntnisse im Untersuchungsgebiet eine Inventarkarte erstellt werden. Mit Hilfe dieser Karte kann erkannt werden, welche Gebiete stark von Rutschungen betroffen sind und somit eine Gefahr für die Bevölkerung darstellen.

Nach der Einleitung und näherer Erläuterung der Fragestellung folgen im 2. Kapitel wesentliche theoretische Grundlagen zu gravitativen Massenbewegungen, in dem die unterschiedlichen Massenbewegungstypen definiert, als auch vorbereitende und auslösende Faktoren vorgestellt werden. In den Kapiteln 3 und 5 werden die verwendeten Methoden und Daten vorgestellt. Die Beschreibung des Untersuchungsgebietes erfolgt im Kapitel 4. Im Kapitel 5 sind wichtige Ergebnisse dieser Arbeit dargestellt, welche anschließend im 6. Kapitel diskutiert werden. Das 7. Kapitel beinhaltet die Schlussfolgerung.

2 THEORIE

In diesem Kapitel werden kurz die Definitionen und Klassifikationen von Massenbewegungen vorgestellt. Des Weiteren werden verschiedene Definitionen von Rutschungen näher beschrieben, als auch vorbereitende und auslösende Faktoren dargestellt.

2.1 Definition von gravitativen Massenbewegungen

Zum besseren Verständnis von gravitativen Massenbewegungen ist es notwendig, dieses Phänomen zu definieren. In der Literatur gibt es mehrere Definitionen und Klassifikationen. In der Realität ist es, wegen der Komplexheit des Prozesses, oft schwierig eine Klassifikation zu finden (Gouide 2007). In der deutschen Literatur wird oft der Begriff Hangrutschung für gravitative Massenbewegungen verwendet (Dikau und Glade 2001). In der englischen Literatur wird für den Begriff Massenbewegung "landslides" und „mass movements" benutzt (Dikau und Glade 2001). Nach Glade sind gravitative Massenbewegungen „unter dem Einfluss der Schwerkraft hangabwärts gerichtetes Fließen, Kippen, Gleiten oder kombinierte Prozesse, die Festmaterialien wie Boden, Schutt oder Fels aus einem Quellgebiet über eine bestimmte Strecke bis zur Ablagerung transportieren“ (Glade 2005, S.80). Eine andere Definition nach Zepp für den Begriff Massenbewegungen lautet: „Unter gravitativen Massenbewegungen versteht man Abtragungs-, Transport - und Ablagerungsvorgänge, die auf schwach geneigten bis steilen Hängen überwiegend unter dem Einfluss der Schwerkraft erfolgen“ (Zepp 2002, S. 99). Trotz vieler Versuche gibt es keine einheitliche Definition, weil dieses Phänomen sehr komplex ist und es unterschiedlich betrachtet wird (nach Geschwindigkeit, Bewegungsart und Material).

2.2 Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen

Die Klassifikation der Massenbewegungen nach Varnes gehört zu den am häufigsten verwendeten. Nach Varnes können gravitative Massenbewegungen nach Bewegungsart in Fallen (Falls), Kippen (Topples), Gleiten (Sleides), Fließen (Flows) und Komplex (Complex) unterschieden werden (Varnes 1978). Varnes (1978) unterteilt die Rutschungen weiterhin in Translations- und Rotationsrutschungen. Cruden und Varnes (1996) sowie Dikau et al. (1996)

unterscheiden gravitative Massenbewegungen aufgrund von Prozess- und Materialtypen (s.Tab. 2.1).

Tabelle 2.1: Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen nach Prozesstyp und Materialtyp nach Cruden und Varnes (1996) und Dikau (1996).

PROCESS PROZESS	MATERIAL MATERIAL		
	Rock Festgestein	Debris Schutt	Earth Erde/Boden
Fall Fallen	Rock fall Bergsturz, Felssturz, Steinschlag	Debris fall Schuttsturz	Earth fall Erdsturz
Topple Kippen	Rock topple Felskipfung	Debris topple Schuttkipfung	Earth topple Erddkipfung
Slide (rotational) Gleiten (rotationsförmig)	Rock slide Bergrutschung, Felsrutschung	Debris slide Schuttrutschung	Earth slide Erdrutschung
Slide (translational) Gleiten (translationsförmig)	Rock block slide Felsblockgleitung Rock slide Felsgleitung	Debris block slide Schuttblockgleitung Debris slide Schuttgleitung	Earth block slide Erdblockgleitung Earth slide Erdgleitung
Spread Driften	Rock spreading Felsdriften	Debris spreading Schuttdriften	Earth spreading Erddriften
Flow Fließen	Rock flow Sackung, Talzuschub	Debrisflow Schuttfließen, Mure, Murgang	Earth flow Erdfließen, Mure,Murgang
Complex Komplex	e.g. Rock avalance z.B. Sturzstrom, Steinlawine	e.g. flow slide z.B. Plötzliche und schnelle Fließbewegungen in kohäsionslosem Lockergestein	e.g. rotational slide – earthflow z.B. kombinierte Rotationsrutschung mit Erdfließen

Dikau und Glade (2002) unterscheiden dabei folgende Typen von gravitativen Massenbewegungen.

Fallen: es handelt sich um vertikales Fallen von Fest- oder Lockergesteinen, wobei die Ablösung des Materials an der Fläche erfolgt, wo geringe oder keine Scherbewegungen stattfinden. Das Material bewegt sich fallend, springend oder rollend.

Kippen bezeichnet „Vorwärtsrotation von Fest- oder Lockergesteinen eines Hanges um einen Punkt oder eine Achse unterhalb ihres Schwerpunktes“ (Dikau und Glade 2002, S. 40).

Gleiten bezeichnet einen „Vorgang, bei dem Fest- oder Lockergesteine eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf einer Gleitfläche oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung vollziehen“ (Dikau und Glade 2002, S. 40).

Driften beschreibt eine „laterale Bewegung von Fest- oder Lockergesteinen, mit Einsinken in liegende weniger kompetente Schichten, ohne intensive Scherung auf Gleitflächen“ (Dikau und Glade 2002, S. 40).

Fließen ist definiert durch „kontinuierliche und irreversible Deformation von Fest- oder Lockergestein, bei der die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse einer viskosen Flüssigkeit gleicht“ (Dikau und Glade 2002, S. 40).

Komplexe Massenbewegungen setzen sich aus mehreren Bewegungstypen zusammen. Es treten hierbei die oben genannten Prozesse in Kombination auf (Dikau und Glade 2002).

2.3 Rutschungen

Nach Nakic (2010) sind Rutschungen eine hangabwärts gerichtete Massenbewegung von Fest- oder Lockergesteinen, entlang einer oder mehrerer gut definierter Gleitflächen. Gleitflächen sind Flächen, auf der die gleitende Masse von Fels- oder Lockergestein den Hang hinunter rutscht. In einer weiteren bosnischen Literatur finden wir die folgende Definition nach einer älteren Version von Janjic 1979. Seiner Meinung nach ist eine Rutschung ein Teil des Geländes, der sich linear oder rotatorisch über einen stabilen Untergrund bewegt. Nach Rokic (2011) sind Rutschungen gravitative Bewegungen von

sichtbaren abgebrochenen Gesteinen auf Hängen, verursacht durch natürliche oder anthropogene Faktoren.

Bei den Rutschungen werden drei Typen unterschieden: Rotations-, Translations- und Komplexrutschungen.

Bei den Rotationsrutschungen bewegt sich die Rutschmasse auf einer gekrümmten Oberfläche, bei denen sich der obere Teil nach unten und der untere Teil in Richtung der Erdoberfläche bewegt (Nakic 2010). Die Rotationsrutschungen können weiter in einfache, mehrfache und rotationsförmige Rotationsrutschungen unterteilt werden (Buma und Asch 1996).

Translationsrutschungen sind durch die Bewegung von Fest- oder Lockergesteinen entlang der Ebene, die parallel zur Oberfläche ist, gekennzeichnet (Nakic 2010). Meistens entstehen diese Rutschungen bei unterschiedlichen geologischen Schichten, wo eine durchlässige auf einer undurchlässigen Gesteinsschicht liegt (Varnes 1987).

Komplexrutschungen sind eine Mischung aus Rotations- und Translationsrutschungen, die entstehen, wenn der untere Teil in eine flüssige Form übergeht und der obere Teil gleichzeitig eine Rotationsrutschung vollzieht (Nakic 2010).

Die Geschwindigkeit von Rutschungen kann, angefangen von wenigen mm pro Jahr, bis hin zu mehreren Metern pro Stunde, stark variieren (Zepp 2002, S.100). Nach Rokic 2011 reicht der Geschwindigkeitsbereich der Rutschungen von einigen Millimetern oder Zentimetern pro Jahr bis zu mehreren zehn Metern pro Sekunde (s.Tab. 2.2). Weiterhin unterscheidet Rokic die Rutschungen nach der Fläche und dem Volumen (s. Tab. 2.3).

Tabelle 2.2: Klassifikation der Rutschung nach Geschwindigkeit (Rokic 2011, S. 442)

Rutschungen	Geschwindigkeit
extrem langsam	< 0,06 m/Jahr
sehr langsam	0,06 m/Jahr – 1,5 m/Jahr
langsam	1,5 m/Jahr – 1,5 m/Monat
mäßig	1,5 m/Monat – 1,5 m/Tag
schnell	1,5 m/Tag – 0,3m/min.
sehr schnell	0,3m/min. – 3,0 m/sec.
extrem schnell	> 3,0 m/sec.

Tabelle 2.3: Klassifikation der Rutschung nach Fläche und Volumen (Rokic 2011, S. 442)

Rutschungen	Rutschungsfläche (m²)	Rutschungsvolumen (m³)
Sehr klein	<100	<100
Klein	100 – 1 000	100 – 5 000
Mittlere Größe	1000 – 10 000	5 000 – 100 000
Groß	10 000 – 50 000	100 000 – 1 000 000
Sehr groß	> 50 000	> 1 000 000

2.4 Rutschungselemente

Bei allen gravitativen Massenbewegungen unterscheidet man drei Teile: den Abriss-, den Ablations- und den Akkumulationsbereich. Bei Rutschungen können außerdem noch weitere Elemente unterschieden werden, wobei die wichtigsten, die in der vorliegenden Arbeit weiter benutzt werden, in Abbildung 2.1 dargestellt sind. Nachfolgend werden die Begriffe von Rokic (2011) verwendet.

Die Abrisskante 1 - ist der höchste Punkt der Rutschung. Es handelt sich in der Regel um eine gewölbte Fläche, entlang der es einen Ausbruch der Erdmasse gibt.

Der Fuß der Rutschungen 2 - stellt den hypsometrisch niedrigsten Punkt der Rutschung dar. Das ist der Bereich, wo die Gleitebene auf die Oberfläche des Geländes trifft. Dieser Fuß entsteht durch Akkumulation von Rutschungsmaterial.

Flanken 3 - stellen die seitliche Begrenzung des Gleitkörpers dar, befinden sich links und rechts des gesamten Rutschungsprozesses.

Der Rutschungskörper 4 - kann in verschiedenen Formen, Größen und Abmessungen vorkommen. An ihm werden die Länge, Breite und Tiefe gemessen oder die angenommene Drift bestimmt. Der Rutschungskörper besteht aus zwei Teilen, der Abrisskante (höchste Stelle) und der Gleitflächenfront (tiefste Stelle) (Rokic 2011).

Die Gleitzone 5 - ist abhängig von der Art der Rutschung. Diese kann in einer strukturellen Ebene entlang der Gleitfläche oder bei komplexen Rutschungen in mehreren Ebenen vorkommen. Die Gleitfläche kann flach, glatt oder gerippt sein. Bei einigen Materialien (z.B.

Flysch) wird die Gleitzone als ein dünnes (0,2 m mächtiges) Band sichtbar, welches die Grenze zwischen verschiedenen geologischen Substraten kennzeichnet.



Abbildung 2.1: Rutschungselemente: 1-Abrisskante, 2 - Rutschungsfuß, 3 - Flanke, 4 - Rutschungskörper, 5 - Gleitfläche

Neben den genannten Rutschungselementen erwähnt Rokic (2011) außerdem die Länge, die Breite, das Volumen, die Rutschungsoberfläche sowie die Gleit- und Schiebetiefe von Rutschungen.

2.5 Ursachen und Auslösung von Massenbewegungen

Die Stabilität der Hänge ist das Verhältnis zwischen den treibenden und haltenden Kräften auf einem Hang. Massenbewegungen können durch Abnahme des Scherwiderstandes entstehen. Das Verhältnis aus Scherfestigkeit und Scherspannung bezeichnet die Stabilität bzw. Instabilität des Hanges und wird F_s Sicherheitsfaktor genannt.

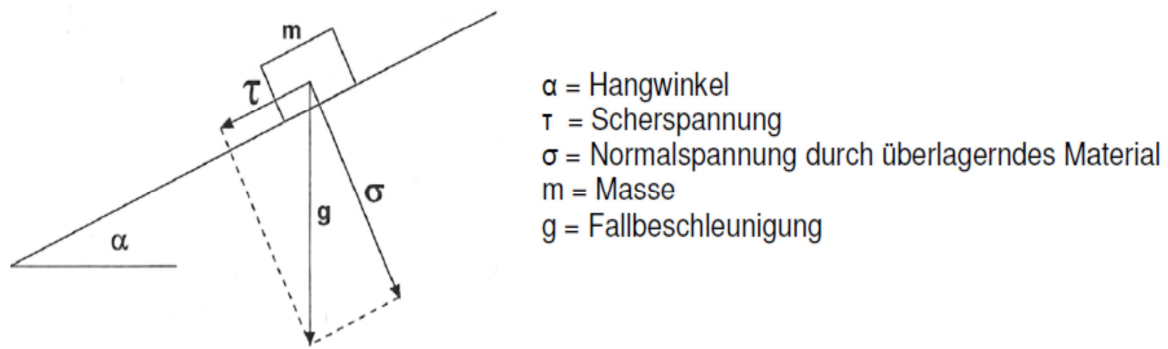


Abbildung 2.2: Vektorparallelogramm der Schwerbeschleunigung an einem Hang (Ahnert, 1996, S. 124)

Treibende Kräfte und Widerstandskräfte sind nicht statisch, sondern stehen in Wechselwirkung zueinander. Mit wechselnden örtlichen Gegebenheiten, verändert sich auch die Beziehung dieser Kräfte, das heißt, dass sich der Sicherheitsfaktor erhöht oder verringert.

Der Sicherheitsfaktor ist ein Indikator für die Stabilität eines Hanges und die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Massenbewegungen (Jäger 1997).

F_s = Scherfestigkeit/Scherspannung

$F_s > 1$: die rückhaltende Kraft ist stärker und der Hang bleibt stabil

$F_s < 1$: die treibende Kraft ist stärker und der Hang ist instabil

$F_s = 1$: die Kräfte der Scherkraft und des Scherwiderstandes sind ausgeglichen

Wenn der Sicherheitsfaktor größer als 1 ist, dann übersteigt die rückhaltende Kraft die treibende Kraft, der Hang ist somit stabil. In der Praxis werden Hänge bei einem Sicherheitsfaktor $>1,25$ als stabil bezeichnet. Ausnahmen gibt es jedoch bei der Bauindustrie, wo ein Sicherheitsfaktor bis zu 10 empfohlen wird (Nakic 2010).

Croiser (1986) unterscheidet drei Phasen von Massenbewegungen, welche an einem Hang ineinander übergehen können: stabil, marginal stabil und aktiv instabil.

In einem stabilen Zustand gibt es nur eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass Massenbewegungen entstehen, der Hang kann gegen verschiedene Faktoren standhalten. Im marginal stabilen Zustand befindet sich der Hang in einer Ruhephase - nur ein entscheidender

überschrittener Schwellenwert kann eine Massenbewegung auslösen. Bei einem aktiv instabilen Zustand tritt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Massenbewegung auf.

Die Ursachen für die Entstehung von gravitativen Massenbewegungen werden nach Dikau und Glade (2002) in vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende Faktoren unterschieden (s. Tab. 2.4).

Die vorbereitenden Faktoren stellen die Anfälligkeit eines Hanges gegenüber Massenbewegungen dar und verringern die Stabilität eines Hanges. Den Moment, in dem eine Bewegung stattfindet, nennt man auslösenden Faktor. Der kontrollierende Faktor, wie beispielsweise Hangneigung oder Vegetation, bestimmt den Verlauf der gravitativen Massenbewegung (Dikau und Glade 2001).

Tabelle 2.4: Vorbereitende, auslösende, bewegungskontrollierende Faktoren (Dikau und Glade 2002, S. 39).

Ursache	Vorbereitende Faktoren (Disposition)	Auslösende Faktoren (Trigger)	Bewegungskontrollierende Faktoren
Geologie	Diskontinuität ¹ (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität ¹ (z.B. streichen/fallen, tektonische Störungen) Verwitterung, Isostasie	Erdbeben Vulkanausbrüche	Gesteinstypen Diskontinuität ¹ (Schichtung, Schieferung, etc.) strukturelle Diskontinuität ¹ (z.B. streichen/fallen, tektonische Störungen)
Klima	Lang anhaltender Vorregen Schneeschnmelze Frost-Tau-Zyklen	Niederschlag ¹ (Intensität, Menge) schnelle Schneeschnmelze	Niederschlag (Intensität, Menge)
Boden	Verwitterung geotechnische Materialeigenschaften Bodenart und -typ Schrumpf-Schwell Zyklen subterrane Erosion (z.B. Tunnelerosion)	nicht zutreffend	Wassersättigung Mächtigkeit des Bodens
Vegetation	Natürliche Vegetationsänderung ¹ (z.B. Waldbrand, Trockenheit)	nicht zutreffend	Vegetation
Hydrologie	Schnmelzender Permafrost	schnelle Schwankungen des Grundwasserspiegels Porenwasserdrucks	Gerinnerauhigkeit Weitertransport bewegter Massen
Topographie	Hangexposition ¹ Hanghöhe ¹	nicht zutreffend	Hangneigung ¹ Hangwölbung ¹ Tiefenlinien ¹
Anthropogen	Entwaldung Staudammbau Entfernung des Hangfußes Belastung des Oberhanges Bewässerung Bergbau künstliche Bewegung (z.B. Sprengung) undichte Wasserversorgung	Hanganschnitte ¹ Hangunterschneidung ¹ Auflast ¹	Künstliche Verbauungen Dämme Gerinnebegradigung Gerinneverkleinerung Gerinnevergrößerung

¹ diese Faktoren können, je nach Stabilitätszustand des Hanges, sowohl vorbereitend, auslösend als auch kontrollierend wirken

2.6 Anthropogene Faktoren

Der Mensch spielt bei den vorbereitenden Faktoren eine zunehmend bedeutendere Rolle. Enormes Bevölkerungswachstum, wirtschaftliche Entwicklung und Fortschritte im Bauwesen führen zu zunehmenden menschlichen Eingriffen in die Natur. In Tabelle 2.5 sind die vorbereitenden, anthropogenen Eingriffe als Wirkung und Folge dargestellt. Die häufigsten menschlichen Eingriffe sind Änderung der Hangkräfte, Abnahme der haltenden Kräfte und steigender Grundwasserspiegel.

Tabelle 2.5: Beispiele anthropogener Eingriffe als Wirkung und Folge (nach Goudie 1994, Popescu 1994, Dikau und. Glade 2002, Krauter 2003)

Vorbereitender Faktor	Anthropogener Eingriff	Wirkung	Folge
Veränderung Hanggeometrie	Straßenbau, Gebäudebau, Abbau	Verringerung der haltenden Kräfte	Rutschungen, Steinschlag, Felssturz
Belastung eines Hanges	Straßenbau, Gebäudebau, Mülldeponien	Erhöhung der treibenden Kräfte	Rutschungen, Schlammströme
Entfernung Vegetation	Entwaldung	Verlust des Rückhaltevermögens	Rutschungen
Veränderung Hydrologie	Stausee, Bewässerung am Hang	Zunahme Porenwasserdruck	Rutschungen, Schlamm- und Schuttströme
Erschütterungen, Vibrationen	Maschinen, Fahrzeuge	Spannungsänderungen	Rutschungen,

Abbildung 2.5 ist ein Beispiel dafür, wie es zur Instabilität der Hänge kommen kann. Durch Straßenbaumaßnahmen kommt es zu Hangunterschneidungen und damit verringert sich die Länge des Hanges (L_1) und somit auch die Widerstandskraft. Durch Einfluss der Hangneigung und der Topographie sowie der erhöhten treibenden Kraft, kommt es zu der hangabwärts gerichteten Massenbewegung.

Nach Ferhatbegovic et al. (2003) ist bei der Unterschneidung durch Straßenbau, die Richtung der geologischen Schicht von Bedeutung. Erfolgt eine Unterschneidung parallel zur

Hangneigung der Schichtablagerung, tritt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Rutschung auf. Ist sie jedoch entgegen der Richtung der Schichtablagerung, besteht lediglich eine geringe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Rutschungen.

Die Vegetation, wie beispielsweise Wald, hat im Allgemeinen einen stabilisierenden Effekt auf einen Hang. Entwaldung steht in einem Zusammenhang mit dem häufigen Auftreten von Massenbewegungen (Dikau und Glade 2001). Weiterhin beschreibt Ferhatbegovic et al. (2003) den Einfluss des Waldes auf die Hangneigung. Einerseits stabilisiert die Durchwurzelung den Hang, andererseits wird durch die großen Kronendächer und der Evapotranspiration, der Oberflächenabfluss verhindert.

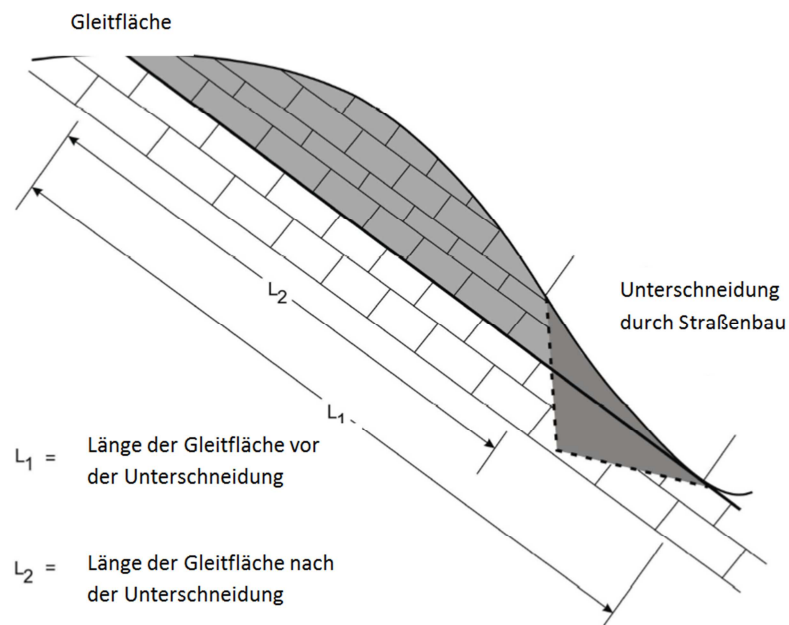


Abbildung 2.3: Hangunterschneidungen durch Straßenbau Quelle (Nakic 2010, S. 57)
(leichte Bearbeitung)

2.7 Auslösende Faktoren

Bei den weltweit am häufigst auftretenden auslösenden Faktoren von gravitativen Massenbewegungen, sind die Meinungen sehr umstritten. In Tabelle 2.4 beschreiben Glade und Dikau (2002) Erdbeben, Niederschläge und Vulkanausbrüche sowie Hangunterschneidungen, als sehr häufig auftretende auslösende Faktoren für gravitative Massenbewegungen. Nach Krauter (2001) sind das Wasser und nach Keefer (1984) die Erdbeben die häufigsten Auslöser. Allein im Jahr 1976 wurden 20.000 Rutschungen in

Guatemala durch Erdbeben ausgelöst, wofür zumindest ein Erdbeben der Stärke 4 auf der Richterskala erforderlich ist (Keefer 1984). Viele Autoren wie Wieczorek und Glade (2005, Szabo 2003, Khan et al. 2012., Tool 2006) beschäftigen sich mit dem Niederschlag als auslösendem Faktor. Neben dem Niederschlag ist nach Glade und Schötter (2008), die Schneeschmelze ein weiterer wichtiger Faktor für die Auslösung gravitativer Massenbewegungen.

2.8 Niederschlagsschwellenwerte

Niederschlagsschwellenwerte sollen einen minimalen und einen maximalen Wert darstellen, unter bzw. über welchen mit einer großen Wahrscheinlichkeit Rutschungen eintreten. In vielen Studien von Guzzetti et al. (2007) wird versucht, diese Schwelle durch einen minimalen und maximalen Wert abzugrenzen. Guzzetti et al. (2007) schlagen einen Schwellenwert für Europa und auch einen für die ganze Welt vor. Weiterhin wurden diese Werte auf eine globale, regionale und lokale Ebene ausgerechnet, wobei die lokalen Schwellenwerte die besten Ergebnisse liefern. Der globale Schwellenwert kennzeichnet ein Minimum, unter welchem es, unabhängig von lokaler Morphologie und Lithologie, nicht zur Aktivierung von Rutschungen kommt. Der regionale Schwellenwert ist definiert durch einheitliche klimatische und physiogeographische Bedingungen und kann eine Fläche von mehreren tausend km² einnehmen. Lokale Schwellenwerte werden für einzelne oder wenige Rutschungen verwendet (Guzzetti et al. 2007).

Um die Niederschlagsschwellenwerte zu definieren, sind neben der Niederschlagsmenge, auch vorherige Niederschlagsereignisse sowie hydrologische Bedingungen zu berücksichtigen. Allgemein unterscheidet Guzzetti prozess- und empirisch-basierte Definitionen von Schwellenwerten.

Eine der ersten Versuche diese Schwellenwerte auszurechnen, unternahm Caine (1980), mit der Formel $I = 14,82 \cdot D^{-0,39}$, wo die untere Kurve einen minimalen und die obere einen maximalen Schwellenwert zeigt. Diese Formel wurde nach Guzzetti et al. (2007) weiterentwickelt:

$I = c + \alpha \times D^\beta$ mit zusätzlichem c und alpha als Konstanten. Auch die beobachtete Zeit variiert bei Caine (1980) von 10 Stunden bis 10 Tage, Glade et al. (2000) verwendete einen konstanten Beobachtungszeitraum von 10 Tagen. Aleotti (2004) betrachtete 7, 15 und 20 Tage, Kuman et al. (2008) 5 Stunden bis 90 Tage. Bei der Arbeit von Kuman wurde der

Schwellenwert für den Himalaya ausgerechnet. Er kommt zu dem Schluss, dass ein Niederschlag von 10 Stunden mit einer Intensität von 12 mm/h, bis zu einer Niederschlagsdauer von 100 Tagen mit einer Intensität von 2 mm/h, zur Auslösung von Rutschungen führen kann.

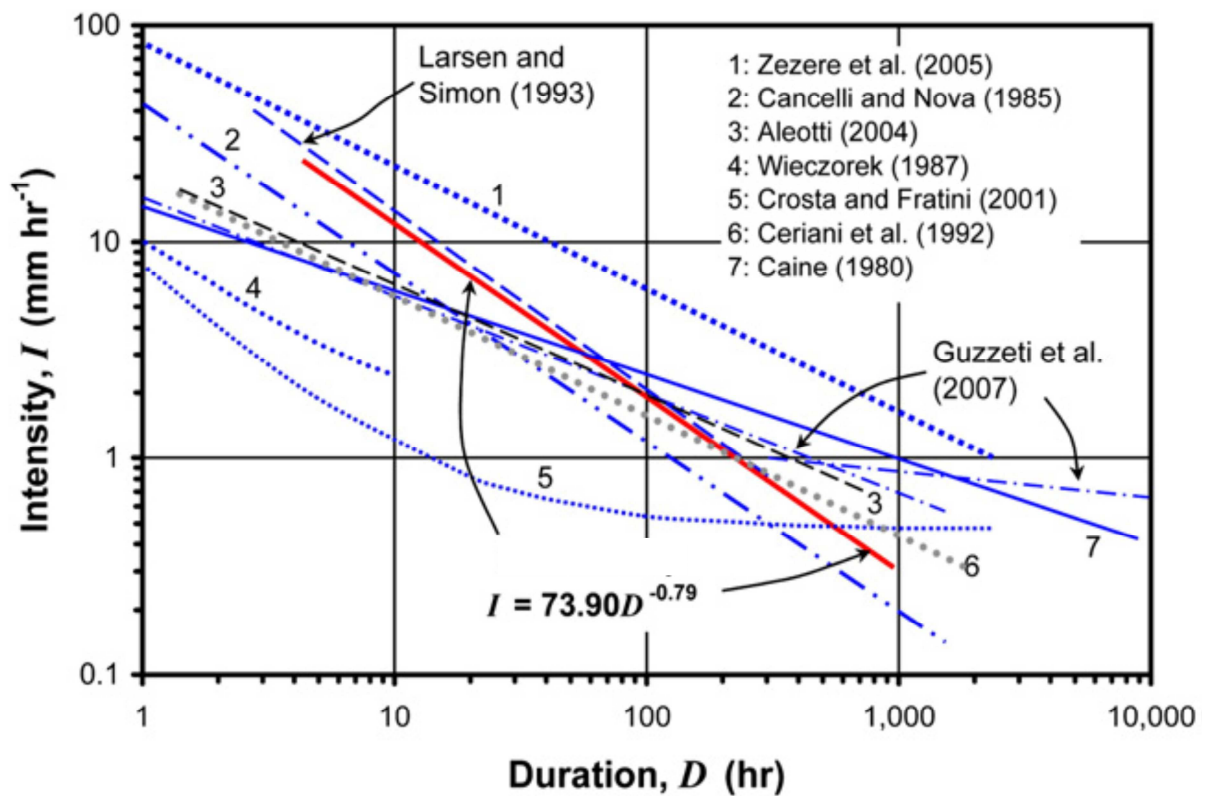


Abbildung 2.4: Niederschlagsschwellenwerte aus verschiedenen Studien
(Kuman et al. 2008.S.437)

3 METHODEN

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse von Ereignissen in Tuzla vom 1. - 5. Juni 2010. In diesem Kapitel sind Erhebungen und Auswertungen sowie verschiedene durchgeführte Analysen genau erklärt. Abbildung 3.1 stellt alle durchgeführten Arbeitsschritte dar.

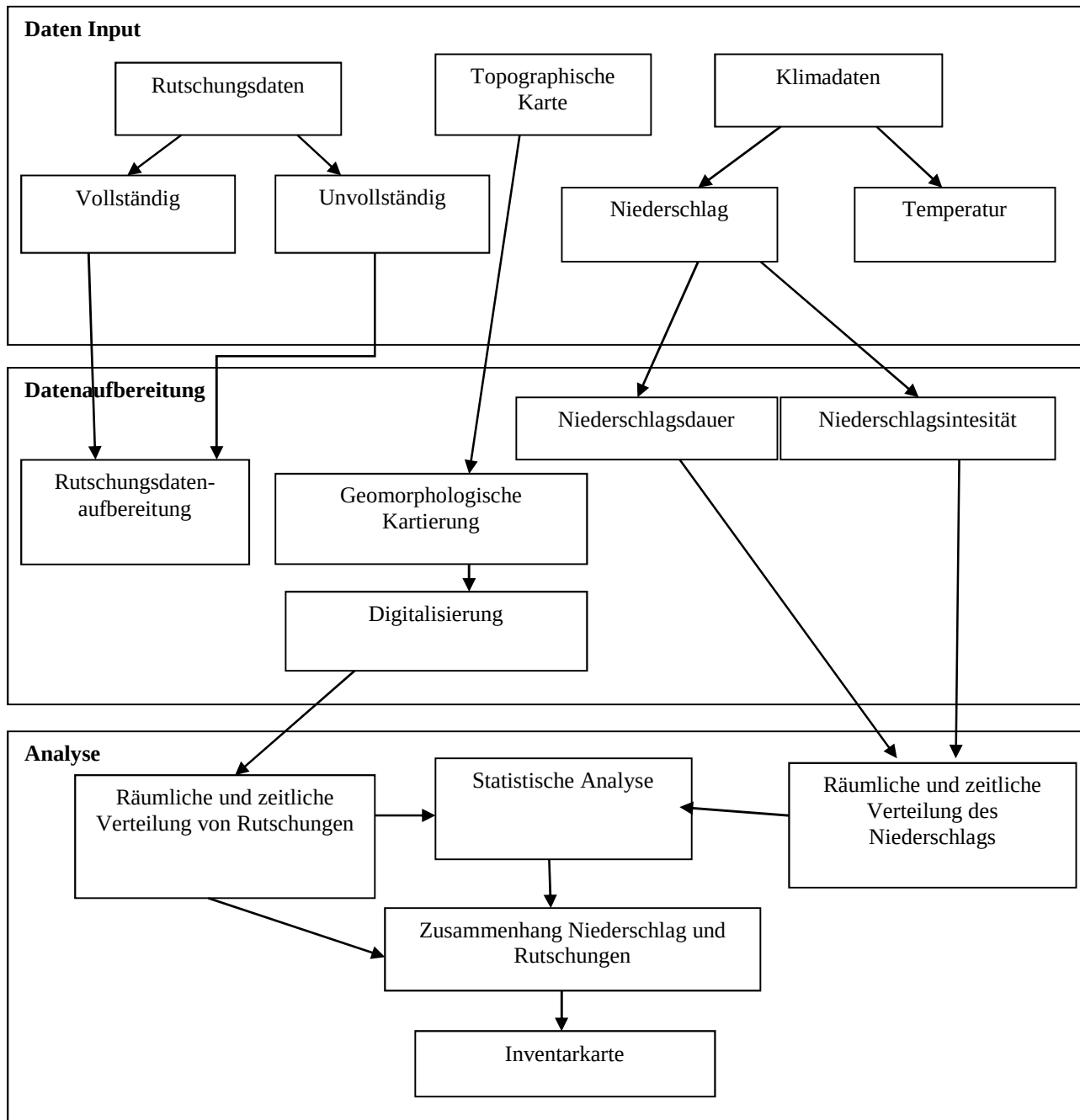


Abbildung 3.1 Durchgeführte methodische Arbeitsschritte

3.1 Rutschungsdaten

Daten über Rutschungen wurden vom Katastrophenschutz Tuzla zur Verfügung gestellt. Diese Daten umfassen die in Tuzla aufgetretenen Rutschungen zwischen dem 1.6. und dem 5.6.2010 und stammen von Meldungen aus der Bevölkerung, die direkt oder indirekt betroffen war und liegen im Schema der Tabelle 3.1 vor.

Tabelle 3.1: Schema der Rutschungsdaten (Beispiel).

Adresse	Datum	Angerufene Personen	Intervention
MZ Centar, Bogumilska 25	1.6.2010	Ramic Jasminka	Evakuierung 4 Personen

Eine solche Datenbank war nicht hilfreich, denn viele Rutschungen wurden mehrfach gemeldet, sodass zuerst eine Eliminierung der Mehrfachnennungen erforderlich war. In einem weiteren Schritt wurde jede Adresse nochmal besucht, um vor Ort eine detaillierte Kartierung durchzuführen.

3.2 Kartierung im Gelände

Ziel der Kartierung war eine vollständige Erfassung aller Rutschungen in Tuzla zwischen dem 1. und 5. Juni 2010. Die Kartierungsarbeiten wurden im April, Juli sowie im August 2012 durchgeführt. Vor der Geländearbeit wurden zuerst die zu untersuchenden Gebiete abgegrenzt. Während des Geländeaufenthaltes wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

Tabelle 3.2: Verwendete Hilfsmittel bei der Kartierung

Geräte
▪ Neigungsmesser
▪ Topografische Karte 1:25.000
▪ Kamera
▪ GPS Garmin 90
▪ Laser Distanzmesser
▪ I-Phone (Kompass)

Mit dem GPS-Gerät wurde jede genaue Position der Rutschungen ermittelt. Es wurden auch weitere Parameter wie die Breite (Mittelwert aus breitester und engster Stelle) und Länge (Abrisskante bis Zunge) der Rutschung gemessen sowie die Fläche (ergibt sich aus Breite und Länge) abgeschätzt. Das Volumen konnte nicht ausgerechnet werden, weil an der Hangabrischkante die Tiefe der Rutschungen nicht abschätzbar war. Des Weiteren wurde mit dem Neigungsmesser die Hangneigung zwischen der Zunge und Abrisskante der Rutschung gemessen (s. Abb 3.3) (bei mehreren Abrisskanten wurde die mittlere herangezogen) und anschließend in 5 Klassen eingeteilt (Neigungsklassen).

Neigungsklassen

I: $< 5^\circ$

II: $\geq 5 - 12^\circ$

III: $\geq 12 - 32^\circ$

IV: $\geq 32 - 55^\circ$

V: $> 55^\circ$



Abbildung 3.2: Beispiel einer Neigungsmessung (Pfeil)

Es wurde auch die Landnutzung beziehungsweise Bebauung der Flächen an denen Rutschungen auftraten, untersucht und diese nach folgenden Kriterien eingeteilt: Wald, Wiese, Ackerbau, Obstgarten, Siedlung, Friedhof, Straße und Stützmauer. Dabei mussten verschiedene Annahmen getroffen werden. So wurden der Straßengruppe alle Rutschungen

zugeordnet, bei denen eine Straße direkt oder indirekt, unabhängig von Abrisskante oder vom Rutschungsfuß, durch Rutschungen betroffen war. Bei Siedlungen gestaltete sich die Klassifikation als schwierig, da manche Rutschungen mehrere Landnutzungsklassen bedecken. Deswegen wurde die Entfernung zur Rutschung gemessen – wenn sich innerhalb von 5 m ein Haus befindet, so wird die Rutschung der Gruppe Siedlung zugeteilt. Die Zusammenhänge der Rutschungen mit der Geologie wurden mit der Funktion Spatial Analyst in ArcMap hergestellt.

3.3 Kartierung mit Gis

Für die Digitalisierung und Bearbeitung wurde ArcMap 10 der Firma ESRI verwendet. Um eine einheitliche Untersuchung für alle Rutschungen zu gewährleisten, war es notwendig während der Geländearbeit nach einem bestimmten Muster zu arbeiten (siehe Anhang). Die gewonnenen Daten aus dem Gelände wurden zuerst geordnet und anschließend digitalisiert. Weitere Analysen zu den Zusammenhängen zwischen den einzelnen Parametern wurden in ArcMap und Excel durchgeführt.

Räumliche Verteilung

In einem ersten Schritt wurde eine räumliche Verteilung der Rutschungen in den einzelnen Gemeinden dargestellt, um Aussagen darüber treffen zu können, welche Gemeinden besonders anfällig gegenüber Rutschungen sind und welche nicht. Dazu wurden die einzelnen Rutschungen anhand der topographischen Karte 1:25.000 digitalisiert.

Zeitliche Verteilung

Um die zeitliche Verteilung der Rutschungen zu untersuchen, wurden die täglich aufgetretenen Rutschungen vom 1.6 - 5.6.2010 dargestellt. In einem weiteren Schritt wurde die räumliche und zeitliche Verteilung gegenüber gestellt, um die Häufungen in verschiedenen Gemeinden zu analysieren.

3.4 Klimadaten

Wie im 5. Kapitel beschrieben, stammen die Klimadaten von der meteorologischen Station in Tuzla. Diese Daten enthalten die mittleren jährlichen und monatlichen Temperaturen für den Zeitraum 1961 bis 2011, jährliche und tägliche Werte für Mai und Juni 2010 sowie stündliche Messungen vom 31. Mai bis 5. Juni. Die weitere Analyse dieser Daten umfasst die

erforderliche grafische Darstellung der Ergebnisse und die Berechnung der durchschnittlichen Niederschlagsmenge und Lufttemperatur für die gesamte Periode. Dann wurden graphische Darstellungen zum Vergleich der Niederschlagsintensität mit der Niederschlagsmenge sowie Anzahl der Rutschungen angefertigt.

3.5 Anthropogene Faktoren

Während des Geländeaufenthaltes wurden auch mögliche Ursachen für die entsprechenden Rutschungen ermittelt. Es wurde versucht anthropogene Faktoren mit der Rutschungsaktivierung in Beziehung zu setzen, die wie folgt lauten:

Bodensenkung

Entwaldung

Unterschneidung / Hangneigung (Haus)

Straßenbau.

3.6 Intensity-Duration Modell

Bei der Erstellung des Intensity-Duration Modells wurde die nachfolgende Formel von Guzetti et al. (2007) verwendet: $I = c + \alpha * D^{\beta}$. Dabei steht I für die Niederschlagsintensität, D bedeutet Niederschlagsdauer, c ist der aus externen Faktoren gebildete Niveauparameter, der größer als 0 sein soll. Der Parameter α muss ebenfalls einen positiven Wert aufweisen, während β stets negativ sein soll.

In Vorbereitung der Berechnungen wurden die Daten in Excel eingegeben und in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe besteht aus Rutschungen von denen die genaue Zeitangabe vorlag, während der zweiten Gruppe die restlichen Rutschungen zugeordnet wurden, von denen nur der Tag bekannt ist.

Zur eigentlichen Berechnung wurden die Niederschlagswerte vom 31.5. bis 5.6.2010 verwendet sowie die Niederschlagsintensität innerhalb dieses Zeitraums (72 Stunden) gemessen. Es wurde mit einer Regressionsanalyse α , i und β ausgerechnet und zum Schluss in einer Grafik dargestellt. Schließlich wurden die Schwellenwerte mit jenen aus anderen Studien verglichen.

3.7 Erstellung von Inventarkarte

Nach Suganthi und Srinivasan (2010) kann man eine Gewichtung nach verschiedenen Typen durchführen. Beim ersten Typ werden eigene Daten zur Gewichtung herangezogen, während beim zweiten Typ auf Werte aus der Literatur zurückgegriffen wird. In diesem Fall wurde die erste Variante benutzt. In einem ersten Schritt wurde mit dem Spatial Analyst, die Hangneigung und die Exposition aus dem Digitalen Geländemodell von ASTER (Auflösung 30 Meter) berechnet. Dann wurden die einzelnen Klassen bezüglich der Rutschungsanzahl nach Loparic und Pahernik (2012) gewichtet. Es wurden auf diese Art und Weise insgesamt 5 Karten mit den Themen Geologie, Bodenbedeckung, Hangneigung, Exposition und anthropogenen Faktoren erstellt, wobei die Bodenbedeckung und anthropogenen Faktoren zuerst digitalisiert und anschließend mit der Geologie in Rasterdaten umgewandelt wurden, um dann eine Gewichtung durchführen zu können. Die Hangneigung wurde in 5 Klassen $<5^\circ$, $5^\circ - 12^\circ$, $12^\circ - 32^\circ$, $32^\circ - 55^\circ$, $>55^\circ$, die Exposition in 8 Klassen (N, NE, E, SE, SW, W, NW, Ebene) mittels Reklassifizierung eingeteilt und nach der Häufigkeit der Rutschungsanzahl (s. Kapitel 6) gewichtet. Im letzten Schritt wurde mit dem Rastercalculator reklassifiziert - zum Beispiel ergibt sich die Klasse mit einer geringen Häufung von Rutschungen, bei einer Hangneigung unter 5, mit einem quartären Untergrund und keinen anthropogenen Faktoren. In dieser Klasse ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass Rutschungen auftreten.

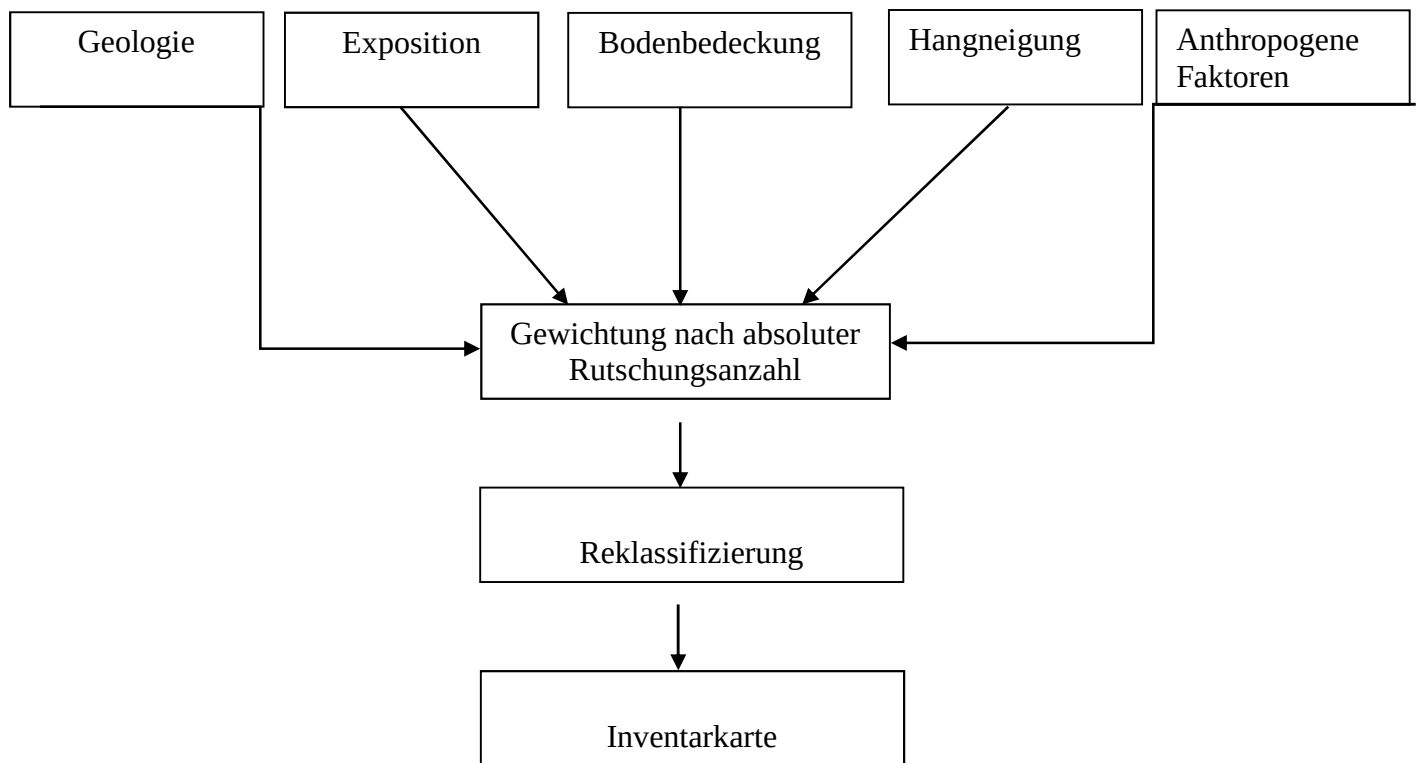


Abbildung 3.3: Beschreibung der Vorgangsweise bei der Erstellung der Inventarkarte

4 UNTERSUCHUNGSGEBIET

4.1. Geographische Lage von Tuzla

Die Stadt Tuzla liegt zwischen 18° 17' und 18° 37' östlicher Länge und 44° 32' und 44° 38' nördlicher Breite sowie auf einer Höhe zwischen ca. 250 und 450 m, im Bereich des nordöstlichen Bosniens. Nach Angaben des Statistischen Amtes der Föderation von Bosnien und Herzegowina (2010), nimmt Tuzla mit 131.718 Einwohner eine Fläche von 299 km² ein und ist damit die drittgrößte Stadt in Bosnien und Herzegowina. Von der Hauptstadt Sarajevo ist Tuzla 120 km entfernt. Die Stadtregion von Tuzla erstreckt sich von Osten nach Westen etwa 10 km (Simin Han - Hudec) und von Norden nach Süden über 3,5 km (Brdjani - Ilinčica), wobei die Breite über der gesamten Länge der Stadtregion variiert (Omerovic 2010).



Abbildung 4.1: Untersuchungsgebiet

Die Stadt liegt im Tal des Flusses Jala, im Nordosten befindet sich die Bergkette rund um den Majevisa mit seinem höchsten Gipfel (915 m), im Südwesten wird Tuzla durch drei Berge (Ozren, Konjuh und Javornik) begrenzt. Die Nachbarstädte von Tuzla sind im Norden und Nordosten Srebrenik, Celic und Lopare, im Südosten Kalesija, im Südwesten Zivinice und Lukavac (s. Abb. 4.1.).

Tuzla ist ein makro-regionales Zentrum in Nordost-Bosnien und hat eine wichtige geographische Lage, weil es in der Nord-Süd-Richtung Slawonien, Bosnien und die Adria, und in der Ost-West-Richtung Serbien, Bosnien und Kroatien verbindet (Omerovic 2010).

Bis zu der Aggression auf Bosnien und Herzegowina 1992-1995 war Tuzla eine Industriestadt mit Abbau von Erz, Braunkohle und Salz. Durch das Dayton-Abkommen von 1995 wurde Bosnien und Herzegowina in zwei Entitäten und zwölf Kantone aufgegliedert, wobei die Stadt Tuzla, als administratives, wirtschaftliches und kulturelles Zentrum, Hauptstadt des Kantons Tuzla wurde.

All dies bewirkte eine raschere Entwicklung von Tuzla und eine größere Bevölkerungsdichte. Veränderungen in der Demografie der Bevölkerung haben zu einer Verschärfung des Wohnungsbaus und anderer Infrastruktur und damit verbunden zu einer unkontrollierten Ausbeutung der natürlichen Ressourcen (Land, Wälder, Wasser, Abwasserentsorgung) geführt.

4.2 Das Klima von Tuzla

Um die Klimaeigenschaften dieser Region zu verstehen, ist es notwendig, zunächst die grundlegende Klimaklassifikation von Bosnien und Herzegowina zu kennen. Das Klima in Bosnien und Herzegowina hat trotz seines kleinen Gebietes, eine große Vielfalt zu bieten und wird durch verschiedene Faktoren, wie die geographische Lage des Landes, Relief sowie die Nähe zur Adria beeinflusst (Cicic 2002).

Die Dinarische Berg-Kette verhindert das Eindringen von mediterranem Klima im Inneren von Bosnien und Herzegowina. Im nördlichen Teil herrscht gemäßigtes Kontinentalklima, im zentralen Teil Gebirgsklima und im Süden das mediterrane Klima. Die folgende Abbildung 4.2 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der verschiedenen Klimaarten in Bosnien und Herzegowina.



Abbildung 4.2: Die Verteilung des Klimas in Bosnien und Herzegowina (leichte Bearbeitung)
 Quelle: <http://www.fhmzbih.gov.ba/slike/klima/BH-KLIMA.jpg>

Da Tuzla im Nordosten Bosniens liegt, unterliegt es pannonischen Einflüssen aus dem Norden und den Auswirkungen der Bergkette im Süden und Südwesten und ist somit gemäßigt kontinental beeinflusst (Smajic 2005).

Im Norden und Nordosten wird Tuzla von den Bergen Trebovac und Majevisa, im Westen von Ozren, im Südwesten von Konjuh und im Süden und Südosten von Javornik umgeben. Die gebirgige Umgebung hat eine wichtige Rolle bei der Bildung von lokalen klimatischen Bedingungen, die sich in schlechter Belüftung äußert, wodurch das Aufkommen lokaler Depressionen und thermischen Inversionen (vor allem in der kälteren Jahreshälfte) ansteigt.

Den größten Einfluss auf das Klima von Tuzla, übt in einem sibirischen Winter ein Hochdruckgebiet aus. In dieser Zeit des Jahres kommt es in diesem Bereich zum Eindringen von trockenen und kalten Luftmassen aus dem Norden und Nordosten. Im Tal Tuzla gibt es dann das Phänomen der thermischen Inversion, weil kalte Luft entsteht, die aus den höheren Lagen kommt und nicht verdrängt werden kann. Unter solchen Bedingungen ist die Lufttemperatur im Tal geringer als auf der umgebenden Gebirgskette (Smajic 2005).

Die Bergkette Majevisa verhindert das Eindringen von Luftmassen aus dem Norden und der Wirbelstürme aus dem Westen. In wärmeren Perioden hat das einen großen Einfluss auf die Antizyklogen, die dann für eine lange Periode stabiler Schichtung und damit für schönes Wetter sorgen.

4.2.1 Temperatur

Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur (Zeitraum 1961 bis 2010) von Tuzla beträgt 10,3 °C. Tabelle 4.1 und Abbildung 4.3 zeigen, dass der Januar mit einem Durchschnitt von - 0,4 °C der kälteste sowie der Juli mit einem Durchschnitt von 19,9 °C der wärmste Monat ist. Die Monatsmitteltemperaturen von Juli und August sind fast gleich (Unterschied nur 0,3 °C).

Das thermische Regime der Jahreszeiten zeigt, dass der Sommer (Juni - August) die wärmste Zeit des Jahres mit einer Durchschnittstemperatur von 19,2 °C ist, gefolgt vom Herbst (September - November) mit 10,6 °C, vom Frühling (März - Mai) 10,6 °C und Winter (Dezember - Februar) mit 0,8 °C. In diesem Bereich ist der Herbst, aufgrund der höheren Bodentemperaturen, wärmer als der Frühling, weil im Sommer größere Mengen an Wärme, als im Winter angesammelt werden. Es wird aus den Daten ersichtlich, dass der Temperaturabfall von September bis November 9,6 °C beträgt, während der Anstieg von März bis Mai mit 9,2 °C ein wenig geringer ausfällt. Abbildung 4.4 stellt eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von 1,5 °C dar. Basierend auf dem thermischen Regime, werden die Winter in Tuzla mäßig kalt und die Sommer mäßig warm.

Tabelle 4.1 Mittlere monatliche Temperaturen und maximaler und minimaler Durchschnitt für den Bereich Tuzla im Zeitraum 1961 bis 2010

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Temp.MAX (°C)	5,4	8,2	10,9	14,1	18	22,3	22,7	23,3	19,4	15	11,5	4,9
Mittelwert (°C)	-0,4	1,9	5,9	10,6	15,1	18,2	19,9	19,6	15,4	10,7	5,8	1
Temp.MIN (°C)	-6	-3,8	-0,1	5,9	11,2	15,8	17,9	15,8	12,2	7,4	0	-3,2

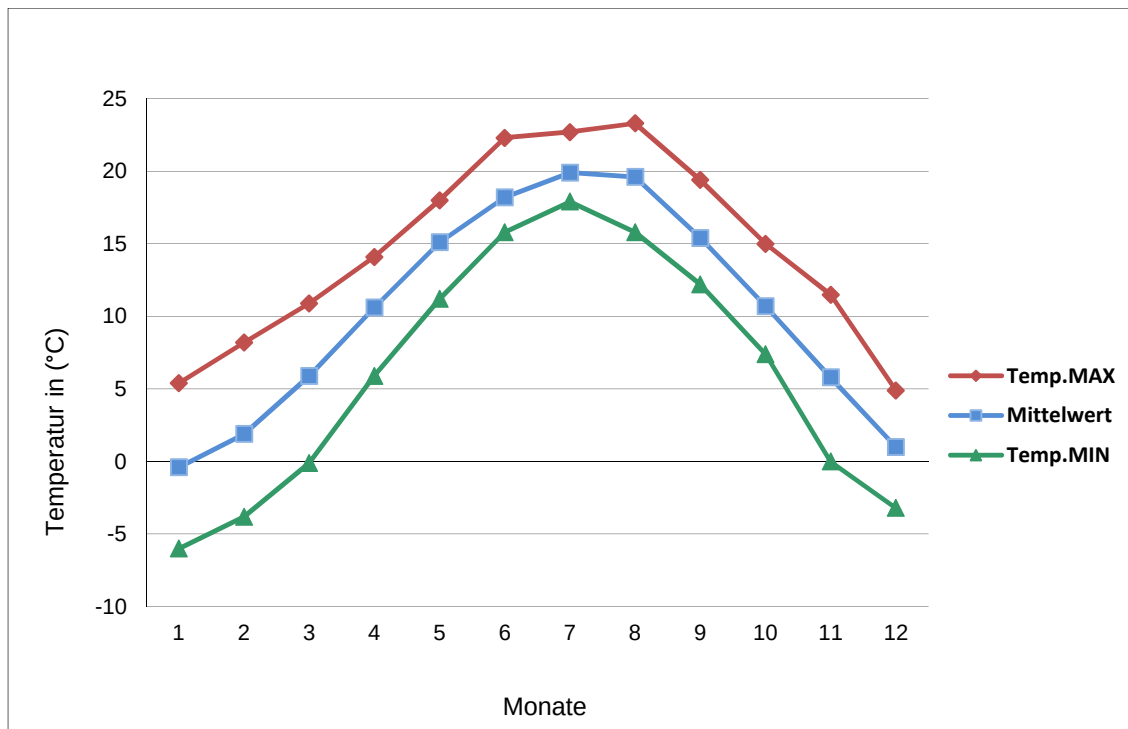


Abbildung 4.3: Mittlere monatliche Temperaturen und maximaler sowie minimaler Durchschnitt für den Bereich Tuzla im Zeitraum 1961 bis 2010

Die Abbildung 4.4 zeigt eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur zwischen 1961 und 2010 in Tuzla von 1,5 °C.

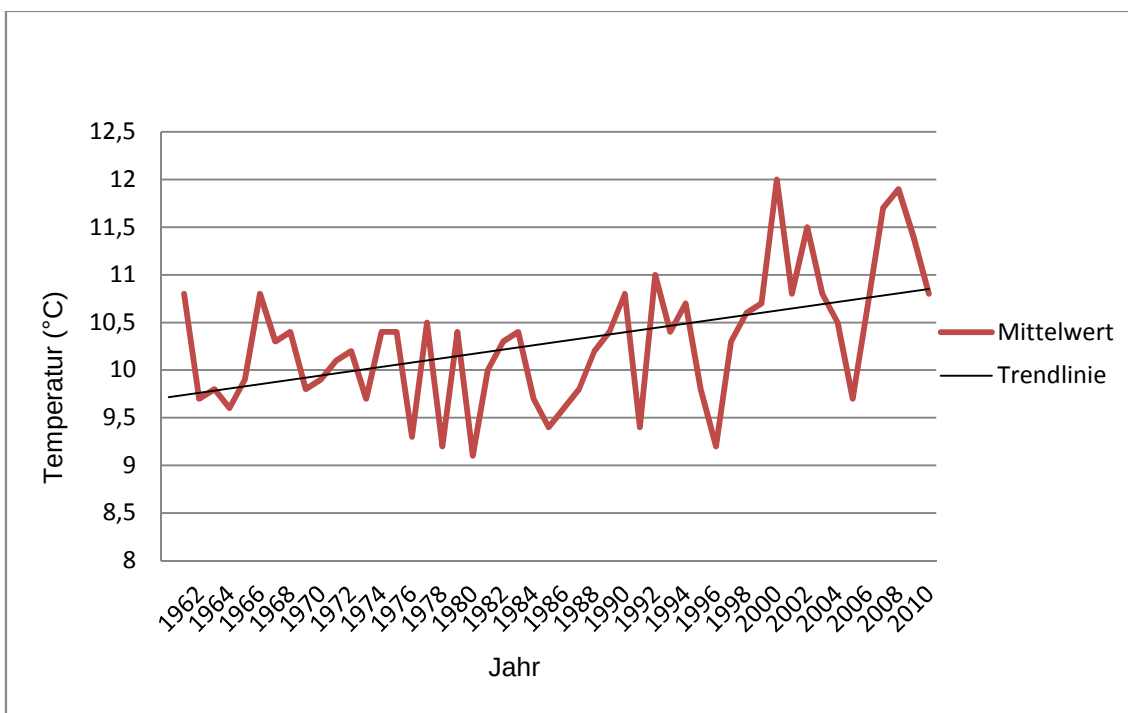


Abbildung 4.4: Jährliche Mitteltemperatur in Tuzla 1961-2010

4.2.2 Niederschlag

Niederschläge haben einen großen Einfluss auf die Hangstabilität und können in verschiedenen Formen wie Regen, Schnee, Hagel, Tau, etc. auftreten. In der weiteren Arbeit wird ausschließlich der Regen berücksichtigt. Sie werden durch eine Reihe von physischen und geografischen Faktoren beeinflusst und unterliegen täglichen Schwankungen. Basierend auf Daten der mittleren Monats- und Jahresniederschläge, gab es in der analysierten Periode von 1961-2010 in Tuzla eine jährliche durchschnittliche Niederschlagsmenge von 901,2 mm.

Die maximale Niederschlagsmenge wird in den Sommermonaten Juni (durchschnittliche Niederschlagsmenge 1961 bis 2010: 116 mm) und Juli (97 mm) erreicht. Das kann durch die erhöhte Zyklonaktivität und den damit verbundenen Gewitterschauern erklärt werden (s.Tab. 4.2).

Auf dieser Basis können wir schließen, dass die höchsten Niederschlagsmengen in den Sommermonaten (Juni - August) mit 290,7 mm erreicht werden. Die Jahreszeit mit der geringsten Niederschlagsmenge ist der Winter (Dezember - Februar) mit 181,8 mm.

Tabelle 4.2: Mittlerer monatlicher Niederschlag sowie maximaler und minimaler durchschnittlicher Niederschlag für den Bereich Tuzla im Zeitraum 1961 bis 2010.

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MAX. (mm)	139	120	141	163	224	338	291	213	304	178	143	184
Mittelwert (mm)	58	52	59	71,7	87	116	97	77,6	71,9	66,5	72,8	72,1
MIN. (mm)	10	10	8,3	18,3	16,4	43,9	14,1	3	6,4	0,1	13	4,4

Die Abbildung 4.5. zeigt eine sehr geringe Zunahme des Jahresniederschlages, im Zeitraum 1961 bis 2010 sowie deutliche Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren, insbesondere im letzten Jahrzehnt.

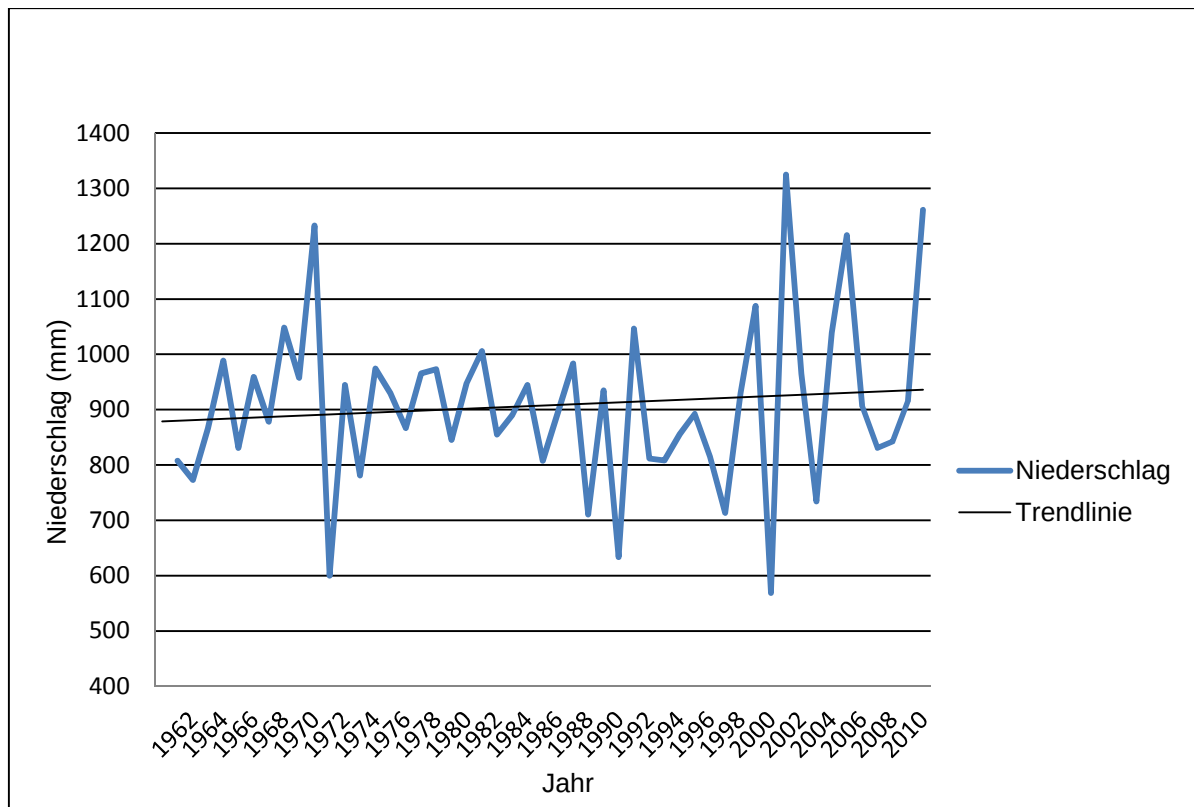


Abbildung 4.5: Jährliche Niederschlagsmenge in Tuzla 1961-2010

4.3 Geologie

Das große Interesse der Geologen für das Gebiet um Tuzla, richtete sich in erster Linie auf die vorkommenden Ressourcen wie Kohle und Steinsalz sowie einer Reihe von anderen nichtmetallischen Werkstoffen.

Der nördliche Teil von Tuzla - Umgebung gehört zur Majevica Bergkette und besteht größtenteils aus klassischen Kreide- und Tertiärsedimenten und einem kleinen Teil aus jurassischen Diabasen und carbonathaltigen Sedimentschichten (Cicic et al. 1991). Von der Gebirgskette Majevica fällt das Gelände in Richtung Süden zur Sprečanskojsenke und in Richtung Norden zur Šibošnjičkoj- und Loparskasenke ab. Die Neigung vom Gebirge zur nördlichen Senke ist aus neogenen Sedimenten aufgebaut, die durch ein mildes Relief mit einer Höhenlage von 250 bis 500 m charakterisiert wird.

Die Gebirge in der Umgebung von Tuzla zählen zu den Inneren Dinariden. Tuzla selbst befindet sich in einem rund 900 km² großem Becken, mit einer Länge von etwa 40 km und einer von 5 bis 30 km variierenden Breite (Holding Sodaso Tuzla 1985.). Strukturell gesehen

liegt Tuzla zwischen den Horsten Majeveca und Trebovec im Norden und der tiefen Sprečanskostörung (ophiolitische Zone) im Süden. Neben Tuzla befinden sich auch die Städte Kalesija, Gracanica Živinice und Lukavac in diesem Becken.

Das Tuzlabecken wurde im frühen Stadium der alpidischen Orogenese gebildet und von Meeressedimenten aus dem Oligozän, Miozän, Pliozän und Pleistozän (Känozoikum, die früheste Periode geologischer Geschichte der Erdkruste) aufgebaut (Holding Soda Tuzla 2001). Die neogenen Sedimente des Tuzlabeckens bestehen aus Mergel, Sandsteine, Tone, Konglomerate und Kalksteinen. Im nördlichen und südlichen Teil des Tuzlabeckens dominieren Tone und Sandsteine, während in anderen Teilen Mergel am häufigsten vorkommt (Rokic 2011).

Wirtschaftlich bedeutende mineralische Rohstoffe sind Kohle, Steinsalz, Quarzsand und die Sedimente aus dem Eozän, Miozän und Pliozän.

Nach der allgemeinen geologischen Karte Blatt Tuzla sind dort folgende stratigraphische Einheiten vertreten:

Oligozän

Oligozän-Formationen sind die ältesten Gesteine in der Gegend von Tuzla, sie repräsentieren einen Stadtteil von Slavinovići, welcher aus grauen Schiefern, grau-grünen Mergeln, feinkörnigem Sandstein und Konglomeraten mit feinen parallelen Schichten aufgebaut ist (Cicic et al. 1991).

Unteres Miozän

Diese Süßwasser-Formationen liegen über konkordanten Oligozän-Formationen und beginnen mit Mergelschichten, an denen sich gelb-graue Plattenkalke, zunächst im Wechsel mit Mergel und oben mit Kalksteinen und Dolomiten überlagern (Mulac 2004).

Im oberen und unteren Teil des mittleren Miozän, erfolgte durch intensive vulkanische Tätigkeit ein Auswurf großer Mengen pyroklastischen Materials, begleitet von Tuffen. Außerdem kam es zu Dazit- und Andezitergüssen. Dieser Komplex wurde als Salzformation bezeichnet, die später wirtschaftlich genutzt wurden (z.B. Steinsalz bei Tuzla und Tetima) (Cicic et al. 1991).

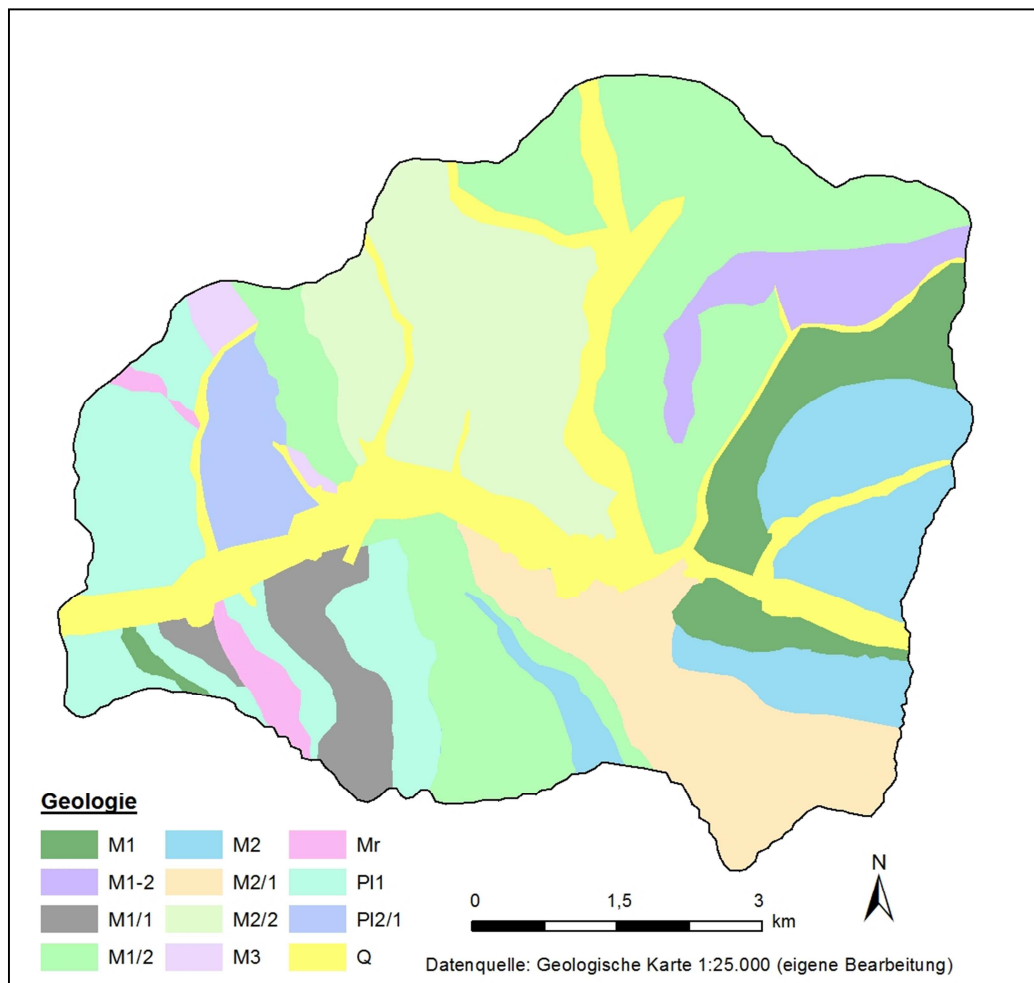


Abbildung 4.6: Geologische Karte von Tuzla

Legende:

M = Miozän, M1 = Kalkplatten, Mergel mit Konglomeraten, M1-2 = Sandsteine, Mergel, M1/1 = Konglomerate, Sandsteine, obere Schicht Kohle, M1/2 = Roter Sandstein, Konglomerate und selten Mergel, M2 = Sandsteine, Rote Serie, Mergel, M2/1 = Mergel, Konglomerate, Sandsteine, M2/2 = Mergel, Sandsteine, Tonsediment, M3 = Sandsteine, Konglomerate, Mr = Sandsteine, Mergel,

P = Pliozän, Pl1 = Sandstein, Mergel, Kohle, Pl2/1 = Sandstein, Mergel, obere Schicht Kohle und Konglomerate,

Q = Quartär

Unteres und Mittleres Miozän

In der Mitte des Miozän existierte in Bosnien und Herzegowina das Pannonische Meer und eine Reihe von Süßwasserseen. Das Pannonische Meer war ursprünglich in Nord-Bosnien und lagerte im Tuzlabecken Sedimente mit einer Mächtigkeit von etwa 2.300 m ab (Vrabac 2007).

Die Sedimente des unteren und mittleren Miozän sind Süßwassersedimente, die aus Ton, Mergel, Sandstein und pyroklastischen Formationen wie Tuffe, Brekzien und Konglomerate bestehen. Nach der Ablagerung der Braunkohlesedimente beginnt eine polyfaziale Komplexbildung, die folgendermaßen nach lithologischen Horizonten eingeteilt wird: Rote Serie, Salzserie und Tuzla Kalksteinplatten (Cicic et al. 1991).

Rote Serie - in dieser Serie, die wegen ihrer Farbe als "rot" bezeichnet wird, sind folgende Sedimente oft enthalten: rote Konglomerate, konglomeratische Sandsteine, Tuffsandsteine, Tone und etwas weniger häufig knotige Mergelkalke, Kalke und Gipse (Cicic et al. 1991). Die rot gefärbten Sedimente sind die ältesten Sedimente der Tuzla-Salzformation.

Salzserie - Diese Serie zeichnet sich durch feine parallele Sedimentschichten aus, die aus homogenen Karbonatgesteinen (Dolomit, Dolosparit, Mikrosparit, Mikrit) aufgebaut sind. In der oberen Schicht kommen Salzsteine, Glaubersalz, Anhydrit und Mineralstoffe vor. Dort sind ebenfalls Mergel, Tonmergel und Tone zu finden (Cicic et al. 1991).

Tuzla Kalksteinplatten - die letzte Schicht der salinen Formationen sind Kalksteinplatten, die in der Literatur unter dem Namen "Tuzla Platte Kalksteine" bekannt sind und homogene Kalksteine (fein geschichtete Sedimente) darstellen. Diese bestehen aus zwei verschiedenen Schichten: Im unteren Teil sind Plattenmergel und Mergelkalke im Wechsel mit Mergel zu finden, während der obere Teil aus bergigen porösen Kalksteinen besteht (Mulac 2004.).

Mittleres Miozän - Thornton

Die Thorntonformationen liegen konkordant über die Kalksteinplatten und bedecken wichtige Bereiche im zentralen Teil Tuzlas. Sie können in zwei Fazies unterteilt werden: Die älteren, unten liegenden, schlecht geschichteten Mergel sowie die jüngeren, darüber liegenden, abwechselnden Mergel- und Sandsteinserien (Mulac 2004).

Oberes Miozän - Pannon

Die pannonischen Sedimente des oberen Miozäns sind überwiegend aus Sand-Ton-Formationen aufgebaut, die sich entweder konkordant über die sarmatischen Ablagerungen oder diskordant über die Thornton-Sedimente ablagern (Cicic et al. 1991).

Unterpliozän

Das Unterpliozän ist gekennzeichnet durch pontianische Ablagerungen, die eine Mächtigkeit von etwa 900 m erreichen können und in zwei Gruppen, dem unteren und dem oberen Pontian eingeteilt werden:

Unteres Pontian – besteht unten aus einer Kohleschicht, darüber folgen Tone und Quarzsande bis zu einer Mächtigkeit von 100 m.

Oberes Pontian – besteht aus drei separaten Horizonten. Der obere beginnt mit der wichtigsten Kohle-Schicht, die auf einem sandigen Lehm und Quarzsand liegt. Darunter befinden sich Kohleschichten mit sandigem schluffigem Ton. Die unterste Kohleschicht ist in Sand und Lehm eingebettet (Cicic et al. 1991).

Quartär

In der Gegend von Tuzla sind aus dem Quartär pleistozäne und holozäne Sedimentablagerungen zu finden. Pleistozäne Ablagerungen sind in Form von höheren Flussterrassen, aus Kiesen und Sanden bestehend, vertreten. Holozäne Ablagerungen sind die alluvialen Ablagerungen der Flüsse Jala und Solina (Mulac 2004).

4.4 Hydrologie

Die Gesamtfläche der Wasserströme in Tuzla beträgt 220 Hektar oder 0,74 % der Gesamtfläche der Stadt. Das hydrographische Netz von Tuzla gehört zum östlichen Einzugsgebiet des Flusses Spreca, der über die Zwischenstufen der Sava und Donau ins Schwarze Meer entwässert.

Durch Tuzla fließt der kleine Fluss Jala, von denen viele Nebenflüsse abzweigen. Auf der rechten Seite sind dies beispielsweise die Flüsse Graboviica, Solina, Moluska, Josevica, Mramorska, Hukalo und Pasabunar, auf der linken Seite Požarnica, Slanac, Slavinovicki und Vrapce (s. Abb. 4.7).

Die Quelle des Jala-Flusses liegt unterhalb des Ravno Lještaki im Majevicegebirge auf einer Höhe von 728 m und mündet in den Fluss Spreca bei Lukavca. Von der Quelle fließt die Jala nach Süden, durch die Gemeinden Gornja Tuzla und Simin Han (Bare), wobei ein größerer Nebenfluss, die Požarnica sowie einige kleinere Nebenflüsse, wie die obere und untere Čaklovica, in die Jala münden. Anschließend fließt der Fluss durch ein breites Tal in Richtung Westen, wo er die Stadt Tuzla erreicht.

Im Stadteil Kreka ändert der Fluss seine Bewegungsrichtung und fließt nun in Richtung Süd-Südwest. Der Oberlauf des Flusses Jala wurde im Miozän gebildet (Mergel), während der Unterlauf mit der Stadt Tuzla im Pliozän entstanden ist (Lehm und Sand). Auf dieser Basis können wir schließen, dass der Fluss Jala sein Flussbett in undurchlässige Sedimente eingegraben hat. Nach der Einteilung des Abflussregimes wird der Jala dem nival-pluvialen Abflussregime zugeordnet (Smajic 2005).

Im Mai und November hat der Fluss seine Abflussmaxima, während im Februar und August die geringsten Abflüsse gemessen werden. Der jemals geringste gemessene Abfluss (NQ_T) war 1971 mit $Q = 0,0015 \text{ m}^3/\text{sec}$, der Maximalwert (HQ_T) wurde 1975 mit $6,555 \text{ m}^3/\text{sec}$ erreicht (Jahic 2006).

Die Jala ist sehr unregelmäßig und stark abhängig vom Einzugsgebiet. Jedes größere Niederschlagsereignis führt zu Überschwemmungen.

angepasst ist, verschiebt sie sich nach unten, wohingegen die Eichen die sonnigen höheren Lagen bevorzugen.

4.6 Boden

Je nach geologischem Untergrund und Klima haben die orthographischen, biotischen, anthropogenen und andere Faktoren in Tuzla zu verschiedenen Bodenentwicklungen geführt. Die größte Verbreitung haben flache saure Böden mit niedrigem Gehalt an organischer Substanz, Phosphor und Kalium. In der Gegend von Tuzla kann man zwei große Gruppen von Böden unterscheiden: automorphe und hydromorphe Böden, wobei die automorphen 96 % von Tuzla und Umgebung abdecken (hydromorphe Böden im Tal - 4 %) (Meskovic et al. 2011). Im Nachfolgenden werden die in Tuzla vorkommenden Bodentypen nach Jahic (2006) kurz vorgestellt.

Alluviale sandige Böden - (Sandy Calcaric fluvisol) – sind bei geringen Hangneigungen anzutreffen und liegen auf einer Höhe von 250 - 270 m. Sie sind im Tal der Bäche Mramorskog und Josevice verbreitet. Die Textur dieser Böden besteht aus lehmigem Sand, Lehm oder sandigem Lehm. Dieser Bodentyp ist für Ackerland geeignet und wird selten auch als Wiese verwendet.

Carbonathaltige Braunerden - (Eutric Fluvisol) - sind braun mit einem markanten grauen Farbton. Die Textur dieser Böden bildet hauptsächlich Lehm. Während der oberste Horizont aus Lehm besteht, ist im untersten Horizont des Bodens tonig-sandiger Lehm zu finden. Sie decken einen kleinen Bereich der Böden in den Flusstälern Jala und Soline ab.

Grau-braune Kalkböden - (Calcic Fluvisol) - sind braun mit einem markanten grauen Farbton. Sie befinden sich im östlichen, südwestlichen Teil sowie in der Mitte des Flusstales Soline.

Grau-braune Böden – (Gley, Eutric Gleyic Fluvisol) – bedecken kleine Bereiche südlich des Flusses Jala. Dieser Bodentyp ist durch Industrialisierung stark bedroht, denn es wurden große Industrien (Kohlekraftwerke) und damit verbundene Infrastruktureinrichtungen (Straßen, Tankstellen) gebaut.

Vertisole - (Vertisol, Pelic Vertosol) - kommen fast überall in der Gegend vor, vor allem im südlichen Teil. Sie sind sehr lehmig, haben eine dunkelgraubraune Farbe und gehören zu der Gruppe der schwer zu bearbeitenden Ackerböden, sind aber sehr produktiv, vor allem für

Mais und Weizen, weniger für Gemüse. Dieser Boden kann carbonathaltig oder carbonatfrei sein, was aber nicht gesondert gruppiert wird.

Braunerde - (Eutric Braunerde - Eutric Cambisol) - befinden sich im Norden. Die Böden sind recht schwer, sauer und sehr tonhaltig.

Braun degradierte Böden Ton und Lehm - (Bruic Luvisol on Clays and looms) - diese Art von Böden kommen an einigen Stellen in allen Teilen vor, aber vor allem im westlichen und südwestlichen Teil der Gemeinde. Sie gehören zu der Gruppe der unproduktiven Böden.

Goldbraune Böden auf Sand - (District Cambisol on Sand) - kommen im westlichen Teil vor, gehören zu den unproduktiven Böden und enthalten bis zu 90 % Sand. Sie sind schwach sauer und anfällig für Erosion.

Graue carbonathaltige und carbonatfreie Böden - (Calcic and Eutric Cambisols) - befinden sich in den nördlichen Teilen der Stadt. Die Böden sind arm an Nährstoffen und die meisten werden als Weiden und Wiesen genutzt.

Graue carbonathaltige und carbonatfreie Mergelböden - (Calcic and Eutric Cambisol on marls) - sind auf kleineren Flächen im östlichen Teil zu finden und weisen eine schwere mechanische Zusammensetzung auf.

Aus den oben genannten Bodenarten können wir sagen, dass die größte Fläche des Untersuchungsgebietes von Lehmböden, gelbbraunen Sandböden, braun degradierten Ton- und Lehmböden sowie grauen carbonatfreien Kalkböden bedeckt wird (Jahic 2006).

4.7 Geomorphologie

Das Territorium um Tuzla ist gekennzeichnet von leichten gerundeten alluvialen Tälern der Flüsse Jala und Solina sowie von hügeligem Gelände, dem Tuzla-Plateau (Cicic 1987).

In der Umgebung von Tuzla befindet sich die Krekasenke, die die Form eines schmalen Tales besitzt und durch steile Hänge begrenzt wird. In diesen Hängen sind von den Nebenflüssen seitlich Täler eingeschnitten, die bis zum Jalafluss reichen. Das Gelände ist Richtung Süden ausgerichtet (Mulac 2004).

Nach Mulac (2004) werden drei Typen von Relief in der Region Tuzla unterschieden: fluviales Relief, Neigungsrelief und künstliches Relief.

Fluviales Relief - ist durch Sedimentablagerungen der oben genannten Flüsse entstanden und zeichnet sich durch lange und breite Terrassen mit einer Neigung von $0,5^\circ$ bis 2° aus.

Das fluviale Relief hat eine durchschnittliche Höhe von 254 m im östlichen Teil, sinkt bis auf 246 m bei der Mündung des Jala und weiter bis auf 221 m im Fluss Solina im westlichen Teil ab und reicht bis zu 279 m in höheren Lagen (Mulac 2004).

Neigungsrelief - ist der verbreitetste Typ mit unterschiedlicher Hangneigung, Ausrichtung, Größe und Länge. Die geologische Struktur und die Intensität der Neigung haben Auswirkungen auf die Erosion und Denudation.

Künstliches Relief - wurde durch direkten oder indirekten Einfluss des Menschen verändert. In den letzten Jahren wird das Relief immer mehr vom Menschen geprägt (Mulac 2004).

4.8 Anthropogene Faktoren

Im Untersuchungsgebiet wurden viele anthropogene Faktoren identifiziert. Im Nachfolgenden werden zwei Beispiele, die Bodensenkung und die unkontrollierte Entwaldung vorgestellt.

Bodensenkung

Bodensenkungen in Tuzla sind aufgrund einer übermäßigen Ausbeutung von Salz entstanden. Die Ausbeutung reicht in Tuzla bis ins 14. Jahrhundert zurück. Der Name von Tuzla ist ebenfalls auf das Salz zurückzuführen - so stammt er vom türkischen Wort für Salz - Tuz (Mandzic 2003).

Die älteste Form der Salzgewinnung ist die Entnahme aus dem Salzwasser. Diese Art von Ausbeutung führt, aufgrund der Auflösung des Salzes, allmählich zur Entstehung eines unkontrollierten Massedefizites im Untergrund, das zu einem sehr komplexen Prozess der Senkung führt (Mulac und Mandzic 2005).

Das Salzwasserreservoir besitzt insgesamt 90 Millionen m^3 , wovon mittlerweile rund 27 Millionen Tonnen Salz ausgebeutet wurden. Bei einem durchschnittlichen Salzgehalt von 300 kg/m^3 beträgt somit das Defizit im Untergrund 12,6 Mio. m^3 . Dies führte zu einer langsamen Absenkung, das heißt, ein leichter und langsamer Prozess der Übertragung dieser Bewegungen (Mulac und Mandzic 2005). Unkontrollierte Salzausbeutung hat zu der Absenkung von mehr als $\frac{1}{4}$ des Stadtgebietes von Tuzla geführt. Zwischen 1907 und 2007 ist die Stadt insgesamt um 16,5 m gesunken, wobei die höchste Absenkung mit 4 m zwischen 1947 und 1956 erreicht wurde (Mulac 2004). In dieser Periode wurde ein Großteil der

städtischen Infrastruktur zerstört: die kulturellen - historischen Gebäude von Tuzla, wie die Madresa aus dem 16. Jahrhundert (s. Abb. 4.8) oder das Gymnasium aus dem 19. Jahrhundert sowie die Katholische Kirche und viele andere Gebäude und Wohngebäude. Es wurden 15.000 Einwohner umgesiedelt und 2.700 Häuser abgerissen.

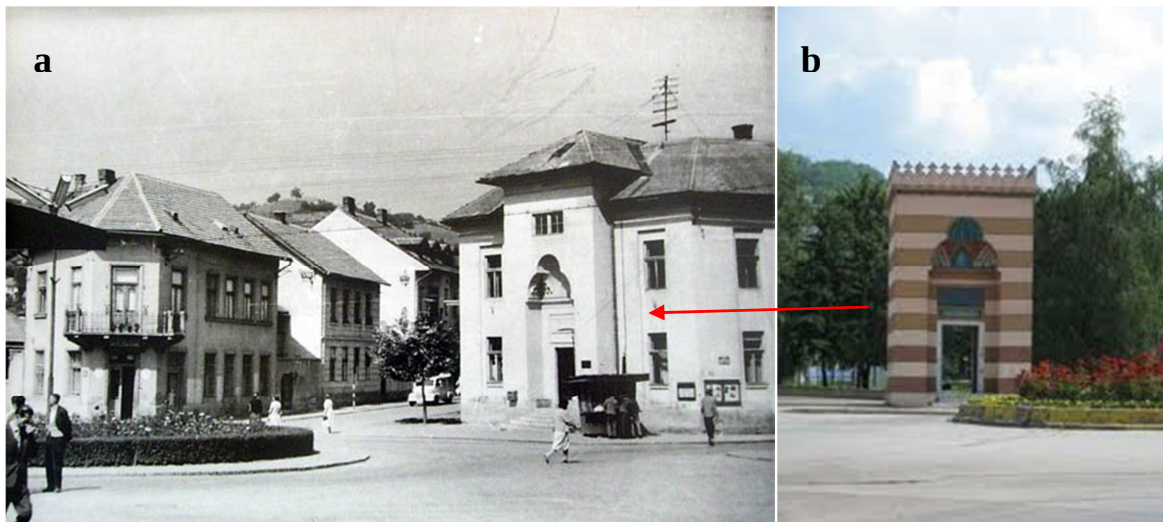


Abbildung 4.8: a) Medresa vor der Senkung, b) der nach der Senkung gebliebene Eingangsbereich Quelle: Foto Klimentic 2009

2000 wurde beschlossen, dass Salzbergwerk "Tusanj" zu schließen. An der Stelle, wo die größten Bodensenkungen gemessen wurden, wurde ein künstlicher See angelegt, um diesen Teil zu revitalisieren. Die Salzbrunnen wurden mit Wasser gefüllt.

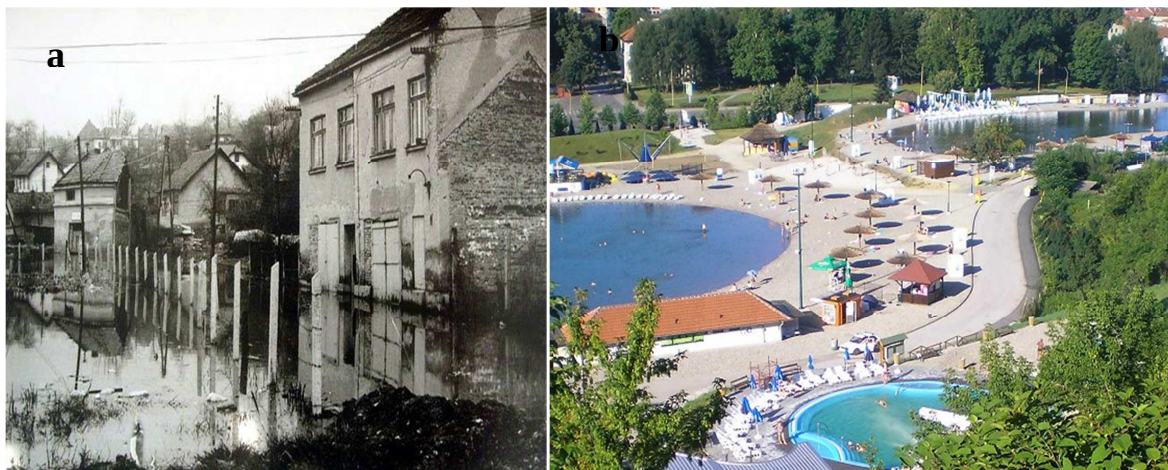


Abbildung 4.9: Panonikasee an der Stelle der großen Senkung
a) vor der Revitalisierung, b) nach der Revitalisierung Quelle: Foto Klimentic 2009

Während normalerweise Bodensenkungen nur Risse an Objekten verursachen, sind in diesem Fall auch Risse im Boden sichtbar, die als "Oziljci slijeganja" bekannt sind.

Die Senkungen haben eine bestimmte Charakteristik mit mehr oder weniger ausgeprägten Elementen (die Breite, Höhe, Rissstärke, Ausrichtung und Neigung, etc.) und können in zwei Gruppen geteilt werden. In Tulza gibt es zwei verschiedene Senkungszone:

Zone der Senkung Hukalo

Zone der Senkung Trnovac.

Die Zone der Senkung Hukalo erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung, von der Straße Kojšino beginnend, über 22,82 ha. Seine Form ist durch eine schmale Ellipse gekennzeichnet, deren längere Seite 1.040 m und deren kürzere Seite 220 m lang ist.

Die Zone der Senkung Trnovac weist mit 88,4 ha eine deutlich größere Fläche als die andere Senkungszone auf. Sie ist von Nordwest nach Südost ausgerichtet und hat ebenfalls die Form einer Ellipse, wobei die Länge 1.550 m und die Breite 800 m beträgt. In dieser Zone sind vier Senkungsformen mit bloßem Auge zu erkennen: uStr. 6 Bosanaska, Corso, Wasserkreuzung (die größte Deformation in der Mitte) und Ping (Mulac und Mandzic 2005).

Die Infrastruktur, die in der Zone liegt, ist sowohl vertikalen als auch horizontalen Bewegungen ausgesetzt. Besonders gefährdet sind unter anderem das alte Rathaus, der Kindergarten in Slatina, die INA-Tankstelle sowie das Dosenrestaurant.

Auch an umgebenden Gebäuden sind eine Vielzahl von Rissen zu finden, die auf Bodensenkung schließen lassen (Klosterska, Kazan Mahal, der Bereich zwischen dem Hotel Bristol und der Polizei Hendek - Theater, etc.). Diese Risse stammen von früheren Senkungen und dehnen sich nicht mehr aus.

Entwaldung

Wie wir aus dem Kapitel 4.5 sehen konnten, bedecken Wälder in der Region Tuzla eine Fläche von mehr als 40 %. Während des Krieges 1992 - 1995 haben die Wälder große Verwüstungen erlitten, denn Holz war die einzige Energiequelle. Selbst nach dieser Zeit, dauerte es noch lange bis die Wälder staatlich kontrolliert wurden, um ein Abholzen zu verhindern. Derzeit gibt es noch keine genauen Schätzungen über Verluste von Waldflächen, aber es ist offensichtlich, dass diese sehr hoch ausfallen. Den größten Schaden in Bezug auf den Verlust der Waldfläche, sind im Bereich der Stadtteile Simin Han und Požarnica aufgetreten, denn hier war die größte Konzentration von Menschen, die aus anderen Teilen von Bosnien und Herzegowina in dieses Gebiet flüchteten.

5 DATEN

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die verwendeten Daten gegeben werden. Die in dieser Arbeit verwendeten Daten stammen von verschiedenen Institutionen und Personen. Neben diesen Institutionen, kontaktierte ich den Stadtbau von Tuzla, die naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Tuzla sowie das Bergbauinstitut, von denen ich jedoch allesamt keine Informationen bekam. Einige Daten wurden auch selbst erhoben.

5.1 Topografische Karte

Die digitale topografische Karte 1:25.000 wurde von Herr Ferhatbegovic von der Firma Gauss zur Verfügung gestellt. Diese bildete die Grundlage für die weitere Arbeit. Leider ist das Herstellungsjahr unbekannt.

Um eine Inventarkarte zu erstellen, wurde das digitale Geländemodell (DGM) ASTER (Aufnahmedatum: 17.10.2011) verwendet, welches von <http://earthexplorer.usgs.gov/> heruntergeladen wurde und eine Auflösung von 30x30 Meter besitzt.

5.2 Geologische Karte

Die geologische Karte hat einen Maßstab von 1:50.000 und wurde von der Firma Cerebrus zur Verfügung gestellt. Es wurde eine eigene Digitalisierung durchgeführt und daraus eine Karte im Maßstab von 1:25.000 erstellt. Die geologische Karte wurde 1979 entwickelt und 2009 von Serifovic überarbeitet, der sie mir zur Verfügung stellte.

5.3 Klimadaten

Für die Darstellung der Niederschlags- und Temperaturdiagramme, wurden die Klimadaten des Hydrologischen Dienstes der Föderation von Bosnien und Herzegowina (HFZ BIH) verwendet.

Der Hydrologische Dienst besteht aus mehreren meteorologischen Stationen, zu denen auch die Wetterstation in Tuzla (44°33' n. Br., 18°42' ö. L., 305 m über NN) gehört, die als eine der wenigen kontinuierliche Messungen während des Bosnienkrieges durchführte.

Für die Klimaanalyse (Lufttemperatur, Niederschlag) wurden folgende Daten zur Verfügung gestellt.

Die durchschnittliche Temperatur für jeden Monat einzeln von 1961 bis 2011.

Die durchschnittliche Temperatur für jedes Jahr einzeln von 1961 - 2011

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge für jeden Monat einzeln von 1961 - 2011

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge für jedes Jahr einzeln von 1961 - 2011

Tägliche Lufttemperatur für den Monat Mai und Juni des Jahres 2010

Tägliche Niederschlagsmenge für den Monat Mai und Juni des Jahres 2010

Stündliche Messwerte für den 31. Mai und 1., 2., 3., 4. und 5. Juni 2010

5.4 Rutschungsdaten

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Information zu den Rutschungen von der Verwaltungsbehörde für Zivilschutz in Tuzla - (Katastrophenschutz) verwendet. Die Direktion für Zivilschutz ist zuständig für alle notwendigen Maßnahmen, zum Schutz und zur Rettung von Personen und Eigentum, vor natürlichen und anderen Katastrophen und liefert Informationen über die Bewertung des Schadens. Sie gibt die Zeitschrift "Katastrophenschutz" heraus, die die verschiedenen Aktivitäten des Katastrophenschutzes in Beiträgen (unter anderem Paper zu Rutschungen) darstellt, um für ein sichereres Umfeld für die Bewohner dieses Gebietes zu sorgen.

Es ist wichtig zu beachten, dass aufgezählte Institutionen und Abteilungen, außer den Universitäten und des Hydrometeorologischen Instituts, vor allem nach dem Krieg in Bosnien und Herzegowina (1995) gegründet wurden, sodass die Datenbank nicht systematisch ist. Somit war es sehr schwierig alle notwendigen Informationen an einem Ort zu finden. Aus diesem Grund verbrachte ich viel Zeit mit der Datenbeschaffung. Folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die verwendeten Daten.

Tabelle 5.1: Überblick über die verwendeten Daten

Daten		Format	Information	Quelle
Klimadaten	Temperatur	Excel	1961-2010	Hydrologischer Dienst Föderation
	Niederschlag	Excel	1961-2010	Hydrologischer Dienst Föderation
Ereignisdaten		Hardcopy	1.-5. Juni 2010	Zivilschutzbehörde
Geologie		Hardcopy	1:50.000	Firma Cerebrus
Topografie		Digitale Karte	1:25.000	Firma Gauss
DGM		Tif	Auflösung 30X30	Usgg Internetseite

6 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden wichtige Ergebnisse präsentiert und im anschließenden Kapitel diskutiert. Im ersten Teil werden kurz die wichtigsten Kartierungsergebnisse graphisch dargestellt und kurz beschrieben, im zweiten Teil die zeitliche Niederschlagsverteilung. Anschließend werden alle Ergebnisse anhand einer Inventarkarte zusammen dargestellt.

6.1 Kartierungsergebnisse

Diese Arbeit umfasst Rutschungen zwischen dem 1.6 und 5.6.2010 in Tuzla und Umgebung, wobei sich das Untersuchungsgebiet aus insgesamt 13 Gemeinden zusammensetzt: Batva, Brčanska Malta, Centar, Grabovica, Jala, Kreka, Kula, Mosnik, Solina, Ši Selo, Tušanj, Slavinovići und Solana. Dabei beträgt die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes 62.166 km², was 20,28 % der Gesamtfläche aller Kommunen Tuzlas entspricht (Föderation Statistisches Amt 2010).

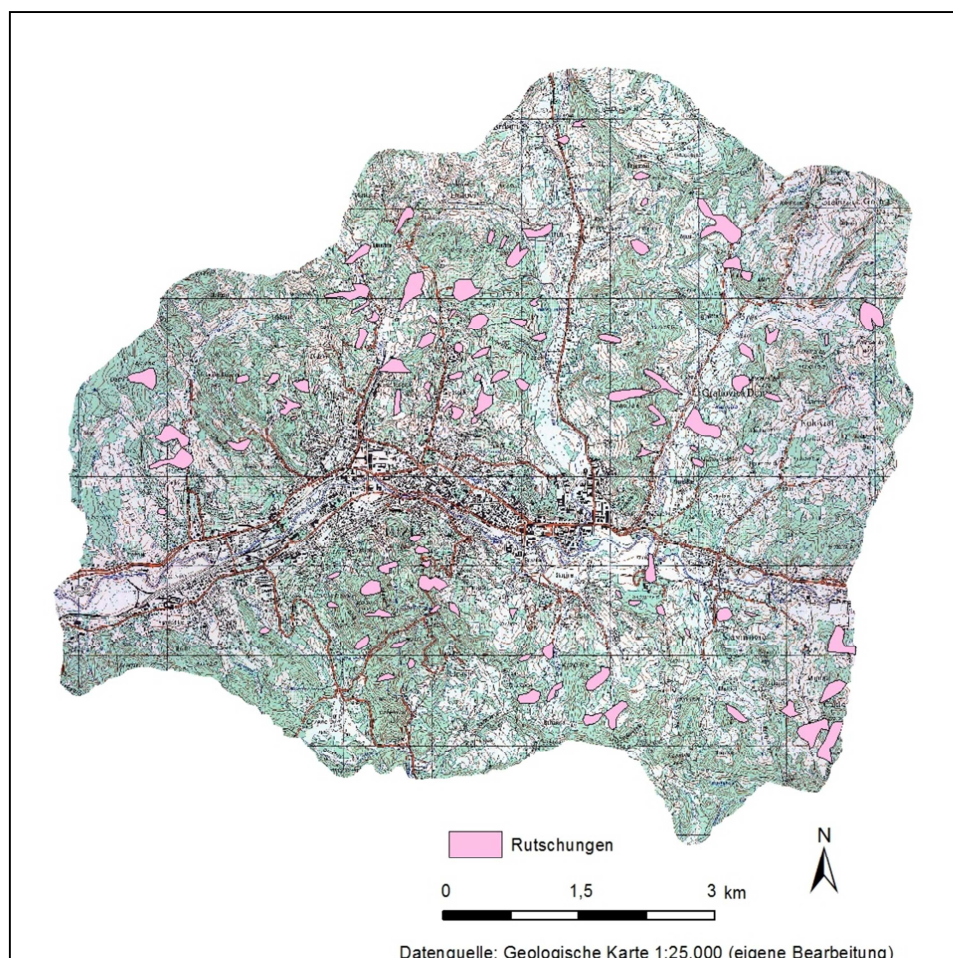


Abbildung 6.1: Räumliche Verteilung von Rutschungen

Räumliche Verteilung

In der oben genannten Periode wurden 106 Rutschungen identifiziert, lokalisiert und kartiert. Dabei weisen die Rutschungen eine unterschiedliche Verteilung auf (Abbildung 6.1). Nicht jede Gemeinde ist gleich stark von Rutschungen betroffen. Die Abbildung 6.2 zeigt, dass die Gemeinde Centar mit 16 Rutschungen stark betroffen ist, gefolgt von drei weiteren Gemeinden (Mosnik, Slavinovici, Grabovica) mit je 14 Rutschungen. Die wenigsten Rutschungen (nur eine) sind in der Gemeinde Kula zu finden.

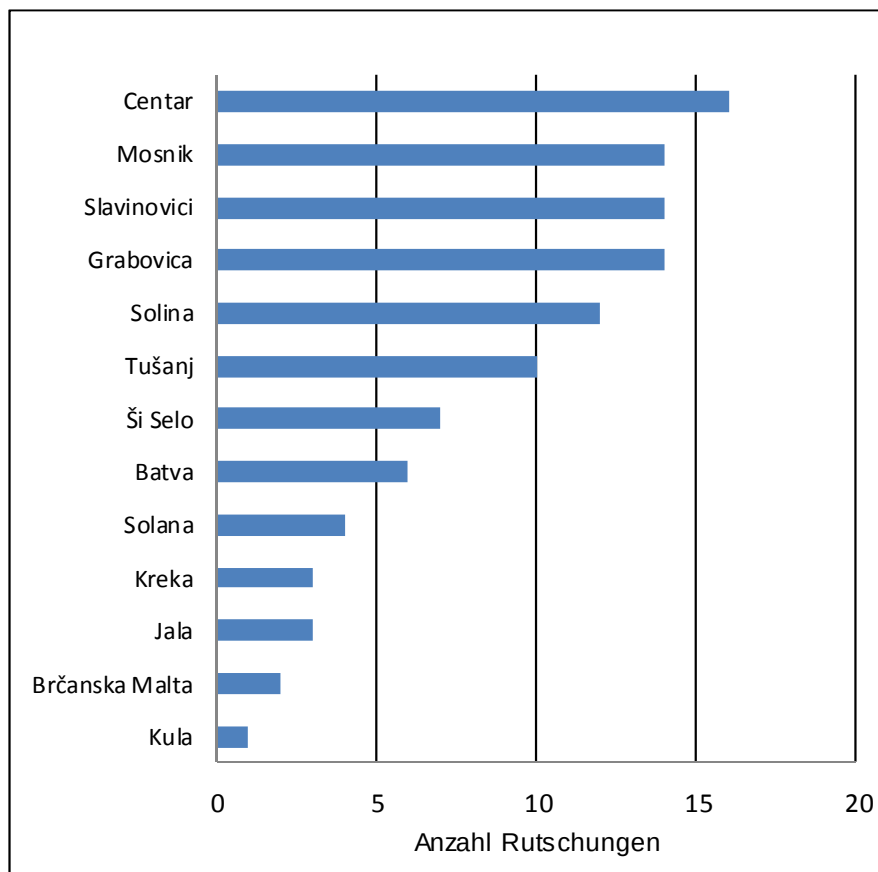


Abbildung 6.2: Räumliche Verteilung von Rutschungen

Zeitliche Verteilung

Im Hinblick auf die zeitliche Verteilung fällt auf, dass es in den zwölf Gemeinden eine Häufung von Rutschungen, mit 34 am 1. Juni gab, gefolgt von 28 in zehn Gemeinden am 2. Juni und 27 am 3. Juni. Am 4. Juni folgten nur noch 14 Rutschungen und am 5. Juni waren es nur noch fünf (s. Abb. 6.3).

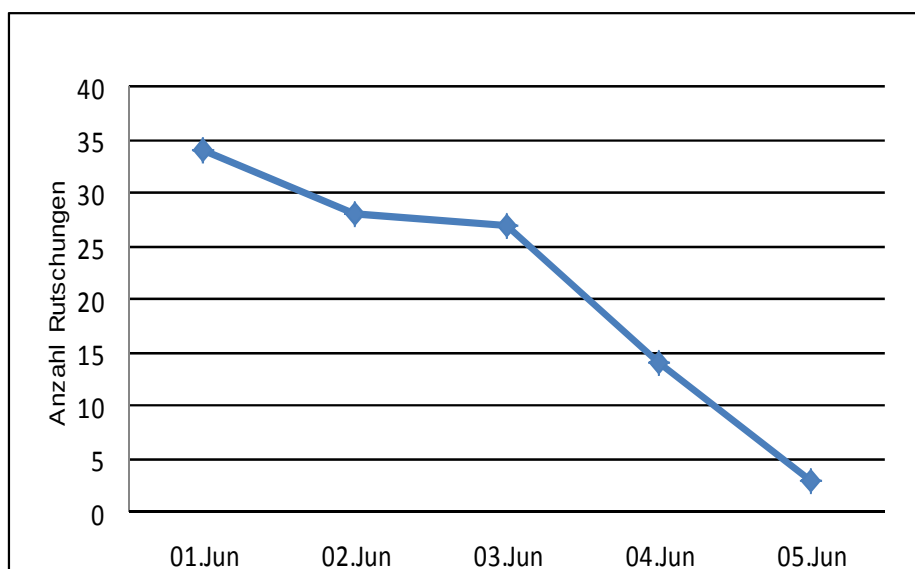


Abbildung 6.3: Anzahl Rutschungen zwischen 1. und 5. Juni

Die größte Anzahl von Rutschungen ist am 1. Juni zu verzeichnen, wobei es jedoch zu räumlichen Unterschieden kommt (s. Abb. 6.4). So gab es beispielsweise in der Gemeinde Centar am 4. Juni die meisten Rutschungen, während die Gemeinde Tusanj am 3. Juni und die Gemeinde Solina am 2. Juni die höchsten Rutschungsanzahlen aufwiesen. Am 5. Juni wurden in nur zwei Gemeinden Rutschungen verzeichnet.

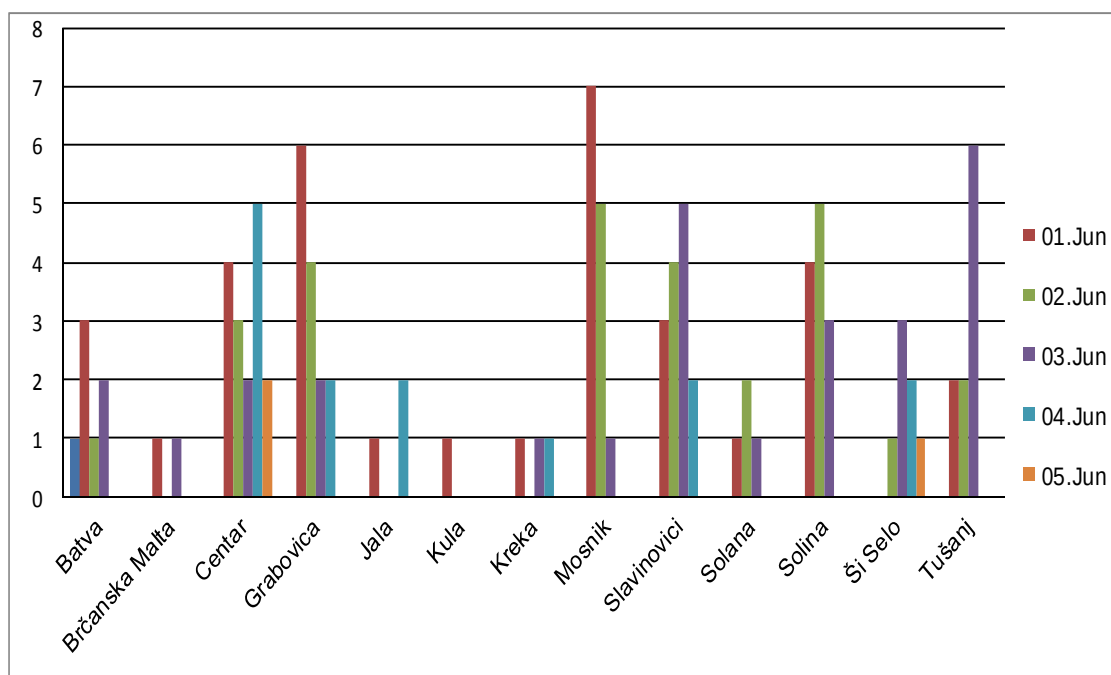


Abbildung 6.4: Anzahl Rutschungen nach Gemeinden in Tuzla zwischen 1. und 5. Juni 2010

Verteilung der Rutschungen nach Hangneigung und Fläche

Da die Hangneigung einen wichtigen Faktor für die Auslösung von Rutschungen darstellt, werden in der Literatur viele Rutschungen nach der Hangneigung klassifiziert (Jasarevic und Lebo 2002, Loparic und Pahernik 2012). Deswegen wird auch im Rahmen dieser Arbeit mit dieser Klassifikationsmethode gearbeitet. Die Rutschungen waren in verschiedenen Hangneigungsklassen verteilt, wobei die meisten (72 von 106 Rutschungen) bei einer Neigung von 12 - 32°, gefolgt von 37 Rutschungen mit einer Hangneigung von 5 - 12° auftraten. Nur eine Rutschung wies eine Hangneigung unter 5° auf.

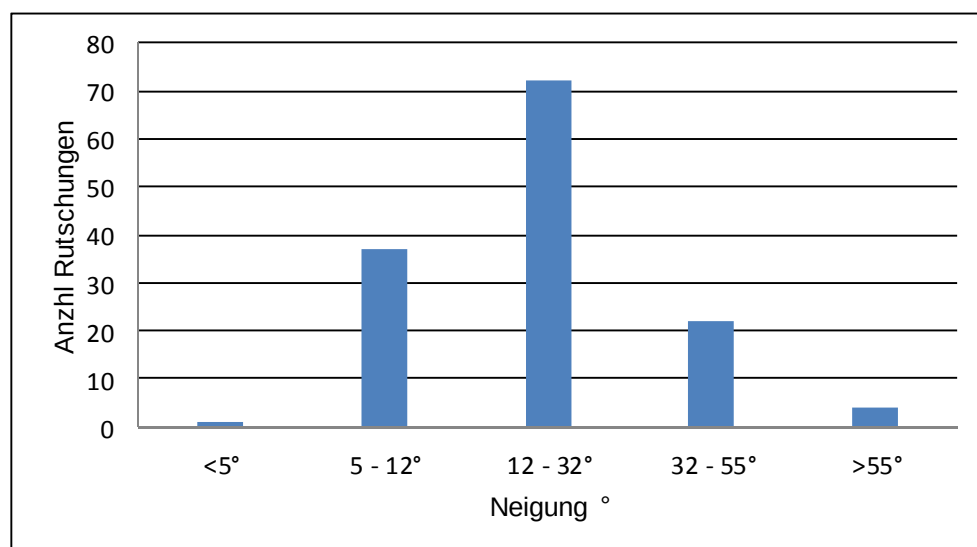


Abbildung 6.5: Verteilung der Rutschungen nach Hangneigung

Bei jeder Rutschung wurden Länge und Breite gemessen. Die Fläche der Rutschungen wurde nach den Messungen aus der entsprechenden mittleren Länge und Breite multipliziert und somit ermittelt. Auf ein Volumen wurde verzichtet, da die Tiefe nicht genau festzustellen war. Eine hohe Anzahl von Rutschungen (44) weisen eine Fläche kleiner als 100 m² auf, gefolgt von 38, mit einer Fläche von 100 - 1.000 m², nur vier Rutschungen weisen eine Fläche >10.000 m² auf (s. Abb. 6.6). Es ist ersichtlich, dass große Rutschungen an der Grenze des Untersuchungsgebietes, mit einer Fläche von über 10.000 m² auftraten.

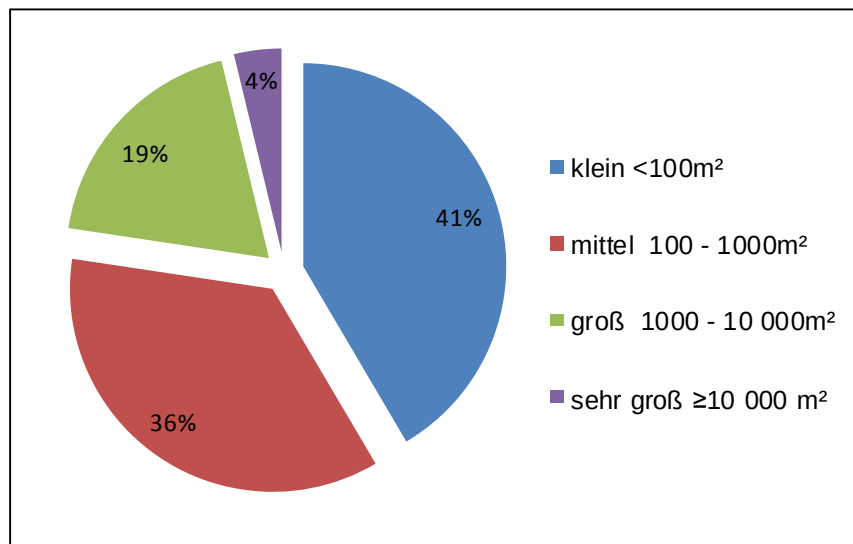


Abbildung 6.6: Einteilung der Rutschungen nach der Größe

Bei der Gegenüberstellung von Hangneigung und Größe des Rutschungskörpers ist zu erkennen, dass große Rutschungen bei niedriger Hangneigung und kleine Rutschungen vor allem bei großer Hangneigung entstehen.

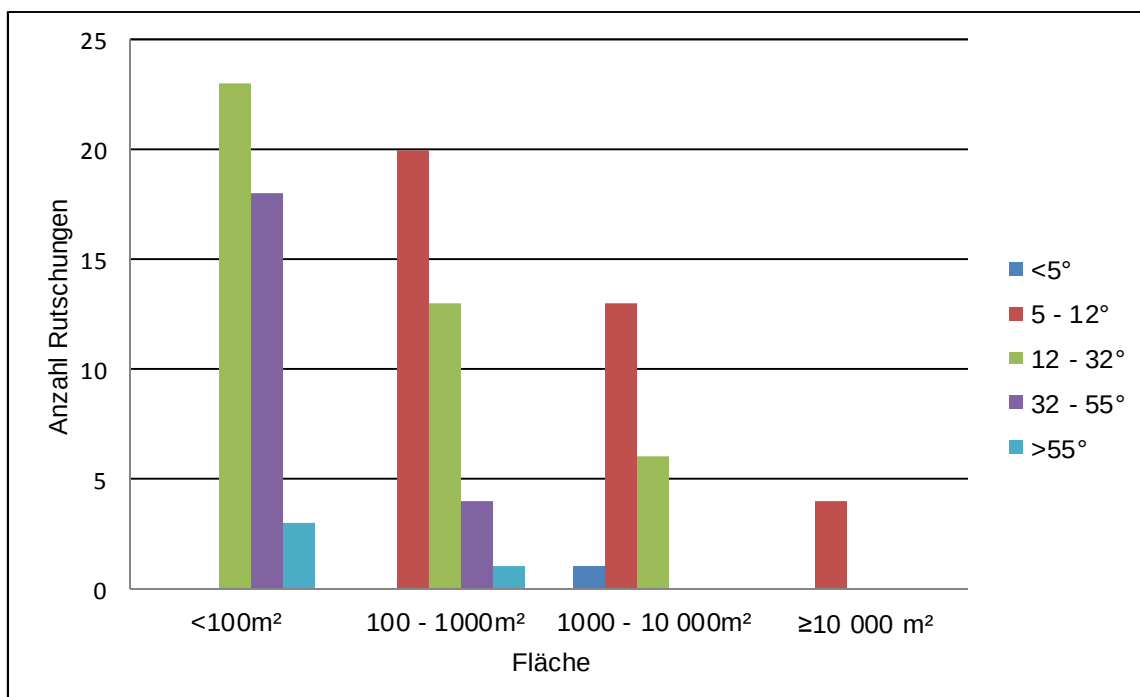


Abbildung 6.7: Verteilung der Rutschungen nach Fläche und Neigung

Verteilung der Rutschungen nach Exposition

Bei jeder Rutschung wurde zusätzlich die Exposition festgestellt, um einen Zusammenhang zwischen den Rutschungen, der Exposition und der Hangneigung festzustellen. Es ist zu beobachten, dass nord- und nordöstlich ausgerichtete Hänge wenig und west- und nordwest ausgerichtete Hänge stärker betroffen sind. Insgesamt ergibt sich jedoch keine bestimmte Exposition, die besonders anfällig für Rutschungen erscheint (Abb. 6.8).

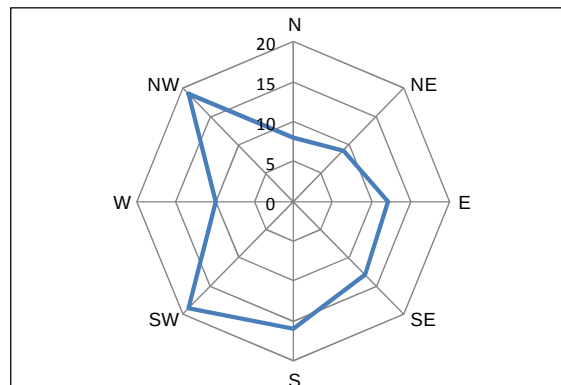
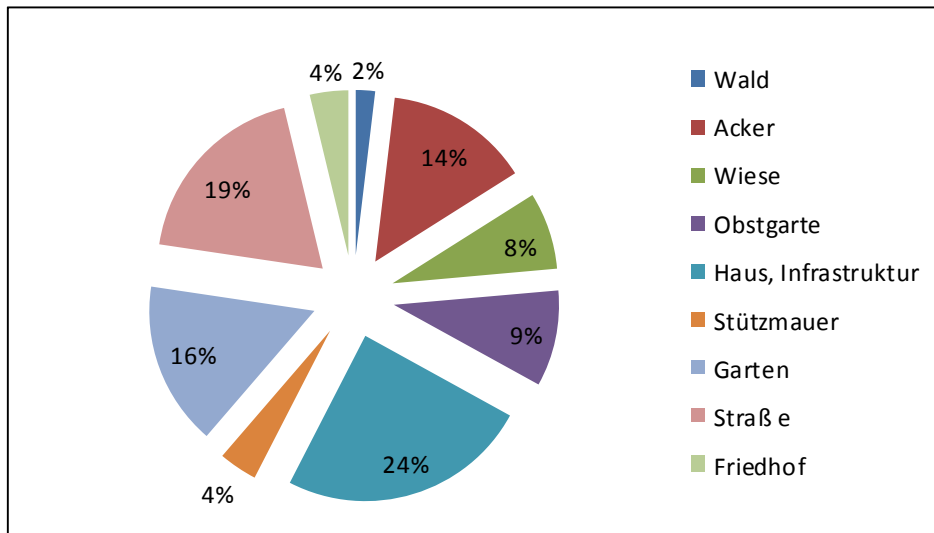


Abbildung 6.8: Verteilung Rutschungen nach Exposition

Verteilung der Rutschungen nach Bodenbedeckung

Ein weiteres Merkmal der Destabilisierung eines Hanges stellt die Bodenbedeckung dar, die im Kapitel 3.4 in mehrere Klassen unterteilt wurde. Diese Einteilung in verschiedene Klassen war nicht immer eindeutig. Es gibt keine klare Grenze, welche Rutschungsparameter wie Abrisskante, Rutschungskörper oder Rutschungsfuß betrachtet werden. Für die komplette Klassifikation in beispielsweise Wald, Wiese, Obstgarten, Friedhof, Siedlung wurde die von Rutschungen am größten bedeckte Fläche zugrunde gelegt.

Dabei ist auffallend, dass es in den bebauten Flächen wie Siedlung und Straßen die meisten Rutschungen gibt (s. Abb. 6.8). 71 % der in Tuzla vom 1. - 5. Juni untersuchten Rutschungen sind einer bebauten Fläche zugeteilt, die restlichen 21 % traten auf nicht bebauten Flächen, wie Wald/Wiese, Obstgarten auf und nur 2 % aller Rutschungen wurden im Wald identifiziert.



6.9 Verteilung Rutschungen nach Bodenbedeckung

Verteilung der Rutschungen nach Art und Tiefe

Im Untersuchungsgebiet treten Translations-, Rotations- und Komplexrutschungen auf, wobei die meisten (über 70 %) den Komplexrutschungen zugeordnet werden können. Als zweithäufigste Rutschungsart kommen mit fast 20 % im Untersuchungsgebiet die Translationsrutschungen vor, während es nur sehr wenige Rotationsrutschungen gibt (s. Abb. 6.10).

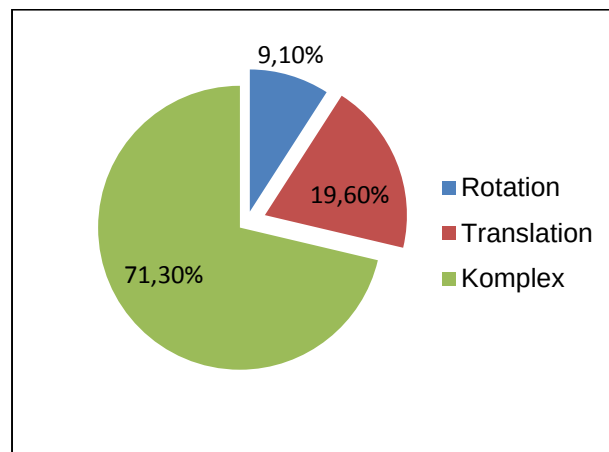


Abbildung 6.10: Verteilung der Rutschung nach Art

Bezüglich der Tiefe treten die meisten Rutschungen direkt an der Oberfläche, mit einer geringen Tiefe von 1-4 m auf (s. Abb. 6.11). Die Tiefe wurde an der Abrisskante gemessen, bei einigen konnte diese jedoch nur durch Schätzung bestimmt werden.

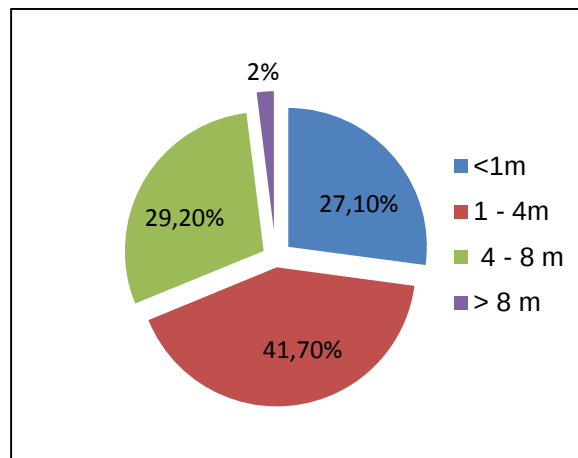


Abbildung 6.11: Verteilung der Rutschungen nach Tiefe

Verteilung der Rutschungen auf die geologischen Einheiten

Geologie gehört zu den wichtigsten vorbereitenden Faktoren der Hangstabilität. Es wurde untersucht, ob Rutschungen auf bestimmten geologischen Einheiten eine Anhäufung aufweisen. Im Untersuchungsgebiet gibt es drei große geologische Einheiten: das Pliozän, das Miozän sowie das Quartär, wobei bei quartären Ablagerungen keine Rutschungen festgestellt wurden. Fast 85 % aller Rutschungen sind auf Miozän Untergrund entstanden, während 15 % dem pliozänen Untergrund zugeordnet werden können. Auf den ersten Blick kann man in einigen geologischen Zonen Häufungen von Rutschungen erkennen. In den miozänen Ablagerungen sind Unterschiede zu erkennen: So gibt es 34 Rutschungen beim Auftreten einer Wechsellagerung von Mergeln und Tonsedimenten, 23 Rutschungen in Sandstein-Mergel-Schichten sowie 14 mit Kalkplatten, Mergeln und Konglomeraten als Untergrund. Somit können fast 2/3 aller Rutschungen den miozänen Ablagerungen zugeordnet werden. Nur bei zwei Zonen mit Sandsteinen und Konglomeraten und mit oberer Schicht Kohle (s. Abb. 6.12 – M1/1 und M3) wurden auf miozänem Untergrund keine Rutschungen gemeldet. Insgesamt wurde bei Konglomeraten und Sandsteinen im Untergrund (ohne Mergel) nur eine geringe Anzahl (5) von Rutschungen aktiviert.

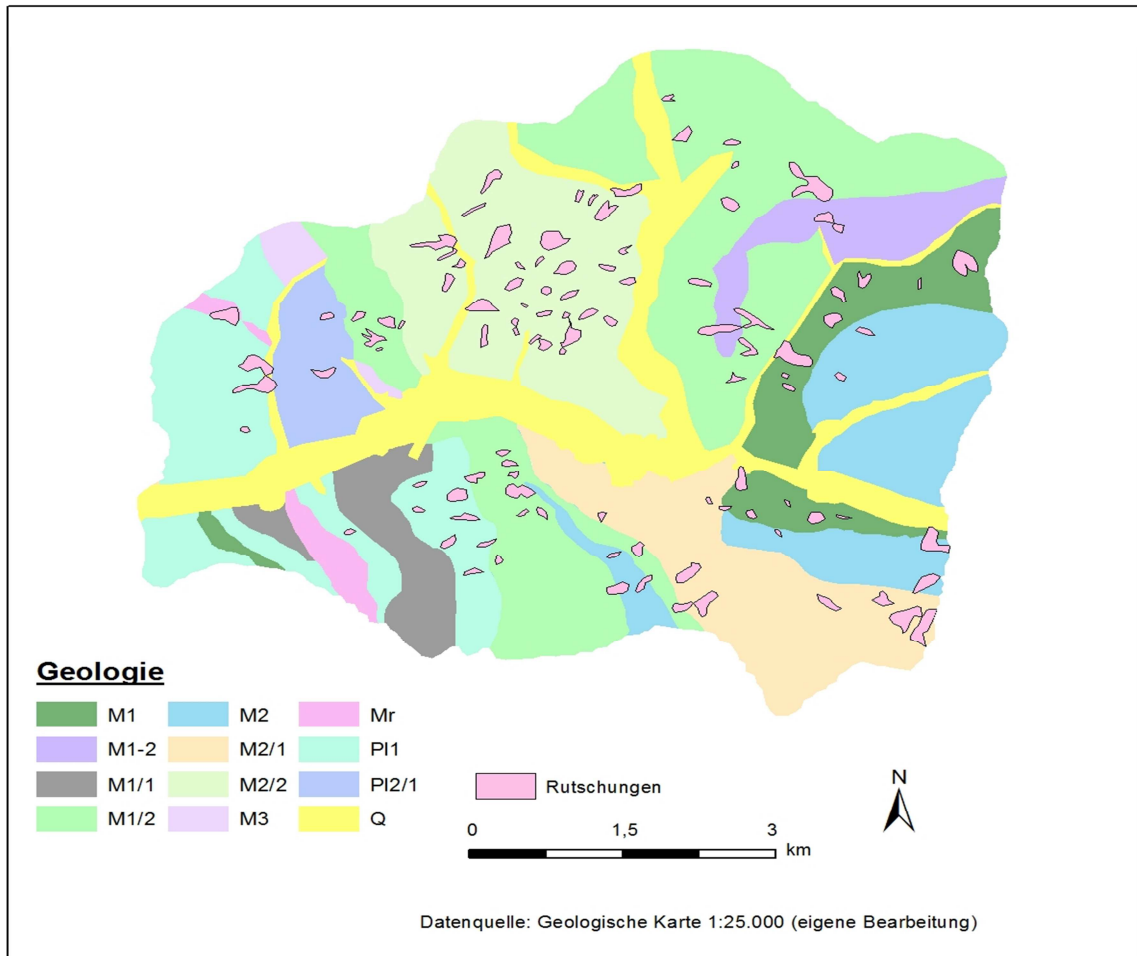


Abbildung 6.12: Verteilung der Rutschungen auf die verschiedenen geologischen Einheiten

Legende:

M = Miozän, M1 = Kalkplatten, Mergel mit Konglomeraten, M1-2 = Sandsteine, Mergel, M1/1 = Konglomerate, Sandsteine, obere Schicht Kohle, M1/2 = Roter Sandstein, Konglomerate und selten Mergel, M2 = Sandsteine, Rote Serie, Mergel, M2/1 = Mergel, Konglomerate, Sandsteine, M2/2 = Mergel, Tonsediment, Sandsteine, M3 = Sandsteine, Konglomerate, Mr = Sandsteine, Mergel,

P = Pliozän, Pl1 = Sandstein, Mergel, Kohle, Pl2/1 = Sandstein, Mergel, obere Schicht Kohle und Konglomerate,

Q = Quartär

6.2 Niederschlag als möglicher auslösender Faktor von Rutschungen in Tuzla

Zuerst sollte der durchschnittliche jährliche Niederschlag der rund letzten 50 Jahre dargestellt werden (s. Abb. 6.13). Es ist ersichtlich, dass das Jahr 2010 ein sehr niederschlagsreiches Jahr war (Klimatologische Analyse 2010). Die gesamte Niederschlagsmenge war höher als der Durchschnitt, in manchen Gebieten wurden sogar Rekordwerte erzielt. Nach der Analyse der durchschnittlichen Monats- und Jahresniederschlagsdaten konnte festgestellt werden, dass im Jahr 2010 mit 1.261 mm deutlich mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel von 1961 - 2010 mit 900,7 mm fiel (s. Abb. 6.13).

Abbildung 6.14 zeigt einen monatlichen Überblick der Niederschlagssummen. Um zu vergleichen sind auch die durchschnittlichen monatlichen Niederschlagswerte von 1961 - 2009 angegeben. Es ist zu erkennen, dass vor allem die Monate Juni und Juli extrem niederschlagsreiche Monate sind.

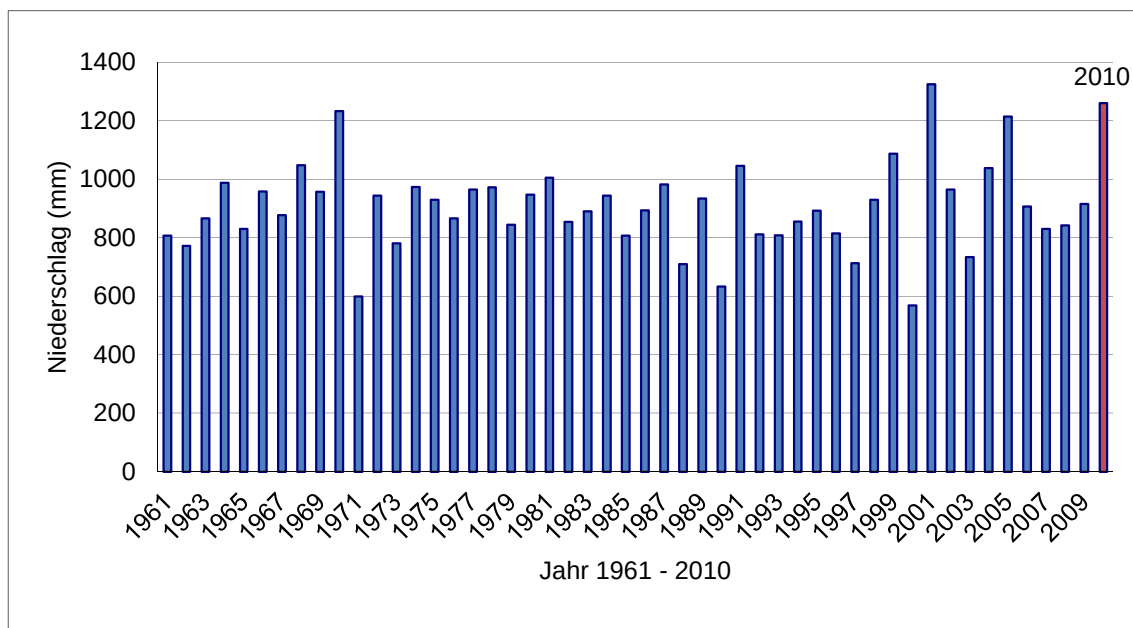


Abbildung 6.13: Niederschlagszeitreihe Tuzla 1961-2010

Im Januar und Februar lagen die Niederschlagssummen 46 % bzw. 33 % höher als die Erwartungswerte, während im März weniger Niederschlag als üblich fiel. Im Mai fiel fast die doppelte Niederschlagsmenge des langjährigen Mittelwertes (193 %), wobei fast der gesamte Niederschlag in der zweiten Monatshälfte stattfand.

Der Juni 2010 ist ebenfalls sehr niederschlagsreich, so fallen in den ersten drei Tagen allein knapp 200 mm (über 130 % des Erwartungswertes für Juni). In den Monaten Juli und August

fällt mit 117 % und 101 % eine leicht überdurchschnittliche Menge, im Gegensatz zum September, der wiederum fast das Doppelte des langjährigen Monatsmittels erreicht. Von Oktober bis Dezember 2010 fielen die Niederschläge normal aus (Abb. 6.14).

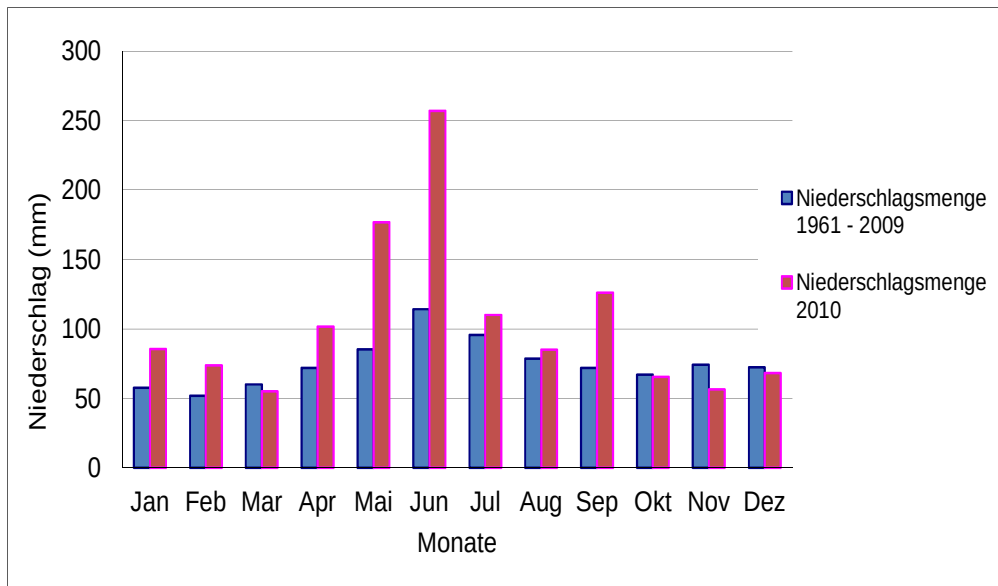


Abbildung 6.14: Vergleich der monatlichen Niederschläge 2010 mit dem Mittel von 1961-2009

In Abbildung 6.15 ist für den Zeitraum vom 15.5. bis 5.6.2010 der stündliche als auch kumulative Niederschlag dargestellt. Vom 14. bis 22. Mai fielen insgesamt 130 mm, mit einer durchschnittlichen Intensität von 13 mm/h. Etwas weniger Niederschlag fiel am 28. und 29. Mai, bevor ab dem 31. Mai Extremniederschlag einsetzte, der bis zum 3. Juni andauerte und den eigentlichen Grund der Auslösung von vielen Rutschungen darstellt. Insgesamt fallen innerhalb der 3 Tage 150 mm mit einer durchschnittlichen Intensität von 3-12 mm.

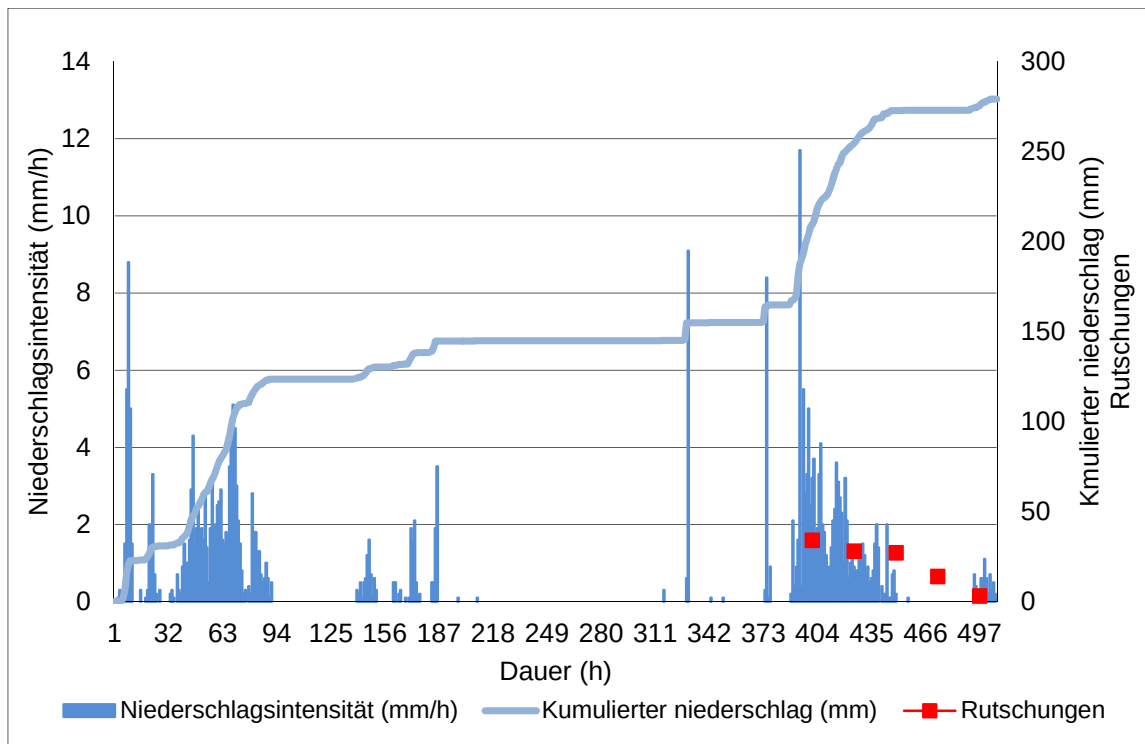


Abbildung 6.15: Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität mit Ereignissen vom 15.05-05.06.2010

Nachfolgend werden nur die Tage betrachtet, bei welchen es zu einer Aktivierung von Rutschungen gekommen ist. Ab dem 31. Mai kommt es erneut zu Niederschlägen mit einer Pause von 6 Stunden, worauf das Maximum mit ununterbrochenen 58 Stunden Niederschlag mit einer Intensität von 1 mm/h bis 12 mm/h folgt. Auf der Abbildung 6.16, die die Niederschlagsmenge sowie Intensität zeigt, wird deutlich, dass am 1. Juni eine hohe Niederschlagsmenge von 71 mm in 24 Stunden mit einer durchschnittlichen Intensität von 12 mm pro Stunde fällt. Am 1. Juni wurden insgesamt 34 Rutschungen aktiviert, am 2. Juni kam es zu einer Aktivierung von 28 Rutschungen bei einer geringeren Niederschlagsmenge und Intensität gegenüber dem Vortag. Daraus kann man schließen, dass der fallende Niederschlag nicht nur der entscheidende Parameter für die Aktivierung von Rutschungen war, sondern auch die Vorbefeuchtung eine entscheidende Rolle spielt. Wie im vorigen Kapitel beschrieben, war der Mai, insbesondere die zweite Monatshälfte, überdurchschnittlich reich an Niederschlag.

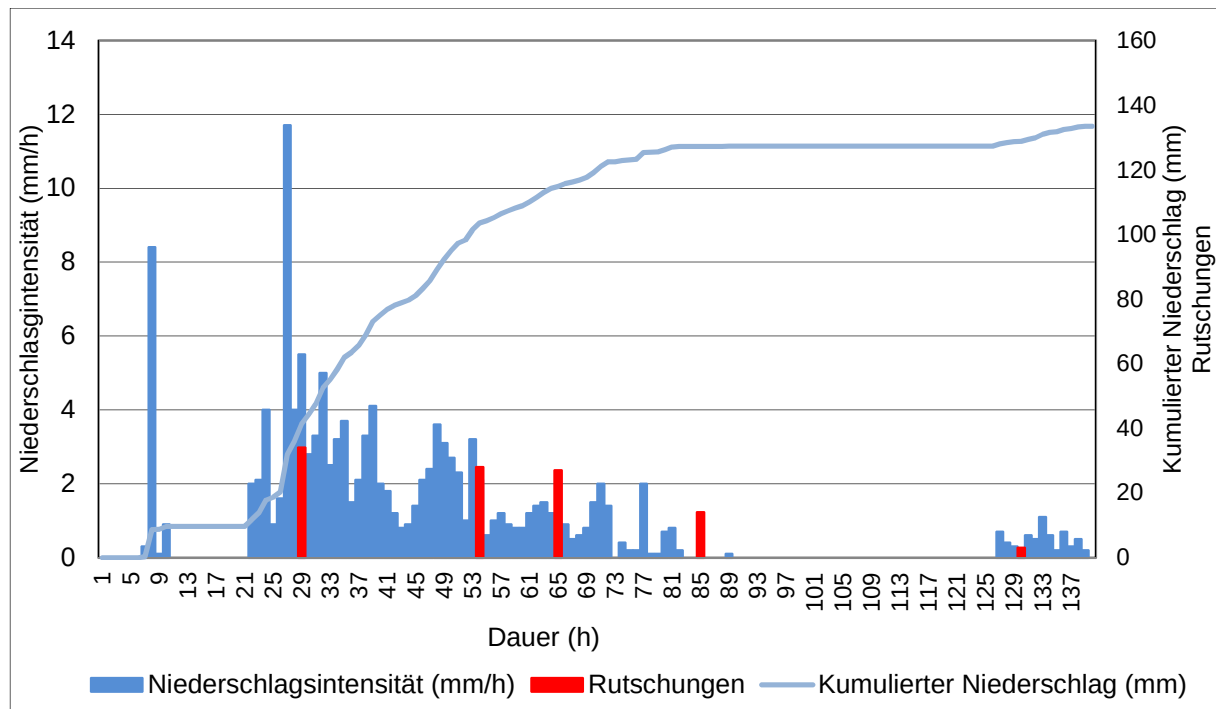


Abbildung 6. 16: Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität mit Ereignissen vom 31.05-05.06.2010

6.3 Intensity Duration Model (ID)

In Abbildung 6.17 wurden 62 Rutschungen dargestellt, die innerhalb von 72 Stunden stattfanden, wobei die Rutschungen bezüglich ihrer Auslösungszeit in zwei Gruppen eingeteilt wurden. Jene Rutschungen, bei denen die genaue Auslösungszeit bekannt ist (nach 27, 34,

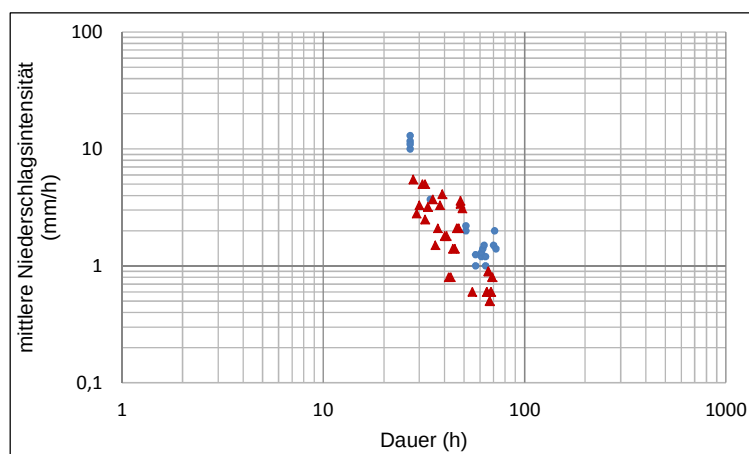


Abbildung 6.17: Vergleich Niederschlagsintensität- und Niederschlagsdauer

51, 57, 61, 62, 63, 64, 70, 71 und 72 Stunden), sind mit einer blauen Kreissignatur dargestellt, während die braunen Dreiecke andere Rutschungen kennzeichnen, die sich in den 72 Stunden ereigneten, von denen jedoch der genaue Auslösungszeitpunkt unbekannt ist. Andere Rutschungen, welche nicht direkt unmittelbar durch den Niederschlag ausgelöst wurden, sind nicht dargestellt. Es wurde auch ein Schwellenwert für die Ereignisse in Tuzla vom 1.-6. Juni 2010 berechnet. Dies war aber lediglich für die Rutschungen mit dem genauen Auslösungszeitpunkt möglich: $I = 1,16 \cdot D^{-0,57}$. Dieser Schwellenwert zeigt, dass es bei einem Niederschlag von 72 Stunden bei einer Intensität von 1,42 mm/h, zu einer hohen Wahrscheinlichkeit zu Rutschungen kommt.

Um die Schwellenwerte zu ermitteln, wurde zunächst ein Zusammenhang zwischen Niederschlagsintensität und Niederschlagsdauer mittels Trendlinie hergestellt. Die Trendlinie wird zum Schwellenwert, wenn diese in der Abbildung 6.18 (rote Linie) soweit nach unten verschoben wird, bis keine Rutschungen mehr ausgelöst werden.

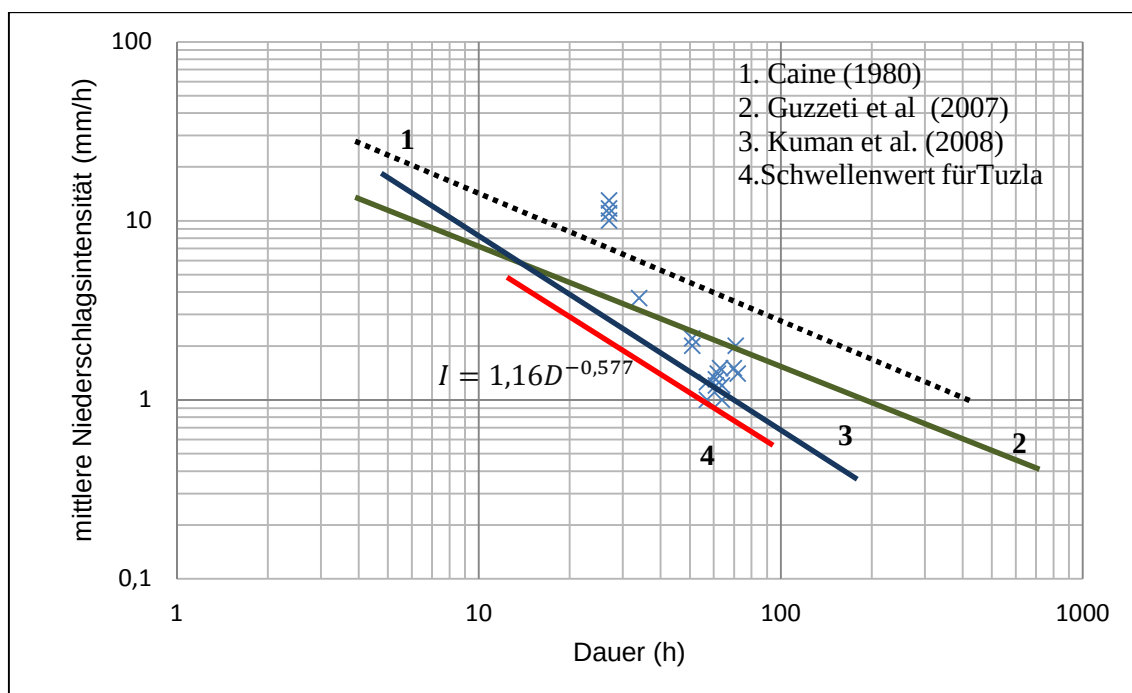


Abbildung 6.18: Niederschlagsschwellenwerte

In einem weiteren Schritt wurden die ermittelten Schwellenwerte mit anderen Schwellenwerten verglichen. Es ist ersichtlich, dass der ermittelte Schwellenwert gut mit dem von Kuman 2008 korreliert, der Untersuchungen im Himalaya durchführte.

6.4 Einfluss anthropogener Faktoren

Neben oben genannten Faktoren, waren bei 40 Rutschungen auch sichtbare anthropogene Einflüsse mit direkten oder indirekten Auswirkungen auf die Rutschauslösung im Untersuchungsgebiet erkennbar. Die verschiedenen anthropogenen Einflüsse in den einzelnen Gemeinden sind in der Tabelle 6.1 zusammengefasst. Alle anthropogenen Faktoren wirken sich auf die Hangstabilität aus. Die häufigsten anthropogenen Faktoren im Untersuchungsgebiet waren Hangunterschneidungen, weswegen an Straßen eine hohe Rutschungsanzahl zu erkennen war.

Tabelle 6.1: Anthropogene Faktoren im Untersuchungsgebiet

Anthropogene Faktoren	Gemeinde													
	Batva	Brčanska Malta	Centar	Grabovica	Jala	Kula	Kreka	Mosnik	Slavinovici	Solana	Solina	Ši Selo	Tušanj	Centar
Bodensenkung			1										1	
Unterschneidung Hangneigung (Haus)	1			2				2	3		1		1	1
Straßenbau	1		2		1	1	1	2	1		6	1	4	1
Friedhof			1		1					1			1	
Stützmauer		1						1			2			
Bodensenkung			1										1	

6.5 Inventarkarte

Es wurde nochmal alles zusammengefasst und in einer Karte dargestellt, sodass das Zusammenspiel von vielen Faktoren ersichtlich wird. Diese Karte ist die erste ihrer Art für dieses Gebiet und soll gefährdete, mittel- und nicht gefährdete Gebiete anhand verschiedener Stufen darstellen. Nach Merz (2006) handelt es sich hier um ein semiquantitatives Verfahren. Abbildung 6.19 stellt sieben Gefährdungsstufen dar, die grob in drei Gruppen, gering, mittel und stark gefährdet eingeteilt werden können. Es ist ersichtlich, dass die Mitte des Beckens in Ost-West-Erstreckung gar keine bis eine geringe Gefährdung (entspricht der Grünfärbung) aufweist, was knapp 1/3 der Fläche des Untersuchungsgebietes entspricht. Die gelbe Farbe weist eine mittlere Gefährdung auf, liegt im höheren Bereich und umfasst ebenfalls rund ein

Drittel der Gesamtfläche. Die nördliche Talseite, der Nordosten, Nordwesten und der westliche Teil des Untersuchungsgebietes weisen gar keine beziehungsweise nur eine geringe Gefährdung auf. Die rote Farbe weist auf eine große Gefährdung durch Rutschungen hin und bedeckt auch knapp 1/3 der Gesamtfläche. Dieser Bereich befindet sich am nördlichen sowie südlichen Stadtrand (größerer Teil) von Tuzla sowie entlang des Solinatalles.

Inventarkarte

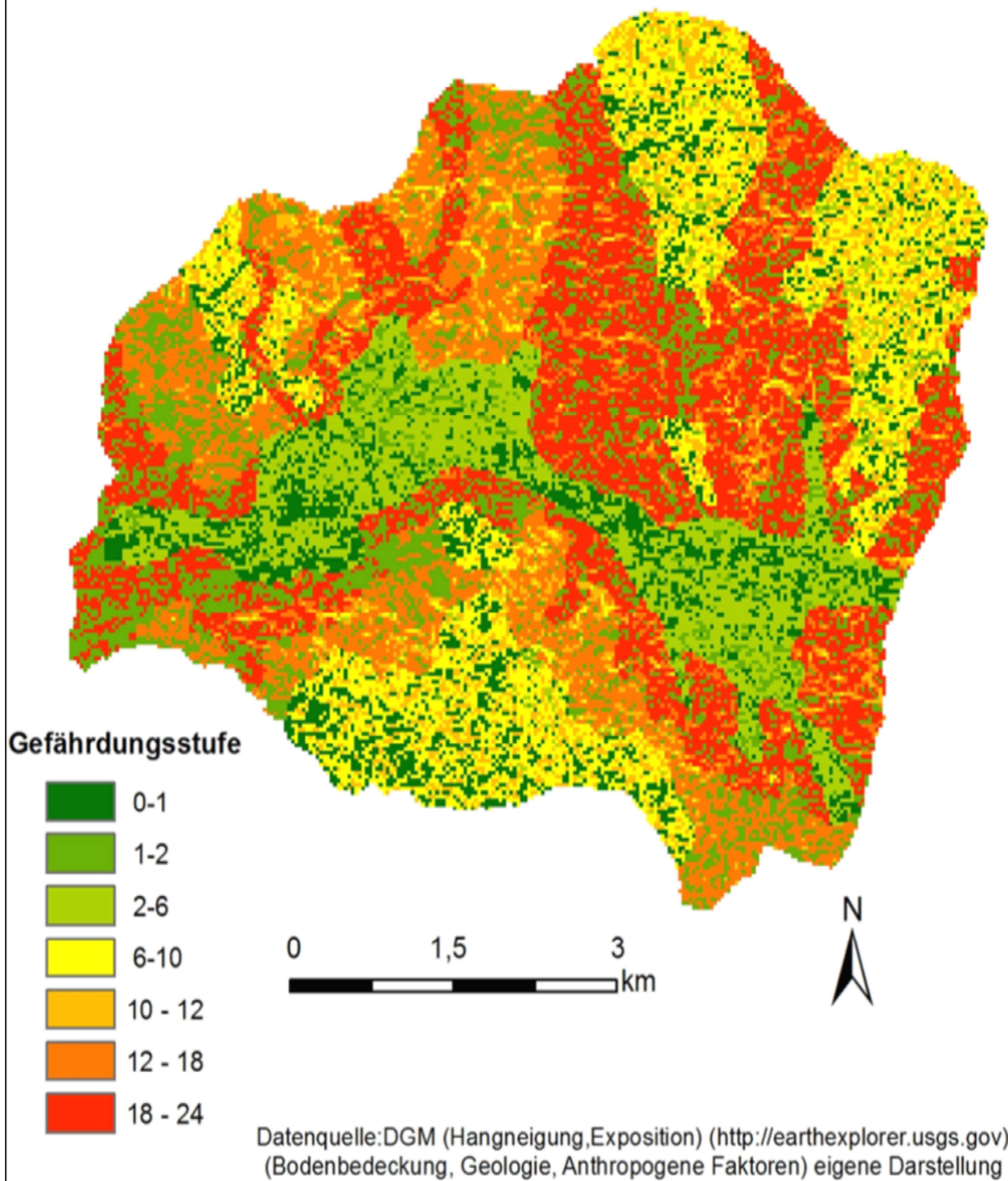


Abbildung 6.19.: Inventarkarte

7 DISKUSSION

Das Stadtgebiet in Tuzla lässt sich allgemein in mehrere städtische und urbane Gemeinden einteilen. In dieser Arbeit bildet die städtische Gemeinde Tuzla das Untersuchungsgebiet. Im Untersuchungsgebiet wurden viele verschiedene Einflussfaktoren identifiziert und anschließend untersucht.

Von den 18 Gemeinden der Stadt Tuzla waren fünf von keinen Rutschungen betroffen. Diese Gemeinden befinden sich geologisch betrachtet im Quartär, sie liegen in einer Ebene und sind somit nicht anfällig gegenüber Rutschungen. Im Gegensatz dazu, haben die anderen Gemeinden eine komplizierte geologische Struktur mit einer abwechselnden Lagerung von Tonsteinen, Mergeln und Konglomeraten (s. Kapitel 4.3).

Neben den natürlichen Faktoren als vorbereitende Faktoren, spielen vermutlich auch menschliche Aktivitäten eine große Rolle. Eine große Bevölkerungsdichte, die zum Teil aus vertriebenen Muslimen von umgebenden Gebieten resultiert, führt zu einer Intensivierung und Ausbreitung von Siedlungen. Viele Häuser wurden in Zonen mit billigem Baugrund gebaut, obwohl keine Bewilligungen zum Bau vorlagen. Das ist insbesondere in den äußeren Gemeinden des Untersuchungsgebietes ausgeprägt.

7.1 Kartierungsergebnisse

Räumliche und zeitliche Verteilung der Rutschungen

Innerhalb des Untersuchungszeitraums vom 1. bis 5. Juni 2010 wurden Rutschungen in verschiedener Anzahl aktiviert, die meisten am 1. Juni die wenigsten am 5. Juni. Für die Aktivierung von Rutschungen ist eine bestimmte Menge Niederschlag erforderlich, ab dem 1. Juni fiel 72 Stunden ununterbrochen Niederschlag, weshalb es in den ersten Junitagen die meisten Rutschungen gab. Im Gegensatz dazu wurden am 4. Juni nur 14 Rutschungen aktiviert, was nicht mit dem fehlenden Niederschlag an diesem Tag, sondern mit anderen Faktoren erklärt werden kann. Bei der Betrachtung der Gemeinden Center und Tusanj ist festzustellen, dass sich die meisten Rutschungen trotz des geringen Niederschlages am 3. und 4. Juni ereigneten, was mit einem erhöhtem Grundwasserspiegel (ausgelöst durch die starken Niederschläge beginnend am 31.5.2010) und damit erhöhtem Wasserdruck erklärt werden kann. Es kommt sozusagen zu einer Verzögerung von Rutschungen. Das genau diese

Gemeinden von einer Bodensenkung (s. Kapitel 4.8.1) und somit von Rutschungen betroffen war, kann mit dem Anstieg des Grundwasserspiegels (langzeitliche Skala nach Bogard 2001) erklärt werden. Nach Bogard (2001) umfassen normale Schwankungen des Grundwasserspiegels den Bereich von -6 bis -2 m. Kommt es aber zu einer großen Menge Niederschlag innerhalb einer kurzen Periode, kann der Grundwasserspiegel überschritten werden und mit einer Verzögerung Rutschungen auslösen. Eine solche Verzögerung aufgrund des Grundwassers konnte in 2 Gemeinden erklärt werden.

Verteilung der Rutschungen nach Hangneigung und Fläche

Da die Hangneigung einen wichtigen Faktor für die Auslösung von Rutschungen darstellt, werden in der Literatur viele Rutschungen nach der Hangneigung klassifiziert (Jasarevic und Lebo 2002, Loparic und Pahernik. 2012). Deswegen wird auch im Rahmen dieser Arbeit mit dieser Klassifikationsmethode gearbeitet. Die Rutschungen waren in verschiedene Hangneigungsklassen verteilt, wobei die meisten bei einer Neigung von 12° - 32°, gefolgt von 5° - 12° auftraten. In der Literatur gibt es keine Erklärung, wie die Hangneigung bei den Rutschungen gemessen werden kann (Rickli et al. 2008). Somit kommt es zu Problemen aufgrund der unterschiedlichen Bestimmungsmethoden der Hangneigung. Im Untersuchungsgebiet wurde ein Zusammenhang zwischen der Rutschungshäufigkeit und der Hangneigung bestätigt.

Nach Andrecs et al. (2002), Markart et al. (2007) treten bereits Rutschungen bei einer Hangneigung von 20° auf, das Maximum liegt zwischen 30° und 40°, bevor die Rutschungsintensität ab einer Hangneigung von 45° wieder abnimmt. Im Untersuchungsgebiet gibt es die meisten Rutschungen bei Hangneigungen zwischen 5° und 32°. Eine mögliche Erklärung der niedrigen Hangneigungen der Rutschungen im Untersuchungsgebiet, stellt der Einfluss der verschiedenen Faktoren dar, die zur Instabilität eines Hanges führen und somit ihre Aktivierung beschleunigen. Bei Hängen welche durch andere Faktoren, wie Unterschneidung oder Straßenbau belastet werden, genügt eine kleinere Hangneigung für die Aktivierung von Rutschungen.

Einige Studien haben gezeigt, dass die Hangneigung und die Bodenbedeckung einen starken Zusammenhang besitzen - so ist nachgewiesen, dass zum Auslösen von Rutschungen bei Wald eine höhere Hangneigung von 2° bis 3°, als in anderen Landnutzungsklassen erforderlich ist (Rickli, 2008). Tatsache ist, dass bei großer Hangneigung nicht so viele Rutschungen vorkommen, was daran liegt, dass diese Gebiete mit Wald bedeckt sind (Wald

stabilisiert den Boden). Bei der Einteilung der Rutschungen bezüglich ihrer Fläche, handelt es sich zumeist (ca. 70 % aller Rutschungen) um kleine und mittelgroße Rutschungen. Einige Studien wie Andrecs et al. (2002), Rickli et al. (2002) zeigen gleiche Ergebnisse, dass bei extremen Niederschlägen viele kleine und mittelgroße Rutschungen entstehen.

Höhenlage und Exposition

Die Exposition auch bei Rutschungen eine Rolle spielt, beschreiben Krauter (2001) (Hänge mit Westexposition mehr Rutschungen) und Andrecs et al. 2002 (erhöhtes Rutschungsaufkommen an nord- und südexponierten Hängen). Im Untersuchungsgebiet, in den 13 Gemeinden, konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen der Exposition und den Rutschungen festgestellt werden - fast gleiche Verteilung von Rutschungen je nach Exposition. Eine geringe Anhäufung in Nordwest- und Nordostexposition kann nicht erklärt werden. Die Höhenlage des Untersuchungsgebietes spielt ebenfalls keine Rolle, weil das Untersuchungsgebiet im Bereich von 250 m - 500 m über NN liegt und es somit keine Änderung in der Vegetation und Mächtigkeit der Lockergesteine gibt. Diese Parameter würden sich stark auf die Rutschungsanfälligkeit auswirken.

Bodenbedeckung

Im Gelände wurde die Bodenbedeckung, visuell durch Beobachtung aufgenommen. Es sind weitere Untersuchungen in diesem Gebiet erforderlich. Das könnte dazu führen, dass ein Großteil der Rutschungen vermutlich durch anthropogene Faktoren ausgelöst wurde, wie es die Ergebnisse bereits widerspiegeln. Am meisten von Rutschungen betroffen sind Häuser, Gärten, als auch andere Infrastruktureinrichtungen. Durch eine Hangunterschneidung beim Bau einer Straße oder eines Hauses kommt es zur Änderung der Kräfte an einem Hang, was diesen anfälliger für Rutschungen macht (Langof 2000). Fehlende Raumplanung bei einem so dicht besiedelten Gebiet, spielt dabei eine wichtige Rolle. So führt beispielsweise eine zusätzliche Bebauung eines Hanges zu Änderungen der Hangeigenschaften, wie Hydrologie (Langof 2000). Es ist auch festzustellen, dass im Untersuchungsgebiet die höheren Lagen mit Wald, vor allem mit Buchen bedeckt sind, wobei die Buchen mit ihren Wurzeln den Untergrund bis zu einer Mächtigkeit von 20 m stabilisieren (Ferhatbegovic et al. 2003).

Geologie

Fast 85% aller Rutschungen sind in neogenen Ablagerungszonen entstanden. Neogene Sedimente sind durch wechselnde Ablagerungsschichten von Tonstein, Sandstein und Mergel gekennzeichnet. Im Untersuchungsgebiet treten Rutschungen vor allem da auf, wo eine

durchlässige Schicht auf einer undurchlässigen liegt. Nach einem großen Niederschlagsereignis versickert das Wasser schnell in die durchlässige Schicht (Cackovic 2003).

Es gibt eine Abfolge von verschiedenen Schichten, wobei das Wasser in durchlässige Gesteine, wie zum Beispiel in einem leicht verwitterbaren Mergel einsinkt bis es auf eine undurchlässige Schicht, wie beispielsweise Ton trifft. Dort bildet sich eine Stauschicht und es kommt zur Ausbildung eines Gleitfilms. Bei einem hohen Porenwasserdruck versagen die haltenden Kräfte und der Hang kommt in Bewegung. Dabei spielt auch der Grad der Verwitterung eine große Rolle: Je höher dieser ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass Rutschungen auftreten, wobei die Wechselablagerung von Mergel mit Sandstein als besonders kritisch gilt (Rickli 2008). Weitere Studien, auch Loparic und Pahernik (2012), stellen fest, dass verschiedene Abfolgen besonders anfällig gegenüber Rutschungen sind.

Der Einfluss der Geologie im Untersuchungsgebiet korreliert gut mit den Untersuchungen von Ferhatbegovic et al. (2003), zu den wechselnden Ablagerungen von Tonstein, Mergel und Sandstein. Kommen dann noch die anthropogenen Faktoren hinzu, gibt es eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Rutschungen entstehen. Nach Milosevic et al. (2009) ist für die Stabilität eines Hanges, neben den oben genannten Faktoren, auch die Lithologie sehr entscheidend.

Fläche der Rutschungen

Im Untersuchungsgebiet handelt es sich zumeist (ca. 70 % aller Rutschungen), um kleine und mittelgroße Rutschungen, wobei sich die großen Rutschungen in den Grenzgemeinden Garabovica und Slavinovici befinden. Einige Studien wie Andrejs et al. (2002) und Rickli et al. (2002) zeigen gleiche Ergebnisse, dass bei extremen Niederschlägen viele kleine und mittelgroße Rutschungen entstehen. Weiterhin meinen Rickli et al. (2008), dass bei zunehmender Hangneigung, die Rutschungsfläche abnimmt, was im Untersuchungsgebiet jedoch nur teilweise bestätigt werden kann.

Rutschungsart

Über 70 % aller Rutschungen gehören zu den Komplexrutschungen. Die Klassifikation wurde nach Nakic (2010) anhand der Rutschungsform durchgeführt. Jede Rutschung, denen keine klare Form zuzuordnen war, wurde in die Gruppe der Komplexrutschungen klassifiziert. Ein weiteres Problem bestand darin, dass die Kartierung nicht gleich nach der Rutschungsauslösung durchgeführt wurde - somit waren manche Rutschungen bereits

bewachsen, sodass die Rutschungsform nicht mehr zu erkennen war. Aus geologischer Sicht war zu erwarten, dass es sich aufgrund der Schichtung größtenteils um Translationsrutschungen handelt, was jedoch nicht bestätigt werden konnte.

7.2 Niederschlag

Im Untersuchungsgebiet hat sich herausgestellt, dass der Niederschlag sowohl den vorbereitenden als auch den auslösenden Faktor für Rutschungen darstellt. Einen sehr wichtigen Faktor bei der Aktivierung von Rutschungen stellt das Klima dar, welches in zwei Arten Auswirkungen auf die Bodenstabilität ausübt. Im ersten Fall führen langfristige Schwankungen der Temperatur und Niederschläge (Regen oder Schnee), zu einer intensiveren Verwitterung (physikalische und chemische) von Gesteinen. Diese sind im Allgemeinen schlecht verfestigt und tragen damit zur Bildung von dickeren Tonschichten (labile Zone) bei. Diese stellen eine Voraussetzung für die Bildung von klassischen Rutschungen dar. Im zweiten Fall kommt es durch lange und intensive Niederschläge, zum Auftreten neuer und Reaktivierung alter Rutschungen (Mulac 2004).

Der Niederschlag im Untersuchungsgebiet war der einzige auslösende Faktor, was in vielen anderen Studien auch der Fall ist. In Tuzla wurden die Rutschungen durch die starken Niederschlagsereignisse Anfang Juni 2010 ausgelöst. Kommt es zu einem positiven Wasserdruck, verändern sich die Kräfte am Hang, was dann zu Rutschungen führt. Wichtig für die Aktivierungen von Rutschungen in Tuzla war nicht nur der innerhalb von 3 Tagen gefallene Niederschlag, sondern auch die Vorbefeuchtung, die zu den vorbereitenden Faktoren zählt. Im Mai 2010 wurden keine Rutschungen aktiviert, da der gefallene Niederschlag eine geringere Intensität mit mehreren Pausen, im Gegensatz zu dem Niederschlag Anfang Juni 2010, aufwies, sodass genug Zeit war, dass das Wasser versickern konnte.

7.3 Diskussion Intensity Duration Model (ID)

Bei der Aktivierung von Rutschungen spielt die Niederschlagsmenge, von unterschiedlicher Dauer (von einigen Minuten bis zu mehreren Monaten) sowie verschiedene meteorologische und hydrologische Bedingungen eine große Rolle. Niederschläge mit einer hohen Intensität und kurzer Dauer haben mehr Rutschungen ausgelöst, als Niederschläge mit einer kleineren Intensität und längeren Dauer (Guzzetti et al. 2007).

Die Kombinationen von Niederschlagsintensität und -dauer wurden verwendet, um die minimale Schwelle zu berechnen, um vorherzusagen, wann es zu Rutschungsaktivierungen kommen wird. Für den Bereich Tuzla wird für eine Niederschlagsdauer von mehr als 72 Stunden eine durchschnittliche Niederschlagsmenge von 1,42 mm/h benötigt, damit Rutschungen ausgelöst werden.

Können die Rutschungsereignisse durch Niederschläge erklärt werden.

Diese Hypothese kann bestätigt werden. Rutschungen in Tuzla wurden durch starke Niederschläge ausgelöst. Hier ist wichtig, dass der gefallene Niederschlag im Untersuchungszeitraum, als auch die Vorbefeuchtung im Mai eine Rolle spielt.

7.4 Anthropogene Faktoren

Neben den oben beschriebenen natürlichen Faktoren (Niederschlag, Geologie, Hangneigung) wurden im Untersuchungsgebiet auch anthropogene Faktoren nachgewiesen. Die häufigsten anthropogenen Ursachen in den 13 Gemeinden sind Hangunterschneidung, Nicht Regulierung von Straßenwasser, Oberflächenabfluss, Bodensenkung und Entwaldung. Im Untersuchungsgebiet wurden Rutschungen in verschiedenen Lokalisationen wie Haus, Garten und Straße identifiziert, die somit durch den Menschen verursacht wurden. Hangunterschneidungen stellen ein Hauptproblem dar, denn dadurch wird die Anfälligkeit gegenüber Rutschungen erheblich erhöht. Baugenehmigungen und stärkere Kontrollen würden dazu beitragen, dass viele Hänge nicht mehr bebaut werden. Beispielsweise haben in der Gemeinde Mosnik viele Bewohner während des Untersuchungszeitraums ihre Häuser aufgrund der Rutschungsereignisse verloren. Im Untersuchungsgebiet haben 60 % der Rutschungen (von 106) die Infrastruktur beschädigt. Andere Studien in Europa von Farrokh et al. (2011) in der Schweiz, Norwegen, Frankreich und Italien haben auch gezeigt, dass anthropogene Faktoren eine große Rolle spielen. Hier wurden verschiedene anthropogene Faktoren wie die Änderung der Hangneigung, der Landnutzung und die Wasserinfiltration beobachtet, dabei sind 59 % aller Rutschungen durch anthropogene Faktoren entstanden, wobei die Hangunterschneidung (15 %), Landnutzungsänderungen (14 %) und Schäden an Entwässerungskanälen (9 %) die wichtigsten Ursachen darstellen. Im Untersuchungsgebiet wurde auch die Hangunterschneidung als häufigste anthropogene Ursache beobachtet. Durch unterschiedliche menschliche Eingriffe wurden Rutschungen beschleunigt.

Entwaldung

Bei der Entwaldung muss beachtet werden, dass während des 4-jährigen Bosnienkrieges viel Wald gerodet wurde. Einige Jahre nach dem Krieg wurde die Entwaldung gestoppt, sodass sie momentan kein großes Thema mehr ist. Es gibt keine Studien darüber, wie lange es dauert, bis sich auf gerodeten Waldflächen Rutschungen aktivieren. Der Wald hat verschiedene Funktionen für die Hangstabilität. Der Wald im Untersuchungsgebiet nimmt keine große Fläche ein und liegt zumeist in höheren nicht betroffenen Gebieten. In anderen Gemeinden war die Entwaldung Hauptursache von Rutschungen, jedoch liegen diese nicht im Untersuchungsgebiet.

Bodensenkung

Die Bodensenkung in Tuzla ist durch die Salzausbeutung entstanden. Von den 13 untersuchten Gemeinden sind zwei (Centar, Tusanj) stark von Senkung betroffen. Dieser anthropogene Prozess wirkt sich auf die Bodenstabilität, Morphologie und somit auf die Anfälligkeit von Rutschungen aus. Durch Senkung kommt es zur Bodenstrukturzerstörung, entweder durch direkte oder indirekte Einwirkung. Durch direkte Einwirkung werden die haltenden Kräfte eines Hanges verändert. Indirekt werden durch Bodensenkungen die Abwassersysteme beschädigt, sodass es an einigen Stellen zur Ansammlung von Wasser beziehungsweise zum Zufluss größerer Mengen von Wasser kommt, was letztendlich zu Rutschungen führen kann. Anthropogene Faktoren üben allgemein einen starken Einfluss auf die Hangkräfte aus und führen zu einer Instabilität des Hanges. Ein direkter Zusammenhang von Senkung und Rutschungsauslösung konnte nicht festgestellt werden, weshalb eine weitere Untersuchung unbedingt notwendig ist.

Hangunterschneidung – Nicht Regulierung von Straßenwasser

Es ist zu beobachten, dass zahlreiche Rutschungen im Untersuchungsgebiet durch menschliche Aktivitäten entstanden sind. Die Abbildung 7.2.a zeigt eine Hangunterschneidung, einen direkten menschlichen Einfluss auf die Stabilität des Hanges. Fast in jeder Gemeinde sind solche menschlichen Eingriffe zu finden, insbesondere beim Neubau von Häusern. Während der Rutschungen vom 1. bis 5. Juni 2010 waren fast nur neue Häuser (Errichtung ab 90er Jahre) von Rutschungen betroffen.

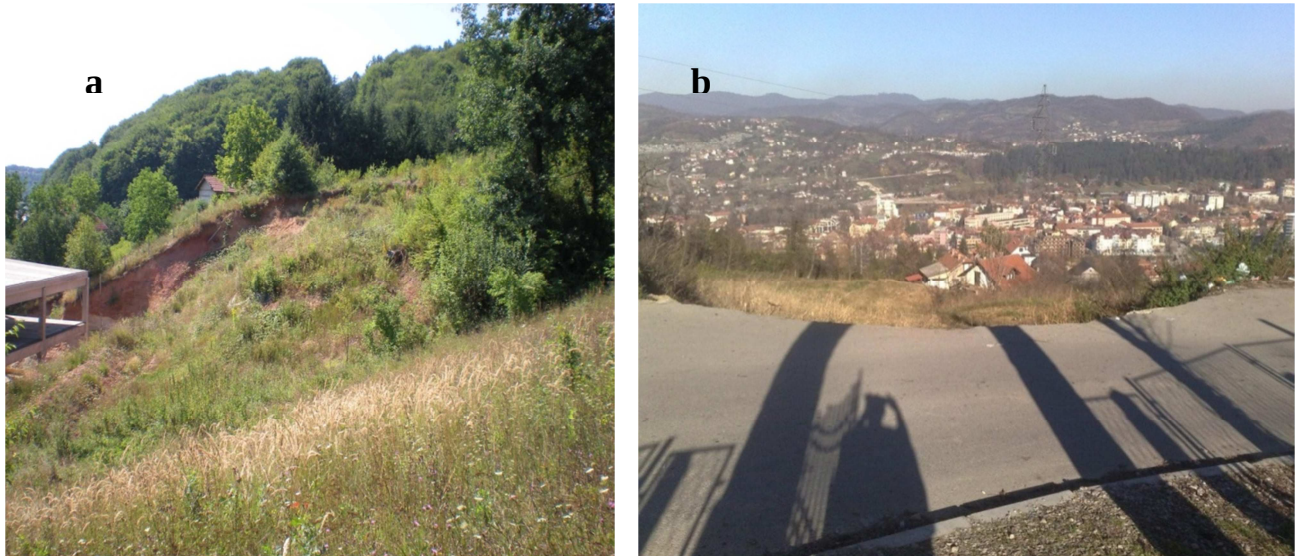


Abbildung 7.1: a) Hangunterschneidung durch ein neues Haus
b) Nicht Regulierung von Straßenwasser (Quelle: Foto Dzindo)

Den Einfluss der Straßenentwässerung (s. Abb.7.2.b) auf Rutschungen in Tuzla kann man nicht erklären. Es gibt lediglich eine Vermutung, dass sechs Rutschungen an der unteren Seite der Straße durch Straßenentwässerung entstanden sind. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass sich viel Wasser an der Straßenoberfläche sammelt, in einem Punkt zusammenfließt und an diesem versickert. Dadurch bildet sich ein positiver Wasserdruck, der zu Rutschungen führen kann. Eine Verbindung der Straßenentwässerung mit den Rutschungsereignissen konnte jedoch nicht hergestellt werden. Nach Krauter (2004) werden viele Rutschungen mit der Straßenentwässerung in Verbindung gebracht. Es wurde jedoch nicht genau beschrieben, wie diese zu Stande gekommen sind.

Alle oben genannten Faktoren haben einen Einfluss auf die Stabilität eines Hanges. Eine direkte Auslösung der Rutschungen durch anthropogene Faktoren konnte nicht festgestellt werden.

Sind die Rutschungen im Untersuchungsgebiet durch menschliche Aktivitäten entstanden oder eher durch natürliche Faktoren?

Somit sind die Rutschungen im Untersuchungsgebiet nicht durch menschliche Aktivitäten entstanden - die Hypothese kann nicht bestätigt werden. Die anthropogenen Faktoren waren nicht ausschließlich die vorbereitenden Faktoren, sondern wirkten nur unterstützend.

7.5 Diskussion Inventarkarte

Das allgemeine Problem ist, dass Rutschungen nicht prognostiziert und somit nicht vermieden werden können. Die Inventarkarte soll dazu dienen, dass betroffene Menschen in Zukunft die durch Rutschungen ausgehende Gefahr erkennen. Die Mitte des Untersuchungsgebietes in Ost-West-Erstreckung weist gar keine bis eine geringe Gefährdung auf, denn in diesem Bereich gab es nur eine kleine Hangneigung, quartäre Ablagerungen und keine anthropogenen Faktoren. Obwohl höhere Hangneigungen auf höhere Gefährdung hindeuten, war das im Untersuchungsgebiet nicht der Fall. Die nördliche Talseite, der Nordosten, Nordwesten und der westliche Teil des Untersuchungsgebietes weisen gar keine beziehungsweise nur eine geringe Gefährdung auf, was daraus resultiert, dass diese höheren Lagen mit Wald bedeckt sind, eine stabile geologische Schicht aufweisen und nicht vom Menschen beeinflusst werden. Die westliche Talseite mit der großen roten Fläche wird von der Geologie sowie bezüglich der Hangneigung besonders hoch eingestuft. Etwas weniger gefährdet ist der südliche mittlere Bereich, teilweise der westliche und nordöstliche Bereich des Untersuchungsgebietes. Die südliche Talseite deutet darauf hin, dass hier eine mittlere Gefährdung bezüglich Geologie und Landnutzung (Wiese, Obstgarten) vorliegt.

Lässt sich anhand gewonnener Erkenntnisse eine Gefährdungskarte erstellen?

Diese Hypothese kann man teilweise bestätigen. Es sollten weitere wichtige Parameter für Rutschungen miteinbezogen werden. Die Einschränkung der Inputdaten kann in Zukunft verbessert werden.

8 SCHLUSSFOLGERUNG

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten zu anderen Arbeiten und Analysen im Untersuchungsgebiet vorgestellt, die dringend notwendig sind. Es wäre sinnvoll eine Datenbank von allen Rutschungen in Tuzla anzulegen und ein notwendiges Monitoring durchzuführen. Dazu erscheint es sinnvoll eine Institution zu gründen, die sich mit diesem Problem auseinandersetzt, eine Beobachtung und Registrierung aller eingetretenen Rutschungen durchführt und diese nicht nur meldet. Weiterhin sollten die Daten zuverlässig sein und alle Rutschungen sollten nach einem gleichwertigen Schema aufgenommen und nach einheitlichen Parametern untersucht werden. Eine wichtige Information wäre auch die genaue Auslösungszeit der Rutschungen. Des Weiteren ist es wichtig die Niederschlagsdatenbank zu erweitern und die bestehenden Messstellen zu modernisieren. Durch eine höhere Dichte an Niederschlagsmessstellen können Fehler bei der Niederschlagsmessung vermieden werden. Da im Untersuchungsgebiet nur der Niederschlag als auslösender Faktor angesehen wird, sollten weitere Analysen zur Ausrechnung des Niederschlagsschwellenwertes vorgenommen werden. Außerdem sollten die anthropogenen Faktoren genauer untersucht werden, dazu zählt beispielsweise die Feststellung der entwaldeten Flächen, die Überprüfung der Baugenehmigungen und Landnutzungsänderungen. In dieser Arbeit konnten keine Landnutzungsänderungen in die Analyse miteinbezogen werden, da keine Satellitendaten zur Verfügung standen.

Um genauere Ergebnisse zwischen der Geologie und den Rutschungen herzustellen, ist es notwendig genaue geologische Bohrungen im gesamten Untersuchungsgebiet vorzunehmen, damit die einzelnen Schichtabfolgen festgestellt werden können. Des Weiteren ist es sinnvoll die Bevölkerung aufzuklären, worauf beim Straßen- und Häuserbau Rücksicht genommen werden sollte, um starke Hangunterschneidungen zu vermeiden. Eine Gefährdungskarte mit mehreren Parametern würde dazu viel beisteuern.

Vor allem an Friedhöfen sollten weitere Untersuchungen gemacht werden, denn dort sind transversale Rutschungen aufgrund der geologischen Schichten besonders gut zu erkennen, denn die Gräber sind immer nach Westen ausgerichtet. Das bedeutet eine Unterscheidung von Hängen und somit kommt es zur Wasseransammlung an den Grabsteinen, wodurch es durch den gestörten Boden schneller versickert. Eine Herausforderung für weitere Arbeiten ist die Erstellung einer Gefährdungskarte, die verschiedene Parameter wie Boden, Geologie,

Niederschlag, Entfernung von der Straße und Höhe des Grundwasserspiegels berücksichtigt. Für die Erstellung einer echten Gefährdungskarte sollten auch andere Parameter, wie Grundwasserspiegel, Entfernung zur Straße oder Gesteinsschichten berücksichtigt werden. Eine bessere Auflösung wäre für weitere Untersuchungen nützlich. Dazu wäre ein digitales Geländemodell mit einer besseren Auflösung zur Ausrechnung von Hangneigung und Exposition erforderlich. Ein großes Potential im Untersuchungsgebiet hat die Fernerkundung. Ein Laserscanning wäre nützlich für das Kartieren alter Rutschungen, um festzustellen, ob es sich um Reaktivierung oder Aktivierung von Rutschungen handelt. Es gibt keine Maßnahmen zur Verhinderung von Rutschungen, es sollten aber verschiedene Maßnahmen getroffen werden, um die Schäden zu minimieren.

9 LITERATUR

AHNERT, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. UTB. Stuttgart

ANDRECS, P., MARKART, G., LANG, E., HAGEN, K., KOHL, B. und BAUER, W. (2003): Untersuchung der Rutschungsprozesse vom Mai 1999 im Laternsertal (Vorarlberg). Berichte Bundesamt und Forschungszentrum für Wald. 127: 55-87.

ALEXANDER, D. (1992): On the causes of landslides: Human activities, perception, and natural processes, *Environmental Geology*. 20 (3), 165 – 179.

BUMA, J. und ASCH, T. (1996): Soil (debris) spreading. In: Dikau et al. (Hrsg.): *Landslide recognition: Identification, movement, and causes*. Wiley. 137-148.

BOGNAR, A. (1996): Tipovi klizišta u Republici Hrvatskoj i Republici Bosni i Hercegovini - geomorfološki i geoekološki aspekti. *Acta Geographica Croatica*. 31, 27 - 39 .
BOGNAR, A. (1996). Verschiedenen Typen von Rutschungen in Kroatien und Bosnien und Herzegowina, geomorphologische und geologische Betrachtung. *Geographischer Jahresbericht*. 31, 27-39.

BOGAARD, T. (2001): Analysis of hydrological processes in unstable clayey slopes. *Netherlands Geographical Studies*, Band 287.

CAINE, N. (1980): The rainfall intensity – duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler* 62 A. S.23-26.

CASAGLI, N. (2006): Climate change and slope stability: new technologies for landslide risk management. Presentation to CLIFFS Network Workshop on Natural Slopes and Climate Change, Kingston University.

CROZIER, M.J. (1986): *Landslides: Causes, consequences and environment*. 245 S.

CRUDEN, D. UND VARNES, D.J. (1996): Landslide Types and Processes. Turner, A. K. & Schuster R.L. (Hrsg.): Landslides - Investigation and Mitigation. (National Academy Press) Washington, S.36-75.

CICIC, S. I., JOVANOVIĆ, C., MOJICEVIĆ, M. STOKIĆ, I. (1991): Tumač za list Tuzla. Savezni geološki zavod. Beograd

CICIC, S. I., JOVANOVIĆ, C., MOJICEVIĆ, M. STOKIĆ, I. (1991): Geologisches Blatt Tuzla. Geologisches Amt. Belgrad.

CICIC, S. (2002): Geološki sastav i tektonika Bosne i Hercegovine. Earth Science Institute. Sarajevo.

CICIC, S. (2002): Geologie und Tektonik Bosnien und Herzegowina. Earth Science Institute. Sarajevo

ČACKOVIĆ, I. (2003): Klizišta Tuzlanskog kantona, Civilna zaštita Tuzla. 1, 9 – 15.

ČACKOVIĆ I. (2003): Rutschungen Tuzla Kanton, Zivilschutzbehörde Tuzla. 1, 9 – 15.

CICIC, S. (1987): Prilog poznavanju geološke građe, geneze, evolucije i tektonike tuzlanskog basena sa osvrtom na prilike u slivu Jale i Soline. Geološki glasnik, Sarajevo.

CICIC, S. (1987): Kenntnisse der geologischen Struktur, Genese, Evolution und Tektonik der Tuzlasenke. Besondere Betrachtung der Einzugsgebiete von Jala und Solina. Geologischer Jahresbericht, Sarajevo.

DIKAU, R., UND GLADE, T. (2001): Gravitative Massenbewegung - vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. In Petermanns Geographische Mitteilungen 145, (6), 42-55.

DIKAU, R., UND GLADE, T. (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. Geographische Rundschau 54 (1), 38-45.

FARROKH, N., HOYDAL, R., HAUGLAND, H., McLEAN, A. (2011): Analysis of landslides triggered by anthropogenic factors in Europe. 1,2

FEDERALNI ZAVOD ZA STATISTIKU (2010): Kantoni u brojkama. Federalni zavod za statistiku.

Föderation Anstalt für Statistik (2010): Kanton in Zahlen. Statistische Föderationsanstalt.

GLADE, T. (2005): Stand, Aufgaben und Probleme der Naturrisikoforschung aus physischgeographischer Sicht. In: Muller-Mahn, D. und Wardenga, U. 2005: Möglichkeiten

und Grenzen integrativer Forschungsansätze in Physischer Geographie und Humangeographie. Heft 2, Leibniz-Institut für Landeskunde, Leipzig.

GLADE, T., und STÖTTER, J. (2008): Gravitative Massenbewegungen und Schneelawinen. Felgentreff, C. u. T. Glade (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Heidelberg. 151-163.

GOUDIE, A. (2007): Physische Geographie. Eine Einführung. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin-Heidelberg.

HOLDING SODASO TUZLA, (1985): Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji i proračunu rezervi ležišta kamene soli na Tetimi, Tuzla, Geološka služba Tuzla

HOLDING SODASO Tuzla, (1985): Studie über die Klassifizierung und Kategorisierung der Ablagerungen von Steinsalz in der Region Tuzla. Geologischer Dienst Tuzla

HOLDING SODASO TUZLA, (2001): Elaborat o klasifikaciji i kategorizaciji i proračunu rezervi ležišta kamene soli u Tuzli, Tuzla, Geološka služba Tuzla

HOLDING SODASO Tuzla, (2001): Studie über die Klassifizierung und Kategorisierung der Ablagerungen von Steinsalz in der Region Tuzla. Geologischer Dienst Tuzla

JAHIC, E. (2006): Demogeografske promjene u općini Tuzla od 1879. do 2005.godine, Odsjek za geografiju, Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Tuzli, Tuzla.

JAHIC, E. (2006): Demografische Entwicklung in Tuzla zwischen 1879 bis 2005. Naturwissenschaftliche Fakultät, Institut für Geographie. Tuzla

JASAREVIC, I. i LEBO, Z. (2002): Racionalna sanacija plitkih klizišta u glinama visoke plastičnosti, Građevinar. 54, 153 – 162.

JASAREVIC, I., UND LEBO, Z. (2002): Sanierung von Rutschungen In: Konstruktor. 54, 153 - 162.

JANJIC, M. (1979): Inžinjerska geodinamika, Rudarsko geološki fakultet. I izdanje Beograd.

JANJIC, M., (1979): Geodynamik Ingenieure, Bergbau und Geologie. Erste Auflage Belgrad.

JÄGER, S. (1997): Fallstudie zur Bewertung von Massenbewegungen als geomorphologische Naturgefahr. Heidelberg. Heft 108

IVERSON, M. R. (2000): Landslide triggering by rain infiltration. Water resources research. 36 (7), 1897–1910.

KACER, F. (1926): Geologija Bosne i Hercegovine, Direkcija državnih rudarskih preduzeća, Sarajevo.

KACER, F. (1926): Geologie Bosnien und Herzegowina, Direktion Bergbauunternehmen, Sarajevo.

KHAN Y. A., et al (2012): Critical antecedent rainfall conditions for shallow landslides in Chittagong City of Bangladesh, Env.Earth Sci. 67 (1), 97 – 106.

KLIMATOLOSKA ANALIZA 2010-Federalni Hydrometeoroloski zavod Bosne i Hercegovine. Godisnji izvjestaj za 2010.

Klimatologische Analyse 2010 Hydrographischer Dienst der Föderation Bosnien und Herzegowina. Jahresbericht 2010.

KEEFER, D. K. (1984): Landslides Caused by Earthquakes. Geological Society of America. 95, 406-421.

KRAUTER, E. (2001): Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihrer Massenbewegungen. In Grundbau-Taschenbuch Teil : Geotechnische Grundlagen (6. Aufl.), 613 - 662.

KUMAN, R., D., und HASEGAWA, SH. (2008): Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. Geomorphology, 100, 429 – 443.

LANGOF, Z. (2000): Problematika klizišta u Sarajevskom kantonu, uzroci pojave klizišta interventne sanacione mjere, Zavod za geotehniku i fundiranje Građevinskog fakulteta, Sarajevo.

LANGOF, Z. (2000): Probleme der Rutschungen im Kanton Sarajevo, die Ursachen der Rutschungen sowie geotechnische Sanierungsmaßnahmen. Stiftung für Bauingenieurwesen, Sarajevo.

LOPARIC, I. i PAHERNIK, M. (2012): Gis analysis of Landslide suscepzible areas and slope failure in the town of Lepoglava, Acta Geogr. Croatica. 38 (2010 – 2011), 35 – 58.

MANDZIC, E., SIJERIC, I. i MANDZIC, K. (2005): Katastar klizišta. Zbornik radova RGGF-a, Univerziteta u Tuzli, 29, 7 – 19.

MANDZIC E., SIJERIC, I., UND MANDZIC, K. (2005): Kataster Rutschungen, Jahresbericht RGGF-a, Universität Tuzla.. 29, 7-19.

MANDZIC, E.(2003): Fenomen tonjenja Tuzle. Stav broj 2, Tuzla.

MANDZIC, E. (2003): Phänomen der Senkung von Tuzla, Bericht Kultur und Kunst 2, Tuzla.

MARKART, G., PERZL, F.; KOHL, B., LUZIAN, R., KLEEMAYR., K., Ess, und MAYERL, J. (2007): 22nd and 23rd august 2005 – Analysis of flooding events and mass movements in selected communities of Vorarlberg. BFW-Dokumentation 5/2007, 45 pp.

MEUSBURGER, K., und ALEWELL, C. (2008): Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 509–520.

MESKOVIC, E., JAGANJAC, A., NAMKADIC, N. i ZAIMOVIC, M. (2011): Akcioni plan energetski održivog razvoja općine Tuzla, UNDP, Tuzla.

MESKOVIC, E., JAGANJAC, A., NAMKADIC, und N., ZAIMOVIC, M. (2011): Aktionsplan für Energie und nachhaltige Entwicklung von Tuzla, UNDP, Sarajevo

MERZ, B. (2006): Hochwasserrisiken. Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. Stuttgart.

MILOSEVIC, M., CALIC, J., i PANIC, M., (2009): Klizišta u kvartarnim sedimentima Belice. Glasnik srpskog geografskog društva. 89 (4), 17 – 35

MILOSEVIC, M., CALIC, J., UND PANIC, M., (2009) Rutschungen in Quartären Sedimenten in Belica. Jahresbericht geografische Gesellschaft. 89 (4), 17 – 35

MULAC, M., i MANDZIC, E. (2005): Zone ožiljaka u području slijeganja terena grada Tuzla. Zbornik radova RGGF Univerziteteta u Tuzli, 29, 27-31.

MULAC, M. und MANDZIC, E. (2005): Senkungszone in Tuzla. Jahresbericht RGGF Universität Tuzla. 29, 27-31.

MULAC, M. (2004): Hazard i rizik po stepenu razvoja klizišta i urbanističko planiranje u Tuzli, magistarski rad

MULAC, M., (2004): Gefahren und Risiken von Erdrutschen in der Entwicklung und Stadtplanung in Tuzla. Masterarbeit

MULAC, M. (2006): Klasifikacija i kategorizacija savremenih egzodinamičkih procesa i pojava na području općine Tuzla, doktorska disertacija.

MULAC, M., (2006): Klassifizierung und Kategorisierung der geomorphologischen Prozesse und Phänomene in der Gegend von Tuzla, Dissertation

MULAC, M. (2011): Stanje klizišta na području općine Tuzla sa posebnim osvrtom na pojavu odrona u naselju Crvene Njive (05.12.2010.), Društvo za geotehniku Bosne i Hercegovine, GEO – EXPO, Sanski Most. S 150-161

MULAC, M. (2011): Rutschungen in der Gegend von Tuzla mit besonderem Bezug auf das Auftreten von Rutschungen im Stadtteil Crvene Njive (05.12.2010.), Gesellschaft für Geotechnik von Bosnien und Herzegowina, GEO - EXPO), Sanski Most, S 150-161

NAKIC, Z. (2010): Geologija okoliša. Rudarsko – geološki fakultet, Zagreb.

NAKIC, Z. (2010): Geologie der Umgebung. Bergbau-Geologische Fakultät, Zagreb.

OMEROVIC, J. (2010): Turističko – geografski položaj Tuzle. Zbornik radova, Prirodno-matematičkog fakulteta Tuzla, Svezak Geografija. 8 – 9, 118 – 125.

OMEROVIC, J. (2010): Touristische geographische Lage von Tuzla. Jahresbericht Naturwissenschaften Fakultät, Band Geographie, Tuzla. 8 - 9, 118 - 125.

PROSTORNI PLAN ZA PODRUČJE TUZLANSKOG KANTONA ZA PERIOD 2005-2025. (2006), Zavod za urbanizam, Tuzla.

RAUMPLANUNG TUZLAKANTONS FÜR PERIODE 2005-2025, (2006) Stadtbau, Tuzla.

POPESCU, M.E. (1994): A suggested method for reporting landslide causes. In: Bulletin of Engineering Geology and the Environment 50, (1), 71-74.

RICKLI, C., ZÜRCHER, K., FREY, W., und LÜSCHER, P. (2002): Wirkungen des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. Schweiz. Z. Forstwes. 153 (11), 437-445

RICKLI, C., KAMM, S., und BUCHER, H., (2008): Projektbericht Ereignisanalyse 2005-Teilprojekt "Flachgründige Rutschungen", BAFU.

REDZEPOVIC, R. i FERHATBEGOVIC, Z. (2002): Kako živjeti na klizištu, Zavod za geologiju, Sarajevo.

REDZEPOVIC, R., und FERHATBEGOVIC, Z. (2002): Wie kann man auf Rutschungen leben, Geologisches Amt, Sarajevo.

ROKIC, LJ. (2011): Fizička geologija, Sarajevo.

ROKIC, LJ. (2011): Physische Geologie, Sarajevo.

SLUŽBENI GLASNIK OPĆINE TUZLA (2010): Odluka o proglašenju stanja prirodne nesreće zbog poplava i klizanja tla na području općine Tuzla. 5, 2010.

Amtsblatt der Gemeinde Tuzla (2010): Die Entscheidung um den Zustand der Naturkatastrophe durch Überschwemmungen und Erdrutsche in der Gegend von Tuzla, 5, 2010.

SMAJIC, S. (2005): Klimatske karakteristike Tuzle, Zbornik radova Prirodno-matematičkog fakulteta Tuzla, Svezak Geografija. 2, 71 - 82.

SMAJIC, S. (2005): Klimatische Eigenschaften von Tuzla, Jahresbericht der Naturwissenschaften Fakultät Tuzla, Band Geographie. 2, 71 – 82.

SZABO, J. (2003): The relationship between landslide activity and weather: examples from Hungary, Natural Hazards and Earth System Sciences. 3, 43–52.

SUGANTHI, S., SRINIVASAN, K. (2010.): Digital Elevation Model Generation and its Application in Landslide Studies Using Cartosat-1, International Journal of Geomatics and Geoscience, 1, 41-50.

TANOVIC, M. (2003): Praktični aspekt problematike klizišta na području Tuzlanskog kantona, Civilna zaštita Tuzla. 1, 6-10.

TANOVIC, M. (2003): Praktische Aspekte des Problems Rutschungen im Kanton Tuzla, Zivilschutzbehörde. 1, 6-10.

TOLL, D., G. (2006): Landslides in Singapore. Ground Engineering, April, 35-36.

VARNES, D.J. (1978): Slope movement types and processes. Landslide-Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report. 176, 11 - 33.

WIECZOREK, G.F. und GLADE, T. (2005): Climatic Factors influencing occurrence of debris flows. In: Jakob M. und Hungr O. (Hrsg.), Debris flow hazards and related phenomena. Springer, Berlin, S.325-362.

VIDOVIC, M., i VALJEVIC, R. (1974): Geološko – hidrološke odlike terena na kome je formirano klizište u Merdžićevoj ulici Tuzla. Arhiv za rudarstvo i tehnologiju 12, 3 – 4.

VIDOVIC M. und VALJEVIC R. (1974): Geologie und hydrologische Besonderheiten der Merdžićevoj Straße in Tuzla, Archives of Mining and Technology 12, 3-4.

VRABAC, S. (2007): Paleogeografija, Ars grafika, Tuzla

VRABAC, S. (2007): Paleographie, Ars Grafik, Tuzla

ZEPP, H. (2002): Grundriß Allgemeine Geographie. Geomorphologie. Schöningh, Paderborn.

ZAVOD ZA URBANIZAM (2008): Regulacioni plan područja slijeganja u Tuzli-prostorna cjelina staro gradsko područje, Zavod za urbanizam.

Internetquelle:

<http://www.fhmzbih.gov.ba/slike/klima/BH-KLIMA.jpg> Zugriff:20.06.2012

http://www.camo.ch/karta_bih. Zugriff: 15.08.2012

<http://earthexplorer.usgs.gov> Zugrif 10.10.2012

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.1.1: a). Blick auf Abrisskante einer Rutschung in Crvene Njive,	
b). Rutschungsfuß einer Rutschung in Crvene Njive	2
Abb.1.2: Zerstörtes Haus durch Rutschungen in Crvene Njive, Tuzla 2010	3
Abb.2.1: Rutschungselemente	10
Abb.2.2: Vektorparallelogramm der Schwerbeschleunigung an einem Hang.....	11
Abb.2.3: Hangunterschneidungen durch Straßenbau	15
Abb.2.4: Niederschlagsschwellenwerte aus verschiedenen Studien	17
Abb.3.1: Durchgeführte methodische Arbeitsschritte.....	18
Abb.3.2: Beispiel einer Neigungsmessung.....	20
Abb.3.3: Beschreibung der Vorgangsweise bei der Erstellung der Inventarkarte	24
Abb.4.1: Untersuchungsgebiet.....	25
Abb.4.2: Die Verteilung des Klimas in Bosnien und Herzegowina.....	27
Abb.4.3: Mittelwerte, Max, Min und durchschnittliche Temperatur 1961-2010.....	29
Abb.4.4: Jährliche Mitteltemperatur 1961-2010.....	29
Abb.4.5: Jährliche Niederschlagsmenge.....	31
Abb. 4.6: Geologische Karte von Tuzla.....	33
Abb.4.7: Hydrologische Karte des Jala Flusses und seinen Nebenflüssen.....	37
Abb.4.8: a) Medresa vor der Senkung,	
b) der nach der Senkung gebliebene Eingangsbereich.....	41
Abb.4.9: Panonikasee an der Stelle der großen Senkung a) vor der Revitalisierung,	
b) nach der Revitalisierung.....	41
Abb.6.1: Räumliche Verteilung von Rutschungen.....	46
Abb.6.2: Räumliche Verteilung von Rutschungen.....	47
Abb.6.3: Anzahl Rutschungen zwischen 1. und 5. Juni.....	48
Abb.6.4: Anzahl Rutschungen nach Gemeinde in Tuzla zwischen 1. und 5. Juni 2010.....	48
Abb.6.5: Verteilung der Rutschungen nach Hangneigung.....	49
Abb.6.6: Einteilung der Rutschungen nach Größe.....	50
Abb.6.7: Verteilung Rutschungen nach Fläche, Neigung.....	50
Abb.6.8: Verteilung Rutschungen nach Exposition.....	51

Abb.6.9: Verteilung Rutschungen nach Bodenbedeckung.....	52
Abb.6.10: Verteilung der Rutschung nach Art	52
Abb.6.11: Verteilung der Rutschungen in der Tiefe	53
Abb.6.12: Verteilung der Rutschungen auf die verschiedenen geologischen Einheiten.....	54
Abb.6.13: Niederschlagszeitreihe Tuzla 1961-2010	55
Abb.6.14: Vergleich der monatlichen Niederschläge 2010 mit dem Mittel von 1961- 2009.....	56
Abb.6.15: Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität mit Ereignissen vom 31.05-05.06.2010.....	57
Abb.6.16: Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität mit Ereignissen vom 31.05-05.06.2010.....	58
Abb.6.17: Vergleich Niederschlagsintensität- und Niederschlagsdauer.....	58
Abb.6.18: Niederschlagsschwellenwerte.....	59
Abb.6.19: Inventarkarte	62
Abb.7.1: a) Hangunterschneidung durch ein neues Haus b) Nicht Regulierung von Straßenwasser	70

TABELLENVERZEICHNIS

Tab.2.1: Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen nach Prozess- und Materialtyp.....	6
Tab.2.2: Klassifikationen der Rutschung nach Fläche und Volumen	8
Tab.2.3: Klassifikationen der Rutschung nach Geschwindigkeit.....	9
Tab.2.4: Vorbereitende, auslösende, bewegungskontrollierende Faktoren.....	13
Tab.2.5: Beispiele anthropogener Eingriffe als Wirkung und Folge.....	14
Tab.3.1: Schema der Rutschungsdaten (Beispiel).....	19
Tab.3.2: Verwendete Hilfsmittel bei der Kartierung.....	19
Tab.4.1: Mittlere monatliche Temperaturen und maximaler und minimaler Durchschnitt für den Bereich Tuzla im Zeitraum 1961 bis 2010	28
Tab.4.2: Mittlerer monatlicher Niederschlag sowie maximaler und minimaler durchschnittlicher Niederschlag für den Bereich Tuzla im Zeitraum 1961-2010.....	30
Tab.5.1: Überblick der verwendeten Daten.....	45
Tab 6.1: Anthropogene Faktoren im Untersuchungsgebiet	60

Anhang 1.

Zusammengefasste Informationen über Rutschungen

Adresse	
Gemeinde	
Datum Meldungen	
Datum Geländearbeit	

Allgemeine Information zur Rutschung

Länge	
Breite	
Fläche	☐ < 100 m ²
	☐ ≥ 100 – 1.000 m ²
	☐ ≥ 1.000 – 10.000 m ²
	☐ ≥ 10.000 m ²

Neigung der Rutschungen

Neigung	☐ < 5°
	☐ ≥ 5 – 12 °
	☐ ≥ 12 – 32 °
	☐ ≥ 32 – 55 °
	☐ ≥ 55 °

Rutschungsart

Translation	☐	Mischung(Komplex)	☐
Rotation	☐		

Tiefe

>1	☐	4 - 8	☐
1- 4	☐	< 8	☐

Geologie

Bodenbedeckung

Wiese	☐	Obstgarten	☐
Wald/Wiese	☐	Straße	☐
Ackerbau	☐	Haus	☐
Friedhof	☐	Garten	☐
Stützmauer	☐		

GPS Koordinate

Exposition

Mögliche Ursache

--

Zusätzliche Information

--

	Form

LEBENS LAUF

Persönliche Daten:

Name: Edin Mumic

Adresse: 1030 Wien, Hagenmüllergasse 33/2010

Geburtstag: 31. Dezember 1981

Geburtsort: Zvornik

Staatsbürgerschaft: Bosnisch

Bildungsgang:

1989 - 1997 Grundschule und Unterstufe, Zvornik, Tuzla

1997 - 2001 Ausbildung Gesundheit und Krankenpflege (mit Matura) Tuzla

2001 - 2002 - Deutschkurs

2002 - 2004 - Medizinische Universität Wien

Seit 2004 - Studium an der Universität Wien, Institut für Geographie und
Regionalforschung (Studienzweig Theoretische und angewandte Geographie)

Fähigkeiten und Kenntnisse:

EDV-Kenntnisse:

Microsoft Office

ArcGIS

Erda Imagine

SPSS

Adobe Photoshop

Adobe Dreamweaver