

**Vergleich verschiedener Methoden zur  
Hangsicherung auf dem Straßenabschnitt des  
Prithivi Highways zwischen Naubise und  
Mugling in Nepal**

**MASTERARBEIT**

EINGEREICHT VON

**FELIX HRDLICKA**

AUSGEFÜHRT AM

**DEPARTMENT FÜR BAUTECHNIK UND NATURGEFAHREN**

**INSTITUT FÜR GEOTECHNIK**

BETREUT VON

**UNIV. PROF. DR.-ING. WEI WU**

**DR.-ING. MADHU SUDAN ACHARYA**

WIEN, DEZEMBER 2015

## **Abstract**

In Nepal natural disasters like earthquakes, floods, mudslides and landslides cause enormous damage to life and property. The protection of the population and the infrastructure against these natural hazards is a major challenge for the Nepalese government. This work deals with the evaluation and the comparison of different methods for slope stabilization along the Prithvi highway between the villages Naubise and Mugling. The slopes in this area are mainly stabilized by gravity walls and simple bioengineering measures. Other slope stabilization measures like piles or anchors are not used for financial or technical reasons. The conventional construction methods are retaining walls of stone masonry or gabions. The assessment of the structures suggests that damages on many objects are the result of extreme rainfall in combination with poor construction quality and maintenance. These damages present no immediate danger during the dry season. However, a change in the hydrological conditions, such as the rising water table during the rainy period, could cause instabilities of retaining structures.

## Zusammenfassung

In Nepal führen Naturkatastrophen wie Erdbeben, Hochwasser, Murgänge, Hangrutschungen und andere Formen von Hanginstabilitäten Jahr für Jahr zu enormen Sachschäden und fordern zahlreiche Menschenleben. Der Schutz der Bevölkerung und der Infrastruktur vor diesen Naturgefahren stellt für die nepalesische Regierung eine große Herausforderung dar. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Bewertung und dem Vergleich verschiedener Methoden zur Hangsicherung entlang des Prithivi Highways zwischen den Dörfern Naubise und Mugling. In dieser Region werden Hänge hauptsächlich durch Schwergewichtsmauern und einfache ingenieurbio-logische Maßnahmen gesichert. Andere Methoden, wie zum Beispiel Pfahl- oder Ankerkonstruktionen, finden aus finanziellen oder technischen Gründen keine Anwendung. Übliche Bauweisen sind Stützmauern aus Natursteinmauerwerk oder Gabionen. Die Analyse der Stützkonstruktionen lässt darauf schließen, dass extreme Regenereignisse, in Kombination mit Mängel bei der Ausführung der Bauwerke und den Instandhaltungsmaßnahmen, bei vielen Objekten zu Beschädigungen führten. In der Trockenperiode stellen diese Schäden keine akute Gefahr dar. Eine Veränderung der hydrologischen Verhältnisse, wie zum Beispiel der steigende Grundwasserspiegel während der Regenperiode, könnte die Standsicherheit einiger Bauwerke gefährden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Ziele .....	1
1.3 Methodik .....	2
1.3.1 Einführung.....	2
1.3.2 Die Geländebegehung .....	3
1.3.3 Auswertung .....	4
1.4 Allgemeine Informationen über Nepal.....	5
1.4.1 Gliederung des Landes .....	6
1.4.2 Wirtschaftsstruktur .....	7
1.4.3 Infrastruktur .....	8
<b>2 Das Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>9</b>
2.1 Lage und Bevölkerung .....	9
2.2 Klima und Vegetation .....	10
2.3 Geologie und Morphologie .....	11
<b>3 Massenbewegungen .....</b>	<b>13</b>
3.1 Begriffserklärungen .....	13
3.2 Ursachen von gravitativen Massenbewegungen.....	14
3.2.1 Physikalische Grundlagen.....	15
3.2.2 Vorbereitende und auslösende Faktoren .....	20
3.3 Erscheinungsformen von gravitativen Massenbewegungen .....	23
3.3.1 Klassifizierung nach CRUDEN und VARNES .....	24
3.3.2 Bewegungsmechanismen .....	24

---

3.4	Erkennen von Massenbewegungen .....	28
3.5	Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet .....	29
<b>4</b>	<b>Methoden der Hangsicherung.....</b>	<b>30</b>
4.1	Kontrollmaßnahmen.....	31
4.1.1	Verbesserung des Böschungsgleichgewichts .....	31
4.1.2	Ingenieurbioologische Maßnahmen .....	32
4.1.3	Entwässerung .....	33
4.1.4	Böschungsverkleidungen .....	36
4.1.5	Schutzvorrichtungen .....	37
4.2	Konstruktive Stabilisierungsmaßnahmen .....	38
<b>5</b>	<b>Datensammlung .....</b>	<b>41</b>
5.1	Banded Masonry Breast Wall – Objekt 1 .....	42
5.2	Cement Masonry Breast Wall – Objekt 2 .....	47
5.3	Cement Masonry Retaining Wall – Objekt 3 .....	51
5.4	Cement Masonry Retaining Wall – Objekt 4 .....	55
5.5	Gabion Retaining Wall – Objekt 5 .....	58
5.6	Gabion Trap Wall – Objekt 6.....	63
<b>6</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>67</b>
6.1	Bewertung.....	68
6.2	Vergleich.....	74
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>75</b>
	<b>Anhang A: Slope Assessment Check Lists.....</b>	<b>77</b>
	<b>Anhang B: Auswertung der Bodenproben.....</b>	<b>118</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>130</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Übersichtskarte .....	5
Abb. 1-2: Physiographische Regionen .....	6
Abb. 2-1: Lage des Untersuchungsgebietes.....	9
Abb. 2-2: Klimadiagramm .....	10
Abb. 2-3: Prithivi Highway im Untersuchungsgebiet .....	11
Abb. 2-4: Geologisches Profil .....	12
Abb. 3-1: Auf ein Bodenteilchen wirkende Kräfte .....	15
Abb. 3-2: Resultierende aus den vier Kräften .....	16
Abb. 3-3: Einfluss der Gravitation .....	17
Abb. 3-4: Wirkung der Pflanze als Zuganker und Dübel .....	19
Abb. 3-5: Klassifizierung nach CARSON und KIRKBY .....	23
Abb. 3-6: Darstellung der Fallbewegung .....	25
Abb. 3-7: Darstellung des Kippens .....	25
Abb. 3-8: Darstellung einer Translationsrutschung.....	26
Abb. 3-9: Darstellung der Driftbewegung.....	27
Abb. 3-10: Darstellung des Kriechens .....	27
Abb. 3-11: Erkennungsmerkmale von Hangrutschungen .....	28
Abb. 3-12: Beschädigtes Stützbauwerk .....	29
Abb. 4-1: Mögliche Veränderung der Hanggeometrie .....	32
Abb. 4-2: Anordnung von French Drains .....	34
Abb. 4-3: Straßenseitige Entwässerung .....	34
Abb. 4-4: Schematische Darstellung eines Drainagegraben .....	35
Abb. 4-5: Bauweise einer Horizontaldränung .....	36
Abb. 4-6: Futtermauer aus Trockenmauerwerk .....	36
Abb. 4-7: Schutzmauer gegen Steinschlag und Felssturz .....	37

---

Abb. 4-8: Stützmauern aus Naturstein.....	39
Abb. 4-9: Stützmauern aus Gabionen .....	40
Abb. 5-1: Objekt 1 - Foto .....	42
Abb. 5-2: Objekt 1 - Schnitt durchs Bauwerk.....	42
Abb. 5-3: Objekt 1 - Schnitt durchs Gelände .....	43
Abb. 5-4: Objekt 1 – Kornverteilungskurve .....	44
Abb. 5-5: Objekt 2 – Foto.....	47
Abb. 5-6: Objekt 2 – Schnitt durchs Bauwerk .....	47
Abb. 5-7: Objekt 2 – Schnitt durchs Gelände.....	48
Abb. 5-8: Objekt 2 – Kornverteilungskurve .....	49
Abb. 5-9: Objekt 3 – Foto.....	51
Abb. 5-10: Objekt 3 – Schnitt durchs Bauwerk .....	51
Abb. 5-11: Objekt 3 – Schnitt durchs Gelände.....	52
Abb. 5-12: Objekt 3 - Kornverteilungskurve .....	53
Abb. 5-13: Objekt 4 – Foto.....	55
Abb. 5-14: Objekt 4 - Schnitt durchs Bauwerk .....	55
Abb. 5-15: Objekt 4 – Schnitt durchs Gelände.....	56
Abb. 5-16: Objekt 4 - Kornverteilungskurve .....	57
Abb. 5-17: Objekt 4 - Beschädigung.....	57
Abb. 5-18: Objekt 5 – Foto.....	59
Abb. 5-19: Objekt 5 - Schnitt durchs Bauwerk .....	59
Abb. 5-20: Objekt 5 - Schnitt A durchs Gelände .....	60
Abb. 5-21: Objekt 5 - Schnitt B durchs Gelände.....	60
Abb. 5-22: Objekt 5 - Kornverteilungskurve .....	61
Abb. 5-23: Objekt 5 - Unversiegelte Flächen .....	62
Abb. 5-24: Objekt 6 – Foto.....	63
Abb. 5-25: Objekt 6 - Schnitte durchs Bauwerk .....	63

---

Abb. 5-26: Objekt 6 - Schnitt durchs Gelände .....	64
Abb. 5-27: Objekt 6 - Kornverteilungskurve .....	64

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Externe Faktoren, die die Scherspannung erhöhen.....	20
Tabelle 3-2: Interne Faktoren, die die Scherfestigkeit reduzieren.....	21
Tabelle 3-3: Faktoren bei Massenbewegungen.....	22
Tabelle 4-1: Neigungswinkel von Einschnittsböschungen .....	30
Tabelle 6-1: Objekt 1 – Bewertung .....	68
Tabelle 6-2: Objekt 2 – Bewertung .....	69
Tabelle 6-3: Objekt 3 – Bewertung .....	70
Tabelle 6-4: Objekt 4 – Bewertung .....	71
Tabelle 6-5: Objekt 5 – Bewertung .....	72
Tabelle 6-6: Objekt 6 – Bewertung .....	73
Tabelle 6-7: Vergleich der Methoden.....	74

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Der Himalaja ist eine junge und dynamische Gebirgsformation. Nepal, inmitten des Himalajas, weist durch lokale Faktoren wie Klima, Topographie, Geologie, Landbedeckung und menschliche Eingriffe eine sehr verwundbare Landschaft auf. Jahr für Jahr führen Naturkatastrophen wie Erdbeben, Hochwasser, Murgänge, Hangrutschungen und andere Formen von Hanginstabilitäten zu enormen Sachschäden und fordern zahlreiche Menschenleben. Der Schutz der Bevölkerung und der Infrastruktur vor diesen Naturgefahren stellt für die nepalesische Regierung eine große Herausforderung dar.

Die Topografie des Untersuchungsgebietes weist große Parallelen zur Topografie Österreichs auf. Als eines der Least Developed Countries ist das Land allerdings wirtschaftlich nicht in der Lage, aufwendige Sicherungsmaßnahmen, wie sie beispielsweise in Österreich üblich sind, zu finanzieren. Seit einigen Jahren werden kostengünstige geotechnische Bauweisen in Verbindung mit ingenieurb biologischen Maßnahmen angewendet, um gefährdete Dörfer, Straßen und landwirtschaftliche Flächen abzusichern.

Im Rahmen der Masterarbeit sollen die ortsüblichen Sicherungsmaßnahmen zur Hangbeziehungsweise Böschungssicherung analysiert und bewertet werden.

## 1.2 Ziele

Das primäre Ziel dieser Arbeit ist, Methoden zur Hangsicherung, die im Untersuchungsgebiet angewendet werden, zu bewerten und miteinander zu vergleichen.

Um dieses Ziel erreichen zu können, erfolgt als erster Arbeitsschritt eine ausführliche Literaturrecherche der theoretischen Grundlagen. Die Ursachen und das Verhalten von Massenbewegungen, deren Erscheinungsformen sowie die Möglichkeiten zur Stabilisierung sollen verstanden und in den wesentlichen Punkten zusammenfassend wiedergegeben werden. Unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen im Untersuchungsland, nämlich der angespannten wirtschaftlichen Situation und der schlechten Infrastruktur, sind vor allem einfache geotechnische Bauweisen in Kombination mit ingenieurb biologischen Maßnahmen zu berücksichtigen. Während eines

Auslandsaufenthaltes in Nepal soll die Situation vor Ort kennengelernt werden. Nach der Erkundung von Hanginstabilitäten im Untersuchungsgebiet ist die Aufgabe, ortsüblichen Bauweisen zur Hangsicherung zu analysieren. Als Untersuchungsgebiet wurde der Straßenverlauf des Prithivi Highways zwischen den Dörfern Naubise und Mugling definiert. Der Prithivi Highway verbindet die Hauptstadt Kathmandu mit Pokhara, der zweitgrößten Stadt des Landes. Als eine der verkehrsstärksten Straßen Nepals hat der Prithivi Highway für die Bevölkerung eine besonders große Bedeutung. Eine Auswahl verschiedener Sicherungsmaßnahmen der Hauptverkehrsverbindung soll begutachtet und auf ihre Funktionalität, ihre Wirksamkeit und eventuelle Mängel oder Beschädigungen geprüft werden.

Die eingeholten Daten sollen die Grundlage zum Erreichen des definierten Zieles bilden, der Bewertung und des Vergleichs von Methoden zur Hangsicherung. In weiterer Folge soll die Bewertung dazu dienen, Aussagen über die Qualität der angewandten Methoden treffen zu können.

## **1.3 Methodik**

Diese Arbeit ist in sieben Kapiteln aufgebaut. Die folgenden Absätze widmen sich der Beschreibung des Aufbaus und erläutern die angewandten Methoden.

### **1.3.1 Einführung**

Die Einleitung erläutert die Problemstellung, definiert die Ziele und beschreibt die Methodik dieser Masterarbeit. Desweiteren werden grundlegende Informationen über Nepal gegeben und die allgemeine Situation, vor allem in Bezug auf die physiografischen Regionen, die Wirtschaftsstruktur und die Infrastruktur Nepals, dargestellt.

Im Anschluss wird das Untersuchungsgebiet zwischen Naubise und Mugling im Detail behandelt. Dazu zählen die geografische Abgrenzung des Untersuchungsgebietes sowie die Beschreibung der vorhandenen Infrastruktur und der wirtschaftlichen Grundlagen der Bevölkerung. Weiters werden die vorherrschenden geologischen und morphologischen Verhältnisse, das Klima und die Vegetation thematisiert.

Theoretische Grundlagen, die im Zusammenhang mit den Ursachen von Massenbewegungen stehen und zum Schreiben dieser Arbeit erforderlich waren, werden im dritten Kapitel zusammenfassend wiedergegeben. Außerdem werden die

vorbereitenden und die auslösenden Faktoren zur Mobilisierung einer Massenbewegung beschrieben und die möglichen Erscheinungsformen klassifiziert sowie deren Erkennungsmerkmale aufgezeigt. Die Grundlage dieser Literaturzusammenfassung bilden Recherchen in wissenschaftlichen Publikationen von Datenbanken (Scholar und Scopus) und in Fachliteratur aus den Universitätsbibliotheken (BOKU, TU, FH-Campus). Im Zuge des Bachelorstudiums und des Masterstudiums für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft wurde die Thematik in den Vorlesungen zu Bodenmechanik und Grundbau, Angewandte Geotechnik, Slope Engineering, Spezialtiefbau I, Spezialtiefbau II sowie Konstruktion behandelt. Eine Auflistung der verwendeten Literatur befindet sich am Ende dieser Arbeit im Literaturverzeichnis ab Seite 130.

Zum Abschluss des dritten Kapitels wird erläutert, welche Erscheinungsformen von Massenbewegungen im Zuge der Geländebegehung des Untersuchungsgebietes vorgefunden wurden. Das Erkennen von Massenbewegungen dient dazu, den Grad der Gefährdung von Menschenleben und Sachwerten zu beurteilen. Im Zuge dieser Arbeit wurde versucht, Hanginstabilitäten in Nepal zu erkunden und ortsübliche Methoden zur Hangsicherung zu analysieren. Die erforderlichen Informationen wurden gemeinsam mit fünf Kollegen im Zuge eines vierwöchigen Forschungsaufenthaltes in Nepal eingeholt.

### **1.3.2 Die Geländebegehung**

Die Untersuchungen fanden im April, also am Ende der halbjährlichen Trockenperiode, statt. Auf dem Streckenverlauf des Prithivi Highways zwischen den Dörfern Naubise und Mugling wurden insgesamt 36 Sicherungsmaßnahmen der Straße ausgewählt und im Zuge einer Geländebegehung visuell analysiert. Um eine Grundlage für die schlussendliche Bewertung zu haben, wurden Objekte mit Beschädigungen, Mängeln oder eingeschränkter Stützwirkung bei der Auswahl bevorzugt. Die Analyse der Sicherungsmaßnahmen wurde vorrangig mit Hilfe der Slope Assessment Check List durchgeführt. Dieses Protokoll wurde von der nepalesischen Straßenbaubehörde (Department of Roads) entworfen, um Sicherungsmaßnahmen und deren Umgebung zu beschreiben, zu bewerten und auf eventuelle Schäden, Mängel oder Gefährdungen hinzuweisen. Neben den Details zum Bauwerk enthält das Protokoll unter anderem eine umfassende Beschreibung des anstehenden Geländes, der Vegetation, der hydrologischen Verhältnisse, der Mechanismen von eventuellen Massenbewegungen und der Problemhistorie. Der genaue Inhalt dieses Dokuments ist im Anhang der Arbeit

zu finden. Zusätzlich zur Protokollierung wurden Vermessungsarbeiten durchgeführt, relevante Informationen des Bauwerks und des anstehenden Geländes in Feldskizzen dokumentiert, der Ort mittels GPS positioniert und Bodenproben entnommen. Die Bodenproben wurden mit einem Stechzylinder bei jedem Bauwerk entnommen. Das Gewicht der Proben wurde noch vor Ort gewogen, musste aber für den Transport nach Österreich aus dem Zylinder genommen und luftdicht verpackt werden. Es handelt sich daher um gestörte Bodenproben mit bekanntem Volumen und Gewicht, die im Anschluss des Forschungsaufenthaltes im Erdbaulabor des Institutes für Geotechnik durch eine Siebanalyse und im Aräometerverfahren klassifiziert wurden. Die Vermessung der analysierten Objekte erfolgte mit Rollmetern und Hand-Inklinometern. Aufwändige Untersuchungsmaßnahmen, wie zum Beispiel die Auswertung von Luftbildern, das Untersuchen von Bohrproben oder Messungen in Bohrlöchern, konnten im Zuge dieser Arbeit nicht durchgeführt werden.

In dieser Arbeit werden in weiterer Folge sechs dieser Sicherungsmaßnahmen behandelt.

### **1.3.3 Auswertung**

Üblich Methoden zur Hangsicherung und ihre Bauart werden im vierten Kapitel allgemein beschrieben. Neben Fachliteratur aus den Bibliotheken dienten Handbücher der nepalesischen Straßenbaubehörde (Department of Roads) als Grundlage für die Beschreibung der Bauweisen und für die Darstellung der Regelquerschnitte nach allgemeinen Richtlinien. Bedingt durch die Vielzahl an Möglichkeiten behandelt diese Arbeit nur jene Maßnahmen genauer, die im Untersuchungsgebiet Anwendung finden. Zur Vollständigkeit werden auch Maßnahmen erwähnt, die in Nepal nicht angewendet werden, aber dem Stand der Technik entsprechen.

Das fünfte Kapitel ist eine Datensammlung der wichtigsten eingeholten Informationen der Geländebegehung. Die Sicherungsmaßnahmen und ihre Umgebung werden genau beschrieben und qualitativ analysiert. In diesem Teil soll weiters auf eventuelle Mängel der Bauwerke hingewiesen werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit bilden die Bewertung und der Vergleich der verschiedenen Sicherungsmaßnahmen. Um eine Bewertung durchführen zu können, werden Kriterien festgelegt, die im Schulnotensystem zu bewerten sind. Die Maßnahmen werden sowohl in technischer, wirtschaftlicher, als auch in sozialer Hinsicht bewertet. Dabei sind die

angespannte wirtschaftliche Situation, die schlechte Infrastruktur sowie das Fehlen von modernen Gerätschaften zu berücksichtigen. Maßnahmen, die einen großen Einsatz von modernen Maschinen, Elektrizität, Beton oder Stahl erfordern, sind in Nepal nur schwer realisierbar. Mit den Ergebnissen der Bewertung soll der Vergleich durchgeführt werden. Dabei werden sowohl die allgemeinen Bewertungsergebnisse der verschiedenen Sicherungsmaßnahmen, als auch die Einzelergebnisse der unterschiedlichen Bewertungskriterien miteinander verglichen.

Als Abschluss dieser Arbeit wird in der Schlussfolgerung versucht, eine Aussage über die Qualität der angewandten Methoden zur Hangsicherung im Untersuchungsgebiet zu tätigen.

## 1.4 Allgemeine Informationen über Nepal

Nepal ist ein Binnenstaat in Südasien mit einer Fläche von 147.181 km<sup>2</sup>. Die Bundesrepublik erstreckt sich vom 80. bis zum 88. östlichen Längengrad und vom 26. bis zum 30. nördlichen Breitengrad. Im Norden grenzt Nepal an China, im Süden, Westen und Osten an Indien.



Abb. 1-1: Übersichtskarte (La Historia Con Mapas 2015)

Das Land ist von seiner Lage inmitten des Himalaja-Gebirges geprägt, dessen Entstehung mit der Loslösung der indischen Platte vom damaligen Großkontinent Gondwana vor rund 200 Millionen Jahren seinen Anfang nahm. Rund 6400 km driftete die indische Platte nach Norden, ehe sie vor 40 bis 45 Millionen Jahren mit der eurasischen Platte kollidierte und die Bildung des Himalajas einleitete. Die Verschiebung der Platten dauert bis heute an, wodurch sich das junge Faltengebirge weiterhin im Hebungsprozess befindet. Heftige Erdbeben wie zuletzt 2015 mit zahlreichen Toten und enormen Sachschäden sind Auswirkungen dieser geologischen Aktivitäten. (Walter 2003: S.258-262)

### 1.4.1 Gliederung des Landes

Parallel zum Himalaja-Gebirge erstreckt sich das Land von West nach Ost über eine Distanz von rund 800 km. Die durchschnittliche Nord-Süd-Ausdehnung beträgt rund 193km, wobei die Seehöhe über diese Distanz von über 8.800m im Norden bis auf 68m im Süden abfällt. Im Norden befinden sich acht der weltweit 14 Achttausender. (Ertl 2003: S.5) Mit der stark abfallenden Höhenlage verändern sich nicht nur Naturräume über kurze Strecken rapide. Auch sozioökonomische, kulturelle und ethnische Gegebenheiten des Landes verändern sich mit der Höhenlage. (Nepal-Information 2015) Physiographisch lässt sich Nepal in fünf Regionen unterteilen. Diese verlaufen parallel zur Himalaja-Achse und unterscheiden sich unter anderem in Klima, Geologie, Morphologie, Boden und Landnutzung stark. (Lammeranner 2002: S.6)

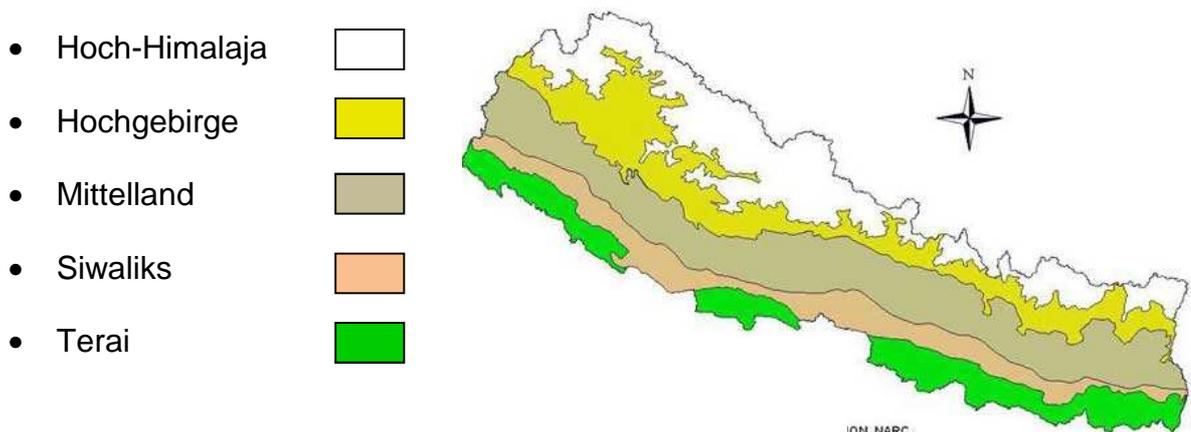


Abb. 1-2: Physiographische Regionen (NARC 2015)

Im kleinen Maßstab wird das Klima durch jahreszeitliche Temperaturschwankungen, örtlichen Niederschlagsverhältnissen, der Höhenlage und den lokalen topografischen Verhältnissen geprägt. Im großen Maßstab wird das Klima Nepals durch Monsun-Niederschläge stark beeinflusst. Während der von Juni bis Anfang/Mitte September andauernden Monsunzeit kommt es in ganz Nepal zu anhaltenden Regenfällen, die in der Folge auch zu plötzlich auftretenden Überschwemmungen und Massenbewegungen führen können. (Scott et al. 1986: S.31)

Die politische Gliederung Nepals erfolgt über die geographische Teilung in die Ost-, Zentral-, West-, Mittelwest und Fernwest-Region. Die Regionen sind in insgesamt 75 politische Bezirke aufgegliedert.

### 1.4.2 Wirtschaftsstruktur

Zum Stichtag der Volkszählung von 1911 lebten in Nepal rund 5,6 Millionen Menschen, 1941 waren es 6,2 Millionen. Wachstumsraten bis zu 2,6 % bescherten Nepal danach einen rasanten Bevölkerungszuwachs. Bis zur Volkszählung 2011 vervielfachte sich die Einwohnerzahl auf 26,5 Millionen Menschen bei einer aktuellen Wachstumsrate von rund 1,35 %. (National Population and Housing Census 2011: S.05) Nohlen (2000: S.549) prognostiziert Nepal bis zum Jahr 2050 ein weiteres Bevölkerungswachstum auf 53,6 Millionen Einwohner. Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte beträgt rund 180 Einwohner pro km<sup>2</sup> und ist damit wesentlich geringer als beispielsweise im Nachbarland Indien. Bedingt durch die landschaftlichen Gegebenheiten verteilt sich die Bevölkerung aber sehr unterschiedlich. Auf einem Gebiet, das 17 % der Gesamtfläche Nepals ausmacht, leben im flachen Terai an der Grenze zu Indien 50 % der Bevölkerung. In den Zonen des Mittellandes und des Hochgebirges, die etwa 68% der Landfläche ausmachen, beträgt der Bevölkerungsanteil 43 %. Die bewohnbaren Täler im Zentralhimalaja sind nur undicht besiedelt. Am größten ist die Bevölkerungsdichte in der Hauptstadt Kathmandu mit den umliegenden Ballungszentren des Kathmandu-Tals. (National Population and Housing Census 2011: S.39) Haupteinnahmequelle für 68 % der Erwerbstätigen ist die Landwirtschaft, wobei die Produktion weitgehend von Subsistenzwirtschaft geprägt ist. Der Großteil der landwirtschaftlichen Flächen befindet sich in den fruchtbaren Regionen der Ganges-Tiefebene, dem Terai. (GIZ 2015) Über 80 % der Landfläche Nepals liegt aber im Gebirge. Die Flächen im gebirgigen Mittelland und im Hochgebirge, Heimat von 43 % der Gesamtbevölkerung, sind nur teilweise für den Ackerbau geeignet. Steile Hänge können oft nur durch künstlich angelegte Terrassen oder gar nicht ackerbaulich bewirtschaftet werden. Die Topografie des Landes lässt einen Ausbau der landwirtschaftlichen Flächen kaum zu. Der wachsende Bevölkerungsdruck zwingt die Landwirte zu einer intensiven Landnutzung, zur Überweidung und zur Rodung von Wäldern. Folgeprobleme wie Ertragsschwankungen, Bodenerosion und Massenbewegungen bedrohen Ernte und Bevölkerung. (Shrestha et al. 2003: S.2) Neben der Landwirtschaft gilt der Tourismus als wichtiger Wirtschaftssektor. Die Bedeutung der Industrie ist geringer. Fehlende Kaufkraft der Bevölkerung, starke Konkurrenz aus Indien, mangelhafte Infrastruktur und die unzureichende Stromversorgung behindern die Entwicklung des Sektors. Großes Potenzial sieht man in der Energiewirtschaft durch die Stromerzeugung mit Wasserkraft. (GIZ 2015) Mit

einem Bruttonationaleinkommen von 730 US-\$ je Einwohner zählt Nepal zu den Least Developed Countries.

### **1.4.3 Infrastruktur**

Große Teile des Landes sind nicht ans Straßennetz angebunden und somit nur zu Fuß erreichbar. Die wichtigsten motorisierten Transportmittel in Nepal sind Straßenfahrzeuge und Flugzeuge. Mit einer totalen Länge des Straßennetzes von 12.500 km beträgt die durchschnittliche Netzdichte weniger als 10 km pro 100 km<sup>2</sup> Fläche. (DOR 2014B: S.03) 2.130 Personen teilen sich im Durchschnitt einen Kilometer Straße, wobei rund die Hälfte der Straßen unbefestigte Erd- und Schotterpisten ausmachen. In der Regenzeit sind diese Pisten oft unbefahrbar und ganze Täler vom Straßennetz abgeschnitten. Befestigte Straßen, welche die größten Städte des Landes untereinander und mit Grenzstädten in Indien und China verbinden, sind maximal zweispurig ausgebaut. (DOR 2014B: S.03) Durch die große Bedeutung des Straßenverkehrs und die geringe Dichte des Straßennetzes, in dem adäquate Ausweichrouten meist nicht vorhanden sind, spielen Bauwerke, die dem Schutz und der Funktionalität der Straßen dienen, eine große Rolle. Das Eisenbahnnetz mit einer Länge von 30 km besteht aus zwei Linien und verbindet Städte im Süden Nepals mit Grenzstädten des Nachbarlandes Indien.

## 2 Das Untersuchungsgebiet

Der Prithivi Highway ist die Hauptverkehrsverbindung zwischen der Hauptstadt Kathmandu und Pokhara, der zweitgrößten Stadt des Landes, und dient als wichtige Transportroute für Güter und Personen. Auch für den Tourismus ist sie von großer Bedeutung, da die Städte Kathmandu und Pokhara wichtige Sehenswürdigkeiten beheimaten und als Ausgangspunkt zahlreicher touristischer Aktivitäten dienen. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bezirk Dhading und verläuft 84 km entlang dieser Straße in der Zentral-Region Nepals.

### 2.1 Lage und Bevölkerung



**Abb. 2-1: Lage des Untersuchungsgebietes**

Der Prithivi Highway verlässt das Kathmandu-Tal Richtung Westen über einen 1400m hohen Pass. Die Stadt Naubise, auf einer Seehöhe von 940m, ist der östliche Beginn des Untersuchungsgebietes. Danach fällt das Gelände stark ab, ehe der Straßenverlauf kurz vor der Stadt Galchhi (420m) im Tal

des Trishuli-Flusses mündet. Ab Galchhi folgt der Straßenverlauf dem Südufer des Flusses rund 58 km bis zum westlichen Ende des Untersuchungsgebietes nahe der Stadt Mugling, welche auf einer Seehöhe von 275m liegt. Nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet ist die Straße zweispurig ausgebaut und mit einer Asphaltdecke befestigt. Über die gesamte Distanz von 84km gibt es nur eine Straßenbrücke ans nördliche Ufer des Trishuli-Flusses. An dieser Stelle befindet sich eine weitere befestigte Straße Richtung Norden mit einer Länge von 16km. Neben dem Prithivi Highway ist das die einzige asphaltierte Straße im gesamten Bezirk Dhading. Vergleicht man die Fläche des Bezirks von 1.926km und die Einwohnerzahl von 336.000 mit der Länge des befestigten Straßennetzes, ergibt sich eine Netzdichte von 47m Straße pro km<sup>2</sup> bzw. 0,27m Straße pro Person. (Population Monograph of Nepal - Volume III 2014: S.34, 282) Diese Zahlen verdeutlichen die große Bedeutung der wenigen Straßen sowie der Sicherungsmaßnahmen zum Erhalt und zum Schutz dergleichen.

Im Bezirk Dhading leben rund 12% der Einwohner in urbaner Siedlungsstruktur. (Population Monograph of Nepal - Volume III 2014: S.114) Abgesehen von Dhading

Besi liegen alle großen Städte des Bezirks entlang des Prithivi Highways. Die restliche Bevölkerung verteilt sich auf kleine Siedlungen beziehungsweise Streusiedlungen, die zum Großteil nicht an das öffentliche Straßennetz angebunden sind. Die Siedlungen am nördlichen Ufer des Trishuli-Flusses sind über weite Strecken nur durch Fußgängerbrücken oder Materialseilbahnen mit dem Straßennetz verbunden.

Haupteinnahmequelle im Untersuchungsgebiet ist die Landwirtschaft und der Dienstleistungssektor. 80-90% der Einwohner im Bezirk leben vom Vieh- und Ackerbau, wobei die Produktion meist von Subsistenzwirtschaft geprägt ist. (Population Monograph of Nepal - Volume I 2014: S.188) Die aufwendige Bewirtschaftung des steilen Geländes ohne moderne Gerätschaften, schlechte Infrastruktur, hohe Rohstoffpreise sowie Ertragsschwankungen bedingt durch die intensive Landnutzung oder Naturereignisse, machen die Landwirtschaft zu einem wenig profitablen Geschäft. Die Bedeutung der Straße hat eine hohe Verkehrsstärke zur Folge. Bedingt durch die hohe Anzahl an durchreisenden Personen, ist der Dienstleistungssektor im Untersuchungsgebiet ebenfalls ein starker Wirtschaftszweig. Restaurants und Lebensmittelgeschäfte prägen die Stadtbilder entlang des Prihitvi Highways.

## 2.2 Klima und Vegetation

Im Untersuchungsgebiet herrscht sommerfeuchtes, subtropisches Klima bei einer jährlichen Durchschnittstemperatur von 22,8°C und Niederschlagsmengen von 2330mm. Der wärmste Monat ist der Juni mit durchschnittlich 27,8°C. Der kälteste der Wintermonate ist der Januar mit einer mittleren Temperatur von 15°C.

Während der von Juni bis September andauernden Monsunzeit kommt es zu

anhaltenden Regenfällen, die für über 80 % des jährlichen Niederschlags verantwortlich sind. Der Höhepunkt dieser Regenperiode liegt im Juli mit durchschnittlich 600mm Niederschlag. In der Monsunzeit kommt es im Untersuchungsgebiet häufig zu Starkniederschlägen, die mit Spitzenwerten von 240mm/d dokumentiert sind.

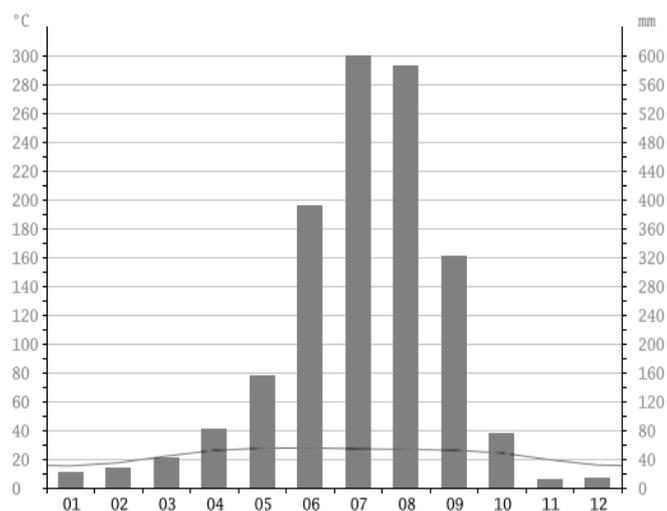


Abb. 2-2: Klimadiagramm

(Marahatta et al. 2009: S.50) Die Wintermonate hingegen verlaufen nahezu trocken. (Climate Data 2015)

Unter diesen Bedingungen wachsen im Untersuchungsgebiet artenreiche Laubwälder, die die Hangflanken bedecken. Die große Bedeutung der Landwirtschaft führt zu einer intensiven Landnutzung. Ebene, nicht bebaute Flächen der Talsohle werden acker- und gartenbaulich genutzt. Da diese Flächen allerdings rar sind, werden auch steilere Flächen bewirtschaftet. Große Teile der steilen Hangflanken wurden durch den Terrassenbau nutzbar gemacht. Zu den wichtigsten Produkten der Region zählen Reis, Kartoffeln, Getreide und Mais sowie diverse Obstsorten.

### 2.3 Geologie und Morphologie

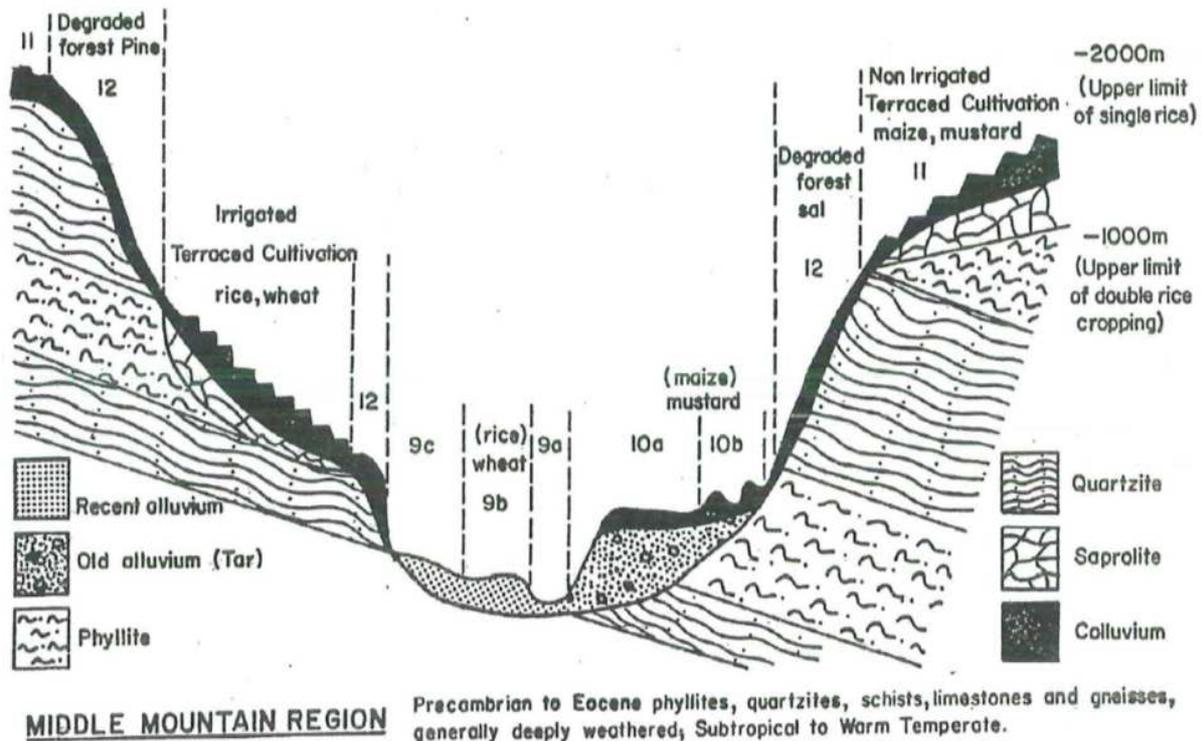
Die Verwerfungszone MBT (Main Boundary Fault) ist eine der aktivsten Störzonen des Himalajas. Sie bildet die Grenze zwischen den physiographischen Regionen Siwalik und dem Mittelland. Das Untersuchungsgebiet liegt zur Gänze im Mittelland und verläuft nördlich der MBT-Verwerfungszone. Dieses Gebiet ist der geologischen Nuwakot-Gruppe zuzuordnen. Typisch für diese Region sind sand-, ton- oder kalkhaltige Metamorphite und Sedimentgesteine, deren Trennflächen meist parallel zur Geländeoberfläche verlaufen. Die häufigsten Vertreter sind Phyllite, Quarzite, Glimmerschiefer und Karbonatgesteine. (Scott et al. 1986: S.56) Das Festgestein wird im Untersuchungsgebiet von einer kolluvialen Schicht aus Lockergestein überdeckt. (Dijkshoorn und Huting 2009: S.17) Die schluffigen und sandigen Böden dieser Schicht besitzen eine geringe Mächtigkeit im Bereich von Dezimetern bis Metern und gelten grundsätzlich als wasserdurchlässig. Die Trennfläche zwischen Festgestein und Lockergestein bildet an vielen Stellen eine potentielle Gleitfläche für die Entstehung von Massenbewegungen.



Im Untersuchungsgebiet folgt der Prithivi Highway dem Südufer des Trishuli Flusses durch ein Kerbtal. Mäßig steile bis steile Hangflanken grenzen unmittelbar an den gestreckten Flusslauf. Frühere Abflüsse bildeten an den wenigen Breitstellen der Talsohle Flussterrassen, welche heute Platz für

Abb. 2-3: Prithivi Highway im Untersuchungsgebiet

landwirtschaftliche Nutzung und Siedlungsstrukturen bieten. Durch das Fehlen von Tunnel- und aufwendigen Brückenbauwerken findet man einen von engen Radien geprägten Straßenverlauf vor. Auf Höhenlagen zwischen 940m und 250m verläuft die Straße meist mit mäßigen Längsneigungen.



Land System	Landform	Land Unit	Dominant Soils	Dominant Slopes	Dominant Texture	Seasonal Range of Depth to Water Table	Drainage
9	Alluvial Plains and Fans (depositional)	9a river channel	Psamment Ustorthents	<1°	Fragmental Sandy	0 - 2m	variable
		9b alluvial plains	Ustifluvents Fluvaquents Ustochrepts	<1°	Loamy/ Bouldery	0 - 2m	well
		9c alluvial fans	Ustochrepts Haplustalfs	1 - 5°	Loamy/ Bouldery	1 - 15m	well
10	Ancient Lake and River Terraces (Tars) (erosional)	10a non-dissected	Typic & Rhodic Haplustalfs Ustochrepts	0 - 5°	Loamy	> 2m	well
		10b dissected	"	0 - 5°	Loamy	> 2m	well
11	Moderately to Steeply Sloping Mountainous Terrain		Typic, Rhodic, Udic, Anthropic Subgroups of Ustochrepts Dystrochrepts Haplumbrepts	< 30°	Loamy Skeletal	> 50cm to bedrock	moderately well to well
12	Steeply to Very Steeply Sloping Mountainous Terrain		Lithic Subgroups of Il and Ustorthents	> 30°	Loamy Skeletal	< 50cm to bedrock	well

Abb. 2-4: Geologisches Profil (Dijkshoorn und Huting 2009: S.17)

### 3 Massenbewegungen

Im folgenden Kapitel werden theoretische Grundlagen, die in Zusammenhang mit Massenbewegungen stehen, erläutert. Nach einer Begriffserklärung sollen die vorbereitenden und auslösenden Faktoren bestimmt und die Erscheinungsformen von Massenbewegungen klassifiziert werden.

#### 3.1 Begriffserklärungen

Zunächst soll der Begriff des Hanges definiert werden. KRAUTER (2001: S.613) beschreibt Hänge und Böschungen folgendermaßen:

*„Natürliche Böschungen, auch als Hänge bezeichnet, sind geneigte Geländeflächen, die durch endogene und exogene geodynamische Prozesse entstanden sind. Dazu zählen auch die Uferböschungen an fließenden und stehenden Gewässern. Sind geneigte Geländeflächen durch technische Eingriffe hergestellt, werden sie als Böschungen oder künstliche Böschungen bezeichnet.“*

Zu den bestimmenden Faktoren für die Geometrie von Hängen zählen nach KRAUTER (2001: S.614) die Gesteinsart, Lagerungsverhältnisse, Trennflächen, rezente Tektonik, Wasser, Verwitterung, Exposition, Relief und die Zeit. Nach ihrer Neigung können Hänge in Kategorien eingeteilt werden.

- Extrem flacher Hang: 3 - 5°
- Flachhang: 5 - 15°
- Mäßig steiler Hang: 15 - 40°
- Steilhang: 40 - 90°
- Übersteiler Hang: > 90°

Für den Begriff der Massenbewegung, auch Hangbewegung genannt, gibt es eine Vielzahl an Definitionen. Aus den verschiedenen Definitionen wird jene von CRUDEN (1991: S.27) zitiert, welche das Thema in aller Kürze beschreibt:

*„A movement of a mass of rock, earth or debris down a slope.“*

FINLAYSON und STATHAN (1980) (aus Böhm 1996: S.10) definieren Massenbewegungen als Bewegung von Gestein und Lockermaterial unter Einfluss der

Gravitation und schließen Bewegungen durch Transport von fließendem Wasser, Wind und Gletschereis aus.

*„Mass movement is the movement of rock and soil debris downslope under the influence of gravity and without the aid of flowing water, wind or glacier ice.“*

BUNZA (1992: S.96) unterscheidet in weiterer Folge Massenselbstbewegung und Massentransport. Gravitative Prozesse zählen zu den Massenselbstbewegungen. Es ist anzumerken, dass im weiteren Verlauf dieser Arbeit ausschließlich gravitative Bewegungen behandelt werden, auch wenn diese vereinfacht als Massenbewegungen oder Hangbewegungen bezeichnet werden.

Eine Mure ist eine breiige Masse aus Wasser, Grob- und Feinmaterial. Die fließende Abwärtsbewegung von Murgängen folgt hydraulischen Fließgesetzen und wird somit von den gravitativen Prozessen differenziert. (Glade und Dikau 2001: S.42-55)

### **3.2 Ursachen von gravitativen Massenbewegungen**

Die Ausprägung einer gravitativen Massenbewegung wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. TERZAGHI (1950: S.88) beschreibt die einfließenden Faktoren einer Massenbewegung als Ursachenkomplex aus Morphologie (Höhe, Neigung, Form), Geologie (Gestein, Lagerung, Trennflächen, Tektonik, Erdbeben), Hydrogeologie (Einzugsgebiet, Wasserwegsamkeit, Grundwasserstand), Klima (Niederschlag, Temperatur, Exposition), Vegetation und Zeit.

Im Allgemeinen entstehen Massenbewegungen durch die Veränderung der Gleichgewichtsbedingungen. Treibende Kräfte werden den rückhaltenden Kräften gegenübergestellt. Maßgebend für die Instabilität von Hängen und somit für die Auslösung von Massenbewegungen ist das Verhältnis aus den rückhaltenden und den treibenden Kräften. Der Quotient dieser beiden Kräfte zueinander ergibt den Sicherheitsfaktor  $\eta$ , mit welchem das Maß der Hangstabilität ausgedrückt wird. (Zepp 2014: S.104)

$$\eta = \frac{\text{rückhaltende Kräfte}}{\text{treibende Kräfte}}$$

Erreicht der Sicherheitsfaktor Werte  $> 1$  ist der Hang stabil, während er bei Werten  $< 1$  instabil ist. (Lang et al. 2007: S.123)

### 3.2.1 Physikalische Grundlagen

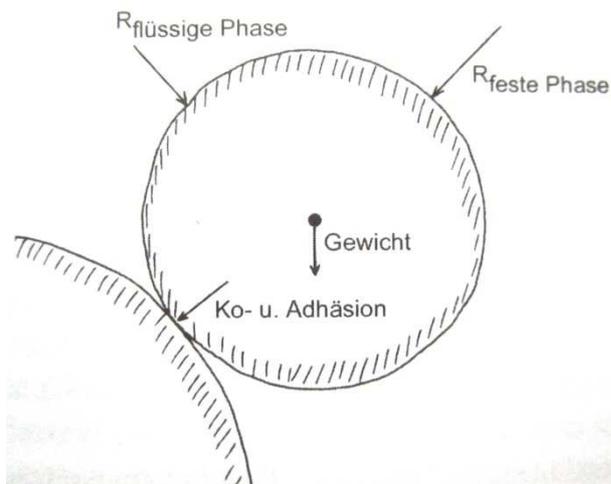
An dieser Stelle werden die wichtigsten physikalischen Einflussgrößen beschrieben, die zur Hangstabilität beziehungsweise Hanginstabilität beitragen.

#### *Kräfte*system im Boden

HARTKE und HORN (1999: S.43-45) beschreiben das Kräfte

system im Boden durch vier Kräftegruppen und stellen diese als Vektoren dar.

- Gewichtskraft
- Über feste Phase übertragene Kräfte
- Über flüssige oder gasförmige Phase übertragene Kräfte
- Kohäsions- und Adhäsionskräfte



**Abb. 3-1: Auf ein Bodenteilchen wirkende Kräfte**

Bodenschichten, Bauwerken oder der Vegetation, aber auch um veränderliche Nutzlasten. Darunter fallen vorübergehende Gewichtskräfte, zum Beispiel von Lebewesen oder Fahrzeugen. Jede dieser Kräfte stellt eine Resultierende aus mehreren Komponenten dar, welche meist so gerichtet ist, dass eine Dichtlagerung gefördert wird.

Die Zwischenräume zwischen den Bodenteilchen sind stets mit Wasser oder Luft gefüllt. Über diese flüssige oder gasförmige Phase übertragene Kräfte sind komplexer Natur. Die Wechselwirkung zwischen Boden und Wasser führt zu

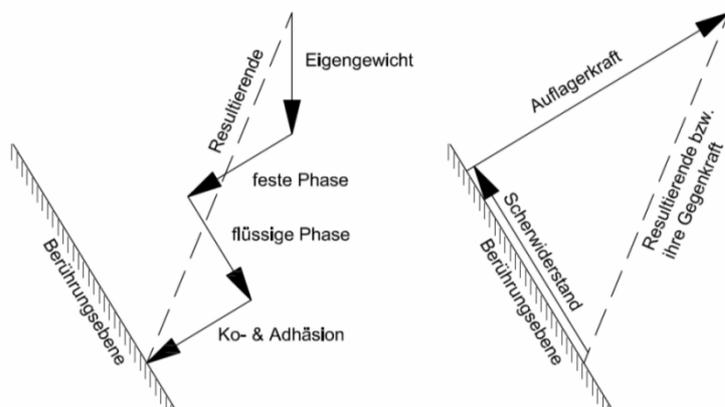
Die Wirkung der Gewichtskraft wird im nächsten Absatz genauer behandelt. Durch die resultierende Wirkung Richtung Erdmittelpunkt fördert die Gewichtskraft meist die Dichtlagerung des Bodens.

Über die feste Phase übertragene Kräfte wirken über die Kontaktpunkte zu anderen Bodenteilchen und sind in der Richtung variabel. Es handelt sich dabei einerseits um die ständig wirkenden Lasten, also Gewichtskräfte von höher liegenden

Adsorptionsmechanismen, Flockungs- und Peptisationsvorgängen, Quellungen, Schrumpfungen, statischem Wasserdruck und Strömungsdruck. Die Resultierende dieser Kräfte wirkt innerhalb des Bodenverbandes in verschiedene Richtungen.

Kohäsions- und Adhäsionskräfte treten zwischen den Oberflächen benachbarter Bodenteilchen auf. Sie wirken an den Kontaktflächen stets normal zur Berührungsebene. Diese intermolekularen Effekte sind von den chemischen und den chemisch-physikalischen Eigenschaften abhängig, zum Beispiel der Art der austauschbaren Ionen, dem Salzgehalt, dem Wassergehalt und der Art der organischen Substanzen. Man unterscheidet zwischen echter und scheinbarer Kohäsion. Echte Kohäsion beschreibt die Wirkung der Oberflächenkräfte zwischen den Bodenteilchen bindiger Böden. Scheinbare Kohäsion beschreibt den Zusammenhalt nicht bindiger Böden durch Kapillarspannungen des Porenwassers. (Lexikon der Geowissenschaften) Diese Kapillarspannung verursacht ein Aneinanderdrücken des Bodens und erhöht damit die Scherfestigkeit. Scheinbare Kohäsionskräfte verschwinden bei ausgetrockneten sowie bei wassergesättigten Böden durch den Wegfall der Kapillarspannung. (Ahnert 2003: S.127)

An jedem Bodenteilchen greift eine Resultierende aus den vier Kräftegruppen an. Der Betrag dieser Resultierenden ist im Regelfall ungleich Null, wodurch das Bodenteilchen eine Richtungsänderung erfahren müsste. Verhindert wird diese Bewegung durch wirksam werdende Reaktionskräfte, bestehend aus zwei Komponenten: der Auflagerkraft und dem Schwerwiderstand.



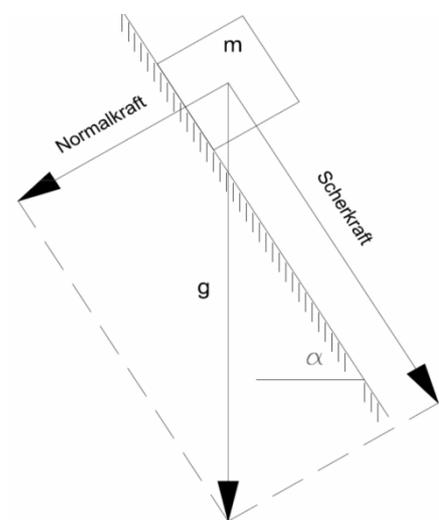
Die Auflagerkraft beschreibt die normale Komponente der wirkenden Reaktionskraft. Sie wird von den berührten Körnern mobilisiert und leistet Widerstand gegen eine Verlagerung in Richtung der Flächennormalen.

**Abb. 3-2: Resultierende aus den vier Kräften**

Als Scherwiderstand des Bodens bezeichnet man jene Kraft, die entsteht, wenn zwei Körper an der Berührungsstelle gegeneinander bewegt werden. Der Schwerwiderstand beschreibt die tangentielle Komponente der Reaktionskraft. Er ist abhängig von der Größe der Auflast, welche die Körper gegeneinander bewegt sowie von den Eigenschaften der sich berührenden Oberflächen. In der Bodenmechanik werden die eigentlichen Materialeigenschaften als Scherparameter bezeichnet und bestehen aus der Kohäsion und dem Winkel der inneren Reibung, welcher eine Funktion der Kornform und der Lagerungsart des Materials ist. (Hartke und Horn 1999: S.43-45)

### ***Einfluss der Gravitation***

Alle Substanzen an der Erdoberfläche unterliegen der Gravitation und sind Funktionen der Fallbeschleunigung  $g$  und der Masse  $m$ . Materialbewegungen finden im Allgemeinen parallel zum Hang statt. Daher ist es sinnvoll, die nach unten gerichtete Fallbeschleunigung in zwei Komponenten zu zerlegen: der Scherkraft und der Normalkraft. Bezogen auf die Flächeneinheit und die Masseneinheit bezeichnet man die Scherkraft als Scherspannung  $\tau$  und die Normalkraft als Normalspannung  $\sigma$ . (Ahnert 2003: S.124) In einschlägiger Literatur wird die Scherspannung auch als Schubspannung und die Normalkraft auch als Druckkraft bezeichnet.



**Abb. 3-3: Einfluss der Gravitation**

Aus Abbildung 3-3 wird ersichtlich, dass die Scherspannung hangparallel und die Normalspannung im rechten Winkel zur Geländeoberfläche wirkt.

### ***Plastisches und viskoses Fließen***

Unter plastischem Fließen versteht man einen Bewegungsvorgang von Lockermaterial, der erst dann eintritt, wenn die Scherspannung einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. (Ahnert 2003: S.125) Dieser Schwellenwert wird als Grenzscherspannung  $\tau$  bezeichnet und durch das Coulomb-Gesetz beschrieben, benannt nach dem Urheber C. A. Coulomb (1776).

$$\tau = \sigma * \tan(\phi) + c$$

Nach diesem Gesetz ist die Grenzscherspannung  $\tau$  eine Funktion aus der Normalspannung  $\sigma$ , der Kohäsion  $c$  und dem Reibungswinkel  $\phi$ . Der Reibungswinkel beschreibt den Neigungswinkel  $\alpha$ , bei dem eine kohäsionslose Lockermasse in Bewegung gerät. Dieses Ereignis tritt ein, wenn die einwirkende Scherspannung den inneren Reibungswinkel überschreitet. (Gudehus 1981: S. 103)

AHNERT (2003: S. 125) beschreibt das Coulomb-Gesetz mit folgenden Worten:

*„Die für die Massenbewegung notwendige Grenzscherspannung ist bei konstantem Reibungswinkel und bei konstanter Kohäsion eine lineare Funktion der Normalspannung, die ihrerseits eine Funktion des  $\cos \alpha$  ist. Je steiler also ein Hang, desto geringer ist die Normalspannung und desto geringer ist deshalb auch die für die Bewegung erforderliche Grenzscherspannung.“*

Die Wirkung der Kohäsion wurde bereits beschrieben. Näher erläutert soll in diesem Zusammenhang die Wechselwirkung zwischen Kohäsion und Wassergehalt werden.

In teilgesättigten Böden sind die Poren sowohl mit Wasser als auch mit Luft gefüllt. Das Wasser in den Poren bildet um die Teilchen zahlreiche Oberflächen aus. Dadurch entstehen Oberflächenspannungen und eine größere Bindung zwischen den Partikeln. Dieser Zustand wird als negativer Porenwasserdruck bezeichnet und führt zu erhöhten Grenzscherspannungen und damit zu größerer Standsicherheit von Hängen. Eigentlich kohäsionslose, nicht bindige Böden erfahren unter diesen Bedingungen eine scheinbare Kohäsion. Auch in diesem Fall wird die Scherfestigkeit durch negativen Porenwasserdruck erhöht. (Terzaghi und Peck 1967: S.108)

In vollständig wassergesättigten Böden können sich zwischen den Partikeln keine einzelnen Oberflächen mehr bilden. Die Oberflächenspannung und somit die bindende Wirkung geht verloren, die Scherfestigkeit sinkt. Man bezeichnet diesen Zustand als positiven Porenwasserdruck. Durch die vollständige Füllung der Poren mit Wasser erfahren die Bodenpartikel außerdem Auftriebskräfte, welche den Zusammenhalt zusätzlich vermindern. Dieser Effekt muss bei der Bestimmung der Grenzscherspannung berücksichtigt werden. Die Coulomb-Gleichung wird mit der Wirkung des Porenwasserdrucks  $u$  ergänzt und durch die wirksame Druckspannung ausgedrückt. (Ahnert 2003: S.125)

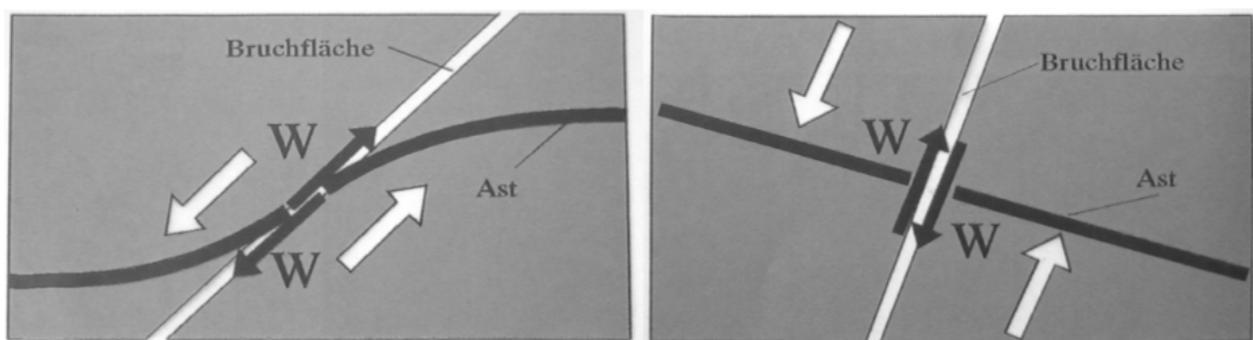
$$\tau = (\sigma - u) * \tan(\phi) + c$$

Die Wirkung des Wassers im Boden erzeugt zahlreiche weitere Effekte, welche den Rahmen dieser Arbeit überziehen würden.

Im Gegensatz zum plastischen Fließen muss beim viskosen Fließen keine Grenzschubspannung überschritten werden. Kleinste Scherspannungen reichen in nahezu kohäsionslosem Material mit Reibungswinkel nahe Null aus, um Fließvorgänge auszulösen, welche eigentlich die Bewegungsvorgänge von Flüssigkeiten beschreiben. Allerdings werden annähernd viskose Fließvorgänge auch in Massenbewegungen von tonhaltigen Sedimenten beobachtet. (Brundsen 1979: S.177)

### ***Wirkung von Pflanzen im Boden***

Pflanzen schützen den Boden gegen Erosionsvorgänge und können die Standsicherheit erhöhen. (Dachroth 2002: S.306) Nach FABICH (2012, S.24) können gewisse Kräuter-Gräser-Mischungen, abhängig von der Artenzusammensetzung, die Scherfestigkeit gegenüber dem unbewurzelten Bodenhorizont um bis zu 55% erhöhen. Er begründet diese Festigung durch ein Zusammenspiel mehrerer Effekte. Transpirationsvorgänge beeinflussen den Wasserhaushalt. Eine mögliche Folge der Entwässerung ist die Erhöhung der Kapillarkohäsion sowie eine Verringerung des Porenwasserdrucks. Auch die Aggregatbildung infolge von Wurzelausscheidungen oder Aktivitäten von Bodenorganismen erhöht die Kohäsion im Boden. Mechanische Stabilisierungsvorgänge treten durch die Anker- und Dübelwirkung der Bodendurchwurzelung auf.



**Abb. 3-4: Wirkung der Pflanze als Zuganker und Dübel (Schuppner 2003)**

Diese Effekte der Bepflanzung führen zu einer Erhöhung der rückhaltenden Kräfte im Gleichgewichtssystem und zu einer höheren Standsicherheit von Hängen. Ergänzend muss erwähnt werden, dass das Gewicht der Bepflanzung die treibenden Kräfte erhöht, was bei Bepflanzungen durch schwere Gehölze zu rutschfördernden Effekten führen kann. (Veder 1979: S.184)

### 3.2.2 Vorbereitende und auslösende Faktoren

Unter Punkt 3.2.1 wurden einige physikalischen Grundlagen beschrieben, die Einfluss auf die Hangstabilität haben. Ein Hang wird instabil, sobald die treibenden Kräfte größer werden als die entgegenwirkenden Kräfte. Zusammenfassend stellt ZEPP (2014: S.105) fest, dass Hänge umso anfälliger für gravitative Massenbewegungen sind, je steiler sie sind, je geringer die innere Reibung ist und je geringer die Kohäsion des Materials ist.

Die einfließenden Faktoren einer Massenbewegung werden als Ursachenkomplex beschrieben (Terzaghi 1950: S.88). Es gibt also eine Reihe weiterer Faktoren, die zur Aktivierung einer Massenbewegung beitragen können. SELBY (1993) unterscheidet dabei nach dem Angriffspunkt der Kraft zwischen intern oder extern wirkenden Faktoren. Interne Faktoren wirken im inneren eines Hanges. Sie vermindern die Scherfestigkeit und damit die rückhaltenden Kräfte. Externe Faktoren hingegen wirken von außen auf die Geländeoberfläche. Sie erhöhen die Scherspannung und damit die treibenden Kräfte. Tabelle 3-1 zeigt die wichtigsten externen Faktoren.

Faktor	Grund / Wirkung
Wegfall von seitlichen Stützen	Fluss-, Wasser- oder glaziale Erosion Verwitterung, Befeuchtung, Austrocknung und Frost Hangneigung wird durch Massenbewegung erhöht Bergbau, oder ähnliche durch den Menschen erfolgte Wegnahme
Überlastung	Gewicht von Regen, Schnee oder Aufböschung, Auffüllung, Müllhalden, Bauwerke
Vorübergehende Belastung	Erdbeben; Vibration durch menschliche Tätigkeiten, Verkehr, Maschinen
Wegfall von stützendem Untergrund	Unterspülung durch fließendes Wasser Verwitterung, Befeuchtung, Austrocknung und Frost Erosion im Untergrund, Herausdrücken von plastischen Böden Untertagebau, Schaffung von Seen und Reservoirs
Seitlicher Druck	Wasser in Bodenlücken, Gefrieren von Wasser, Quellen durch Wasseranlagerung an Tonteilchen, Mobilisierung von Eigenspannungen
Versteilerung des Hanges	Regionales tektonisch bedingtes Neigen, Vulkanische Prozesse

**Tabelle 3-1: Externe Faktoren, die die Scherspannung erhöhen (Selby 1993: S.140)**

Tabelle 3-2 zeigt die wichtigsten internen Faktoren, die Massenbewegungen von Böden beeinflussen, indem sie die Scherfestigkeit reduzieren.

Faktor	Grund / Wirkung
Aufbau und Gefüge	schwache Materialien locker gepackte Materialien glatte Kornform enggestufte Korngrößenverteilung
Physico-chemische Reaktionen	Kationen-(Basen)-Austausch Hydratation von Tonen Trocknen von Tonen Lösung von Bindemitteln
Effekte des Porenwassers	Auftrieb Verminderung der Kapillarspannung Reibungswiderstand von fließendem Wasser auf Bodenteilchen
Änderungen im Gefüge	Spontane Verflüssigung Fortschreitendes Kriechen mit Neuausrichtung von Tonen Reaktivierung von ehemaligen Scherflächen
Entfernung von Bäumen	Verminderung der Normalspannung Wegfall der scheinbaren Kohäsion durch Baumwurzeln Erhöhung des Grundwasserspiegels Erhöhte Rissbildung
Relief Strukturen	Unstetigkeitsstellen und andere Schwachstellen Schichtung von plastischen und undurchlässigen Böden

**Tabelle 3-2: Interne Faktoren, die die Scherfestigkeit reduzieren (nach Selby 1993: S.140)**

Eine weitere Unterteilung erfolgt nach dem Zeitpunkt und der Auswirkung des Kraftangriffes. POPESCU (1994: S.72) unterscheidet dabei vorbereitende, auslösende und bewegungskontrollierende Faktoren. Vorbereitende oder permanent wirkende Faktoren überführen einen Hang von einem stabilen in einen nahezu instabilen Zustand. Zeitraum dieses Vorganges ist vor der Massenbewegung. Vorbereitende Faktoren alleine lösen die Massenbewegung noch nicht aus. Der auslösende oder episodisch wirkende Faktor ist ein kurzfristiger Prozess, der dazu führt, dass die treibenden Kräfte größer als die rückhaltenden werden und eine Massenbewegung aktiviert wird. Auslösende Faktoren treten kurz vor der Bewegung auf.

Tabelle 3-3 zeigt eine Auswahl von vorbereitenden, auslösenden und kontrollierenden Faktoren bei Massenbewegungen nach DIKAU und GLADE (2002: S.39).

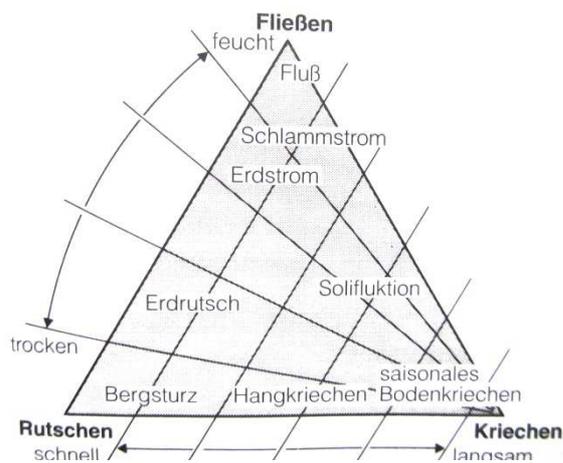
Ursache	Vorbereitende Faktoren (Disposition)	Auslösende Faktoren (Trigger)	Kontrollierende Faktoren
Geologie	Diskontinuität* strukturelle Diskontinuität* Verwitterung Isostasie	Erdbeben Vulkanausbrüche	Gesteinstypen Diskontinuität* strukturelle Diskontinuität*
Klima	lang anhaltender Vorregen Schneeschnmelze Frost-Tau-Zyklen	Niederschlag* schnelle Schneeschnmelze	Niederschlag
Boden	Verwitterung geotechnische Materialeigenschaften Bodenart und -typ Schrumpf-Schwell Zyklen Subterrane Erosion	nicht zutreffend	Wassersättigung Mächtigkeit des Bodens
Vegetation	natürliche Vegetationsänderung*	nicht zutreffend	Vegetation
Hydrologie	schmelzender Permafrost	Schnelle Schwankungen des Grundwasserspiegels & Porenwasserdrucks	Gerinnerauhigkeit Weitertransport bewegter Massen
Topographie	Hangexposition* Hanghöhe*	nicht zutreffend	Hangneigung* Hangwölbung*
Anthropogen	Entwaldung, Dammbau Entfernung des Hangfußes Belastung des Oberhanges Bewässerung, Bergbau Künstliche Bewegung Undichte Leitungen	Hanganschnitte* Hangunterschneidung* Auflast*	Verbauung Dämme Gerinne- begradigung Gerinne- verkleinerung / vergrößerung
* diese Faktoren können, je nach Stabilitätszustand des Hanges, sowohl vorbereitend, auslösend oder kontrollierend sein			

**Tabelle 3-3: Vorbereitende, auslösende und kontrollierende Faktoren bei Massenbewegungen  
(nach Dikau und Glade 2002)**

### 3.3 Erscheinungsformen von gravitativen Massenbewegungen

Die Erscheinungsformen von gravitativen Massenbewegungen unterscheiden sich in vielen Bereichen voneinander. So kann die Einteilung in Klassen auf Grund der Typenvielfalt durch verschiedene Ansätze erfolgen. Bewegungsvorgänge können durch die Dimension der bewegten Masse, den betroffenen Prozessraum, den Mechanismen und Prozessen, nach der Bewegungsart, nach der Prozessgeschwindigkeit, dem morphologischen Erscheinungsbild oder nach anderen Kriterien beschrieben werden. (Cevik 2008: S.7) In der Realität stellen Massenbewegungen jedoch häufig komplexe Prozesse mit fließenden Übergängen dar. (Goudie 2002: S.324) STINY (1952 in Böhm 1996: S.9) stellt fest, dass die Natur bei der Kategorisierung keine scharfen Grenzen kennt, sondern Gegensätze gerne durch Übergänge verbindet.

Für die Dokumentation und die Beschreibung von Massenbewegung ist die Klassifizierung allerdings von großer Bedeutung. Zahlreiche Autoren haben sich diesem



Thema in der Vergangenheit angenommen. Zum Beispiel stellen CARSON und KIRKBY (1972 in Goudie 2002: S.234) die vier Haupttypen der Massenbewegung in einem Dreieck dar. Sie klassifizieren die Massenbewegungsprozesse dabei in Abhängigkeit vom Bewegungsmechanismus, Bewegungsgeschwindigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalt.

**Abb. 3-5: Klassifizierung nach CARSON und KIRKBY**

Eine sehr übersichtliche und bis heute bedeutende Klassifizierung von Massenbewegungen stammt von VARNES (1978). Die Einteilung in Klassen erfolgt dabei nach zwei Kriterien. Nach der Art des bewegten Materials und der Art des Bewegungsmechanismus. (Cornforth 2005: S.4)

In dieser Arbeit wird die etwas überarbeitete und vereinfachte Klassifizierung nach CRUDEN und VARNES (1996) genauer erläutert.

### 3.3.1 Klassifizierung nach CRUDEN und VARNES

#### ***Nach der Art des bewegten Materials***

CRUDEN und VARNES (1996 in Cornforth 2005: S.5) teilen die Art des bewegten Materials nach der Korngröße in drei Kategorien ein:

- Festgestein / Fels (Rock)
- Lockergestein grobkörnig (Debris / predominantly coarse)  
80 % oder mehr des Materials besitzt eine Korngröße kleiner als 2 mm.
- Lockergestein feinkörnig (Earth / predominantly fine)  
20 - 80 % der Partikel haben einen Korndurchmesser von mehr als 2 mm.  
Der Rest ist kleiner als 2 mm.

#### ***Nach der Art des Bewegungsmechanismus***

Die Klassifizierung des Bewegungsmechanismus erfolgt nach CRUDEN und VARNES (1996 in Cornforth 2005: S.4) in sechs Kategorien.

- Fallen (Fall)
- Kippen (Topple)
- Gleiten / Rutschung (Slide)
- Driften (Lateral Spread)
- Fließen (Flow)
- Komplex (Composite)

#### ***Kombination der Kriterien***

Durch die Kombination der beiden Kriterien lassen sich 15 verschiedene Arten von Massenbewegungen herleiten. Der Name enthält zuerst die Art des Materials und danach die Art des Bewegungsmechanismus.

### 3.3.2 Bewegungsmechanismen

Die folgenden Punkte dieser Arbeit widmen sich der Beschreibung der klassifizierten Bewegungsmechanismen und der Darstellung der Bewegungsvorgänge.

## Fallen

„Fallen ist der freie Sturz von Erd- oder Gesteinsmassen.“ (Dachroth 2002: S.171)

Übersteigt die schwerkraftbedingte Schubspannung die Grenzschubspannung, stürzt Material ab. (Ahnert 2003: S.127) Hat das bewegte Material den freien Fall überwunden, bewegt es sich bis zum Erreichen der Endposition rollend oder springend fort. Auch diese Bewegungsformen werden zum Fallmechanismus gezählt. Hauptsächlich ausgelöst durch Verwitterungsprozesse oder Erschütterungen tritt



**Abb. 3-6: Darstellung der Fallbewegung**

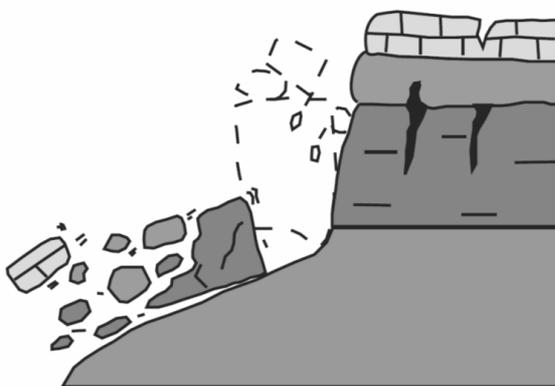
diese Form der Massenbewegung vor allem in steilen Felshängen auf. (Zepp 2014: S.106-108) Je nach Größe des fallenden Materials unterscheidet man die Erscheinungsformen Abmehlen, Absanden, Abgrusen, Steinschlag, Blocksturz, Felssturz oder Bergsturz.

Man spricht von einem Erdsturz, wenn die Fallbewegung in einem Steilhang aus Lockermaterial stattfindet. Herabfallende Eismassen aus Gletschern werden als Eissturz bezeichnet. (Dachroth 2002: S.171)

## Kippen

„Kippen ist eine Vorwärtsrotation aus dem Hang heraus von Blöcken aus Fels- oder kohäsivem Bodenmaterial um einen Punkt oder eine Achse unterhalb ihres Schwerpunktes.“ (Multilingual landslide glossary 1993: S.30)

KRAUTER (2001: S.640, 667) beschreibt den Vorgang des Kippens als



**Abb. 3-7: Darstellung des Kippens (USGS)**

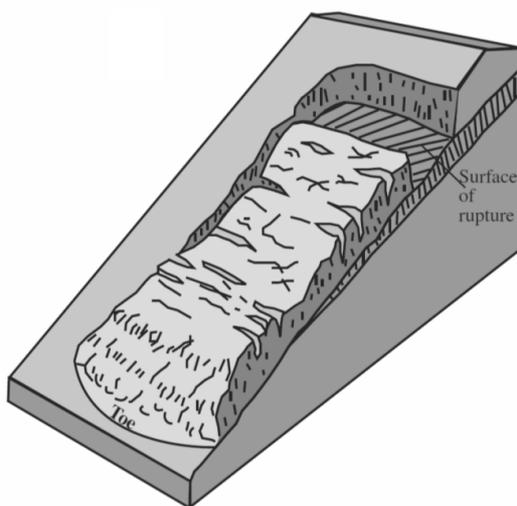
Rotationsbewegung eines oder mehrerer hintereinander liegender Kluffkörper im Geschwindigkeitsbereich von wenigen Millimetern bis einigen Zentimetern pro Jahr. Reine Kippbewegungen treten nur an Steilhängen auf, in Zusammenhang mit Blockversatz aber auch an flachen und mäßig steilen Hängen. Auslösende Faktoren können dabei das Aufreißen von Klüften durch

Entspannung oder das Aufweiten von Spalten durch Wurzeldruck, Wasserdruck oder Eisdruck sein. (Dachroth 2002: S.170)

### **Gleiten**

„Gleiten beschreibt einen Vorgang, bei dem Fest- oder Lockergestein eine hangabwärts gerichtete Bewegung auf Gleitflächen oder dünnen Zonen intensiver Scherverformung vollzieht.“ (Dikau und Glade 2002: S.40)

Der Prozess des Gleitens wird auch als Rutschung oder Hangrutschung bezeichnet und kann in sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten von wenigen Millimetern pro Jahr bis zu mehreren Metern pro Stunde ablaufen. (Krauter 2001: S.667) Wichtigstes Kennzeichen ist, dass sich die verlagerte Masse als Einheit auf einer Gleitfläche hangabwärts bewegt. (Zepp 2014: S.110) Gleitflächen können nach ihrer Entstehung, Art, Material oder Form verschieden sein und gelten als wichtiges Charakteristikum von Gleitprozessen.



**Abb. 3-8: Darstellung einer Translationsrutschung (USGS)**

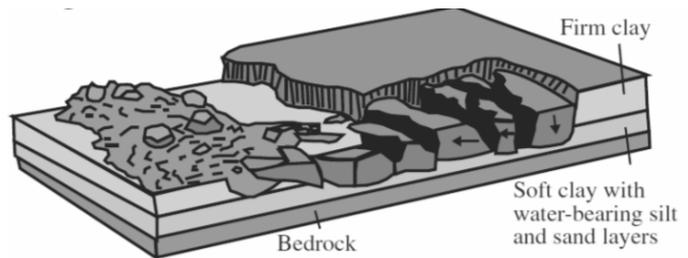
Rutschungen auf präformierten Gleitflächen, also Schwächezonen die bereits vor der Rutschung vorhanden waren, nennt man Translationsrutschungen. Präformierte Gleitflächen können zum Beispiel Schicht-, Schieferungs-, Kluft- und Bruchflächen, Grenzflächen zwischen festem Gestein und Verwitterungszonen, Grenzflächen zwischen gefrorenem und aufgetautem Boden oder Grenzflächen zwischen Fundament und Baugrund sein. (Dachroth 2002: S.182)

In homogenem, plastisch verformbarem Material bilden sich Rotationsrutschungen. Bei diesem Prozess sind keine Gleitflächen vorgegeben. Gleitflächen bilden sich erst während der Rutschung in konkav gekrümmter, zylindrischer Form aus. (Abramson et al. 1996: S.31)

### **Driften**

„Driften ist eine laterale Bewegung von Fels- oder kohäsiven Bodenmassen bei einem gleichzeitigen Einsinken in die liegenden weniger kompetenten Schichten. Eine intensive Scherung auf Gleitflächen findet nicht statt. Driften kann durch Liquifaktion oder Fließen (und Extrusion) des liegenden weniger kompetenten Materials entstehen.“ (Multilingual landslide glossary 1993: S.30)

Driftbewegungen sind langsame, seitliche Ausbreitungsbewegungen ohne deutlich ausgeprägte Gleitflächen. Eine Sonderform des Driftens stellen Blockbewegungen, Talzusub und Bergzerreißen dar. (Krauter 2001: S.644-646)

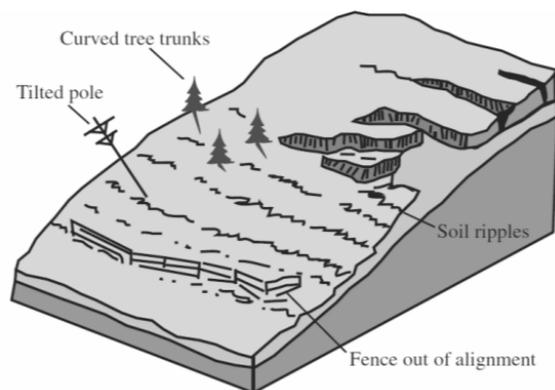


**Abb. 3-9: Darstellung der Driftbewegung (USGS)**

### **Fließen**

„Fließen ist eine räumliche, kontinuierliche Bewegung bei der Scherflächen nur kurzzeitig vorhanden, dicht angeordnet und gewöhnlich nicht erhalten sind. Die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse gleicht der einer viskosen Flüssigkeit.“ (Multilingual landslide glossary 1993: S.30)

Nach der Art des bewegten Materials unterscheidet SELBY (1993, S.173) die Fließtypen Schutt-, Erd- oder Schlammfließen. Eine Sonderform des Fließmechanismus stellt die Kriechbewegung dar. Sie unterscheidet sich vom Fließen durch die langsamere Bewegungsgeschwindigkeit und die Art des bewegten Materials. Bodenkriechen oder Schuttkriechen bezeichnet die Verlagerung von Gehängelehm, Gehängeschutt und Schutthalden. (Krauter 2001: S.646)



**Abb. 3-10: Darstellung des Kriechens (USGS)**

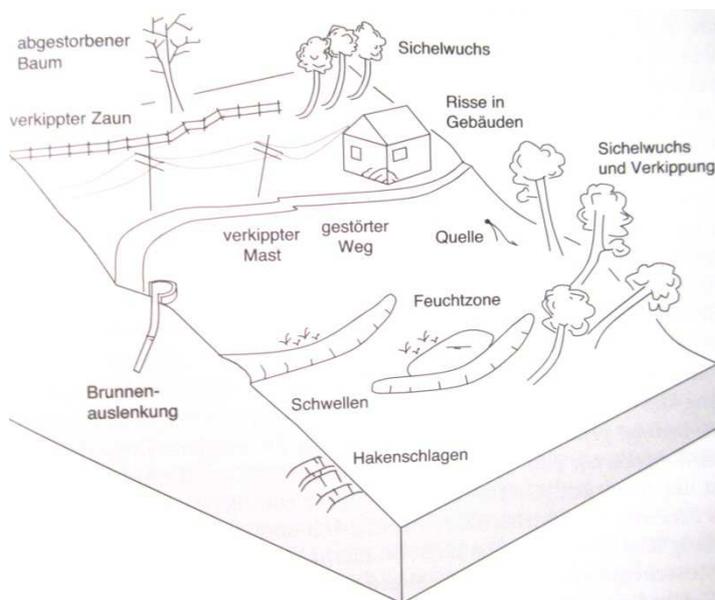
## Komplex

„Eine komplexe Massenbewegung liegt dann vor, wenn die genannten Prozesse in Kombination auftreten, wobei sich der initiale Typ während der Hinabwärtsbewegung verändert.“ (Dikau und Glade 2002: S.40)

### 3.4 Erkennen von Massenbewegungen

Das Erkennen von Massenbewegungen dient dazu, den Grad der Gefährdung von Menschenleben und Sachwerten zu beurteilen. Zur Ermittlung der Ursachen und der Kinematik liegt der Schwerpunkt in der Geländebegehung.

Verschiedene Erkennungsmerkmale im Gelände können Anzeichen für aktuelle und vergangene Bewegungsmechanismen sein. KRAUTER (2001: S.661) beschreibt, dass Bruchstellen in Felswänden oder Trümmerfelder unterhalb der Wände auf die Existenz von Fallmechanismen hindeuten. Kippmechanismen erzeugen aus dem Gebirgsverband gelöste und vorgestellte Kluffkörper, die aber auch ein Anzeichen für Driftbewegungen sein können. Sehr ähnliche Erkennungsmerkmale haben Rutsch- und



Fließbewegungen. So deuten zum Beispiel Abrisse, schiefstehende oder krummwüchsige Bäume, konkave und konvexe Ausbildung des Geländes oder Schäden an Bauwerken auf beide Arten der Bewegung hin. Auch Unebenheiten im Gelände und Nassstellen können Erkennungsmerkmale von Rutschbewegungen sein.

**Abb. 3-11: Erkennungsmerkmale von Hangrutschungen**

Aufwändige Untersuchungsmaßnahmen konnten im Zuge dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, sollen hier aber trotzdem erwähnt werden. Zum Beispiel eignen sich stereoskopische Luftbildaufnahmen sehr gut zum Erkennen und Erkunden von Massenbewegungen. Durch den Vergleich mit älteren Aufnahmen sind Aussagen über die Ursachen herzuleiten. Informationen über die Anzahl, Tiefe und Form von Gleitflächen können durch Messungen in Bohrlöchern eingeholt werden.

Im Zuge dieser Arbeit wurde durch eine Geländebegehung versucht, Rutschareale im Untersuchungsgebiet anhand von Schäden an Bauwerken oder Straßen aufzusuchen und Aussagen über die Ursachen und die Kinematik zu treffen.

### 3.5 Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet

Großteils sind gravitative Massenbewegungen keine kontinuierlichen Vorgänge. Vielmehr beobachtet man periodische oder episodische Prozesse, bewirkt durch verschiedene vorbereitende und auslösende Faktoren. (Zepp 2014: S.106) An erster Stelle sind positive Porenwasserdrücke zu nennen, deren Effekte bereits unter Punkt 3.2.1 beschrieben wurden. KRAUTER (2001: S.630) stellt fest, dass Wasser in Form von Niederschlag, Schmelzwasser oder Bergwasser meist das auslösende Moment einer Massenbewegung darstellt und die Geschwindigkeit der Bewegung steuert.

Die Geländebegehungen fanden im April, am Ende der halbjährlichen Trockenperiode statt, wodurch von einem niedrigen Hangwassergehalt auszugehen ist. Die Oberflächenabläufe und Drainagen führten wenig oder gar kein Wasser. In dieser Zeit ist die Auslösung von Massenbewegungen eher selten und die episodischen Bewegungen laufen mit geringer Geschwindigkeit ab oder stehen still. Die Dokumentation vergangener Ereignisse zeigt, dass Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet vor allem in den Erscheinungsformen Erdsturz, Steinschlag, Felssturz, Rutschung oder Fließen auftreten. (DOR 2014A: S.26) Muren kommen im Untersuchungsgebiet selten vor und nehmen keine großen Dimensionen an.

Im Zuge der Geländebegehung konnte hauptsächlich die Erscheinungsform der Rutschung erkannt werden. Um das Ziel der Arbeit zu erreichen, nämlich Sicherungsmaßnahmen zu bewerten und zu vergleichen, wurden vor Ort nur Bewegungen analysiert, die Schäden an Bauwerken verursacht haben.

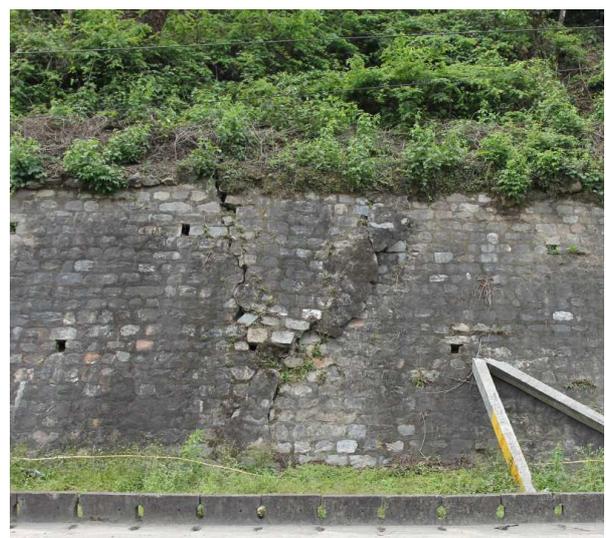


Abb. 3-12: Beschädigtes Stützbauwerk

## 4 Methoden der Hangsicherung

Das folgende Kapitel soll einen kurzen Überblick über die Methoden zur Hangsicherung geben und deren Bauart nach den allgemeinen Richtlinien darstellen. Bedingt durch die Vielzahl an Möglichkeiten behandelt diese Arbeit nur jene Maßnahmen genauer, die im Untersuchungsgebiet Anwendung finden. Zur Vollständigkeit werden auch Maßnahmen erwähnt, die in Nepal nicht angewendet werden, aber dem Stand der Technik entsprechen.

Im Untersuchungsgebiet folgt der Prithivi Highway dem Südufer des Trishuli Flusses durch ein Kerbtal. Mäßig steile bis steile Hangflanken grenzen oft unmittelbar an das Flussufer. Unter solchen Voraussetzungen erfordert die Trassierung einer Straße die Ausbildung von Hangeinschnitten. Bei ausreichendem Platz werden diese mit einer standfesten Neigung abgeböschert und durch Kontrollmaßnahmen vor Wasserzutritt, Verwitterung und Erosion geschützt. (Dachroth: 2001: S.303) Die standfeste Neigung einer Böschung sollte individuell und unter Berücksichtigung der tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten bestimmt werden. Ist eine individuelle Bestimmung der Böschungsneigung durch Experten nicht möglich, kann auf Richtwerte in tabellarischer Form zurückgegriffen werden. In Abhängigkeit der Böschungshöhe und der Bodenart empfiehlt die nepalesische Straßenbaubehörde (Department of Roads) für Einschnittsböschungen die Richtwerte der Tabelle 6-1.

Bodenart		Höhe [m]	Neigung [V:H]
Harter Fels			1:0.3 - 1:0.8
Weicher Fels			1:0.5 - 1:1.2
Sand			1:1.5
Gemischtkörnige Böden	Dichte Lagerung oder weit gestuft	< 5m	1:0.8 - 1:1.0
		5 - 10m	1:1.0 - 1:1.2
	Undichte Lagerung	< 5m	1:1.0 - 1:1.2
		5 - 10m	1:1.2 - 1:1.5
Kohäsive Böden		< 10m	1:0.8 - 1:1.2
Kohäsive Böden, steinig		< 5m	1:1.0 - 1:1.2
		5 - 10m	1:1.2 - 1:1.5

Tabelle 4-1: Neigungswinkel von Einschnittsböschungen (nach DOR 2014A: S.44)

Üblicherweise werden bei der Herstellung von Felsböschungen Bermen im Höhenabstand von ca. 10-15 m konstruiert. (Dachroth 2001: S.303) Sie erleichtern die Herstellung und dienen der Stabilität, der Pflege und der Wartung.

Sollte der Platz für eine sichere Abböschung in Kombination mit Kontrollmaßnahmen nicht ausreichen, muss die Stabilität durch konstruktive Stabilisierungsmaßnahmen hergestellt werden. Ziel von diesen Baumaßnahmen ist, die auftretenden Erddrücke und Wasserdrücke zu reduzieren und den anstehenden Boden zum Mittragen heranzuziehen. (Dachroth 2001: S.311) In der Regel werden zur Stabilisierung von rutschgefährdeten Hängen mehrere der folgenden Maßnahmen kombiniert.

## **4.1 Kontrollmaßnahmen**

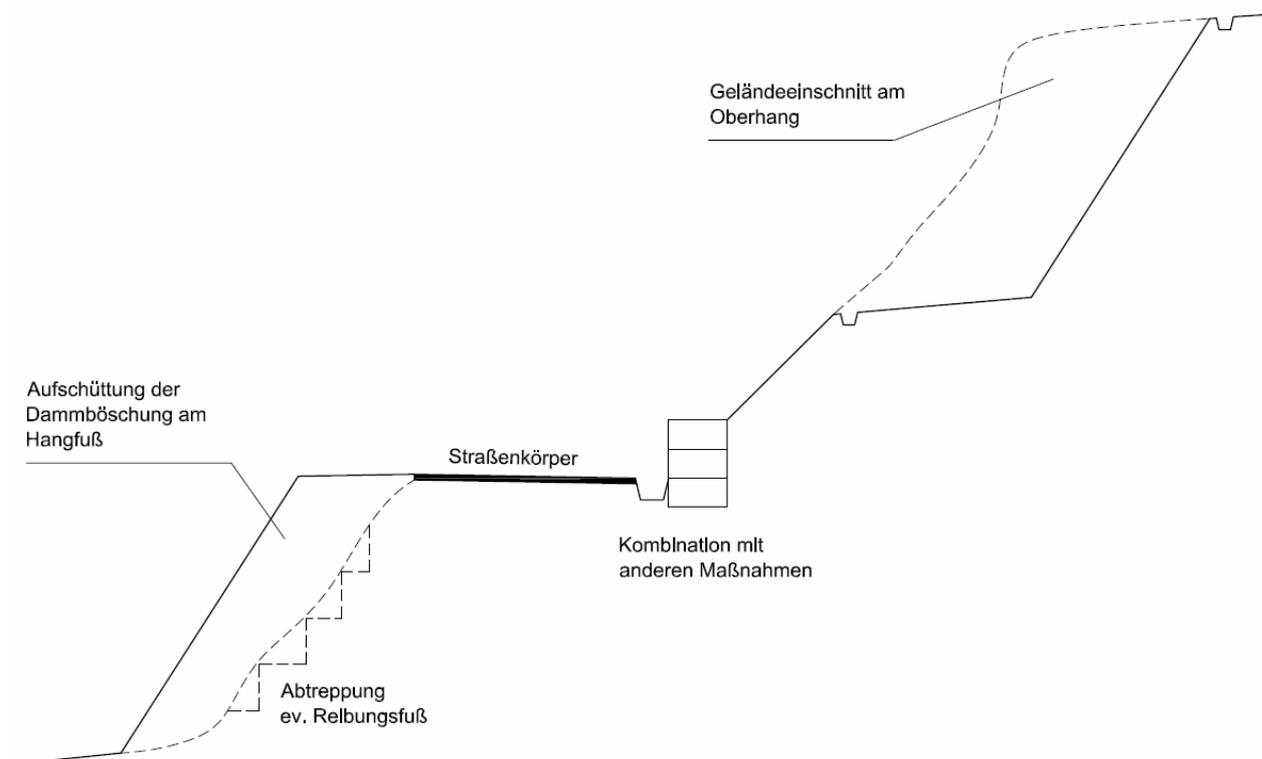
Diese Sicherungsmaßnahmen haben das Ziel, die Standsicherheit von Hängen ohne den Einsatz von konstruktiven Baumaßnahmen zu gewährleisten. Man nutzt den Einfluss der Hanggeometrie in Kombination mit Bepflanzungen, Entwässerungssystemen und Verkleidungen, um Böschungen standsicher zu machen und vor Verwitterung, Erosion und flachgründigen Rutschungen zu schützen.

### **4.1.1 Verbesserung des Böschungsgleichgewichts**

Die standfeste Neigung einer Böschung ist in erster Linie von ihrer Höhe und der Bodenart abhängig. (Decker und Weber 1998: S.136) Durch die Veränderung der Hanggeometrie wird versucht, die resultierende Hangneigung zu reduzieren und das Kräftesystem eines Hanges positiv zu beeinflussen. Zum Beispiel werden Böschungsmassen durch Einschnitte im Oberhang entfernt und am Hangfuß in Form von Dammböschungen abgelagert. Diese Massenverlagerung des Hangmaterials führt zu einer Reduktion des Gewichtes im Oberhang und soll die treibenden Scherkräfte reduzieren. Dammböschungen am Hangfuß bilden ein stabilisierendes Gegengewicht. In der Aufstandsfläche des Dammes kann der Einbau eines Reibungsfußes aus gebrochenem Gesteinsmaterial zu einer zusätzlichen Verbesserung des Gleichgewichts führen. (Prinz und Strauß 2006: S.358) Üblicherweise wird die Verbesserung des Böschungsgleichgewichtes in Kombination mit anderen Maßnahmen durchgeführt.

Im Untersuchungsgebiet wurden sie zum Beispiel in Verbindung mit Entwässerungssystemen und ingenieurbioologischen Maßnahmen, aber auch mit konstruktiven Bauweisen vorgefunden. Abbildung 4-1 stellt das Prinzip in Kombination mit einer Schwergewichtsmauer und einem straßenseitigen Entwässerungsgraben

schematisch dar. Details zur Ausführung von Stützmauern und Entwässerungssystemen folgen in den anschließenden Punkten.



**Abb. 4-1: Mögliche Veränderung der Hanggeometrie (nach DOR 2014A: S.47)**

Flache Rutschungen können mit Steinmatratzen, darunter versteht man etwa 1 m dicke Steinschüttungen, stabilisiert werden. Tiefer reichende, kleinere Rutschmassen können bis zur Gleitfläche abgetragen und abgeflacht wiederhergestellt werden. Greift man bei der Wiederherstellung der Böschungsfäche auf standfesteres Material zurück, spricht man von Steinplomben. (Prinz und Strauß 2006: S.358)

#### 4.1.2 Ingenieurbiologische Maßnahmen

*„Unter Ingenieurbiologie wird im deutschsprachigen Raum eine biologisch ausgerichtete Ingenieurbautechnik verstanden die sich biologischer und landschaftsökologischer Erkenntnisse bei der Sicherung und Erhaltung von Böschungen, Hängen, Ufern, Vorländern, Deichen und Deponien vor Erosion bedient.“* (Gesellschaft für Ingenieurbiologie)

Pflanzen bedecken offene Bodenoberflächen und schützen den Boden durch die Verringerung der Prallwirkung des Niederschlages vor Erosion. (Florineth 2012: S.15)  
Die entwässernde und stabilisierende Wirkung von Pflanzen im Boden wurde unter

Punkt 3.2.1 beschrieben. Zu beachten ist der lange Zeitraum des Wurzelaufwuchses, indem noch keine ausreichende Aufnahme der Zugkräfte möglich ist. Ingenieurbio-logische Maßnahmen zur Böschungsstabilisierung sind daher nur für an sich standfeste Böschungen und Hänge oder in Kombination mit herkömmlichen konstruktiven Bauweisen anwendbar. (Dachroth 2002: S.306)

Bedingt durch die angespannte wirtschaftliche und infrastrukturelle Situation sowie die Ressourcenknappheit in Nepal könnten ingenieurbio-logische Maßnahmen durch ihre einfache und kostengünstige, aber auch nachhaltige und ressourcenschonende Bauweise eine Alternative zu herkömmlichen Methoden darstellen.

Im Untersuchungsgebiet stellt das Ansaaten und Begrünen mit Gräser-Kräutermischungen und Jungpflanzen eine gängige Methode des Erosionsschutzes dar. Ebenfalls wurden in der Vergangenheit Hangfaschinen und Heckenbuschlagen zur Sicherung von flachgründigen Bodeninstabilitäten eingesetzt. FLORINETH (2012: S.159-202) beschreibt die Möglichkeit der Entwässerung durch Astdrainagen oder Drainfaschinen und die Sicherung von tieferliegenden Bodeninstabilitäten durch Pilotenwände, Hangroste, Holz-Krainerwände, bepflanzte Blocksteinmauern und Beton-Krainerwände oder bewehrte Erde. Solche konstruktiven ingenieurbio-logischen Maßnahmen wurden bei der Geländebegehung nicht vorgefunden, was auch daran liegen könnte, dass ältere Maßnahmen durch den intensiven Bewuchs nur schwer zu erkennen sind.

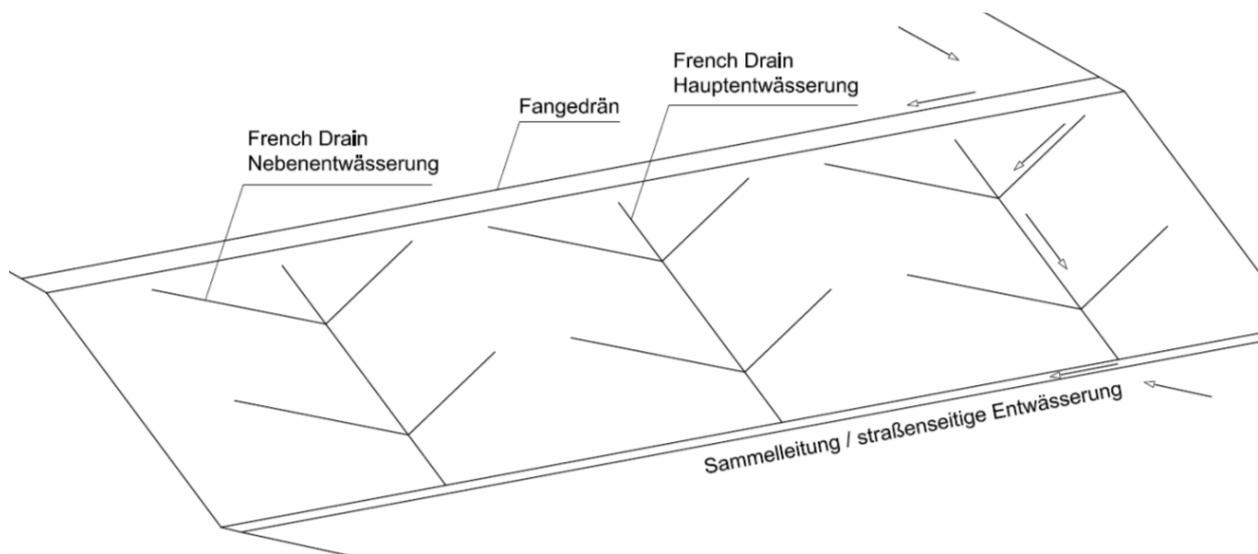
#### **4.1.3 Entwässerung**

KRAUTER (2001: S.630) stellt fest, dass Wasser in Form von Niederschlag, Schmelzwasser oder Bergwasser meist das auslösende Moment einer Massenbewegung darstellt und die Geschwindigkeit der Bewegung steuert. Verhindert man das Eindringen von Sickerwasser und entfernt man vorhandenes Grundwasser rechtzeitig, können solche Folgen vermieden werden. (Decker und Weber 1998: S.138) Eine funktionierende Entwässerung ist daher von größter Bedeutung für die Standsicherheit von Böschungen und schützt Geländeoberflächen vor Erosionsschäden.

Die Entwässerungssysteme können als Einzelmaßnahme ausgeführt werden, sollten aber bei jeder Anwendung von Stabilisierungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

(Genske 2014: S.388) Je nach Tiefenlage unterscheidet man Oberflächen- oder Tiefenentwässerungen.

Die Oberflächenentwässerung soll eine Infiltration von Niederschlags- und Quellwasser in den Hangkörper vermeiden. Sowohl oberhalb von Böschungen als auch im Böschungsbereich kann Oberflächenwasser zum Beispiel in Gräben, Mulden, Dränrohren oder Oberflächendränagen gesammelt und abgeleitet werden. Durch die richtige Anordnung von Entwässerungsmaßnahmen, können rutschgefährdete Hänge auch großflächig entwässert werden.



**Abb. 4-2: Anordnung von French Drains (nach Cornforth 2005: S.341)**

Großflächige Oberflächenentwässerungen werden im Untersuchungsgebiet in der Form von French Drains (Abb. 4-2) durchgeführt. Eine Dränwirkung wird dabei durch die verzweigte Anordnung von Dränrohren über den gesamten Böschungsbereich erzielt.



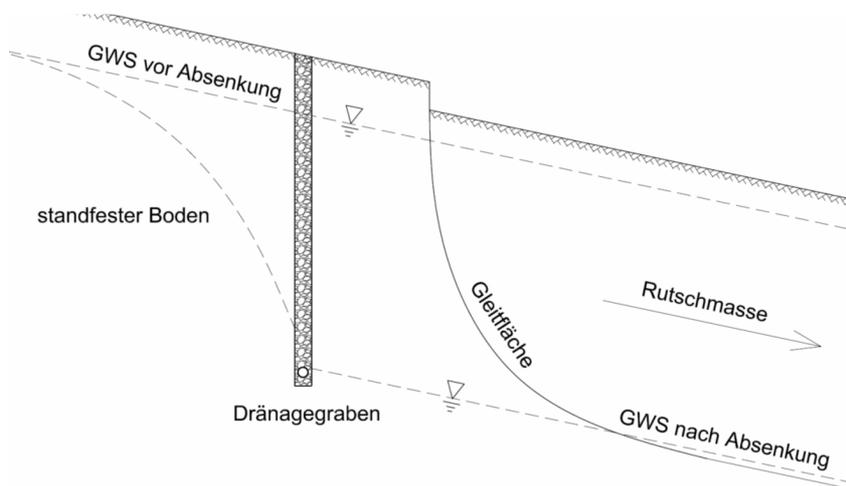
Die straßenseitige Entwässerung der Oberfläche erfolgt entlang des Prithivi Highways durch seitlich angeordnete Rinnen. Zum Einsatz kommen offene Trapezzinnen mit Steinbettung sowie abgedeckte Rechteckrinnen aus Betonfertigteilen (Abb. 4-3). Durch die Abdeckung sind die Rechteckrinnen vor Ablagerungen und Verschmutzungen

**Abb. 4-3: Straßenseitige Entwässerung**

geschützt. Die geringere Breite der Rechteckrinnen und die Befahrbarkeit der Abdeckungen ermöglicht die Anwendung dieses Typs auch bei kleineren Straßenbreiten und erhöht die Sicherheit für die Verkehrsteilnehmer. Das Einfahren in die offenen Trapezrinnen stellt eine häufige Unfallursache dar.

Wasser, das an der Geländeoberfläche nicht erfasst wurde oder im Bodenkörper herbeiströmt, kann durch tiefliegende Entwässerungsmaßnahmen abgeleitet werden. In Form von Dränschichten, Sickersträngen, Steinkeilen, Schottermulden, Horizontalbohrungen, Brunnen oder Elektroosmose-Verfahren kann Grundwasser gesammelt und abgeleitet werden. Durch das Absenken des Grundwasserspiegels kommt es zu einer Reduktion des Porenwasserdrucks und einer möglichen Erhöhung des Sicherheitsfaktors von Hängen. Die Tiefenentwässerung ist situationsbedingt anzuwenden und nur effektiv, wenn die potentielle Gleitfläche tief genug im Grundwasser liegt. (Cornforth 2005: S.316) Nach Angaben des Department of Roads werden im Untersuchungsgebiet Horizontaldränagen, flächige Dränschichten und linienförmige Sickerstränge (Trench Drains) zur Tiefenentwässerung eingesetzt.

Trench Drains sind Drängräben, die vor dem Rutschgebiet als Einzelmaßnahme (Abb. 4-4) oder, bei größeren Rutschungen, auch in parallelen Serien angeordnet werden können. (Forrester 2001: S.120)



**Abb. 4-4: Schematische Darstellung eines Dränagegrabens (nach Cornforth 2005: S.329)**

Bei der Herstellung von Horizontaldränagen werden Dränagerohre mit geringer Neigung bis zur potenziellen Gleitfläche eingebohrt (Abb. 4-5). Durch die Anordnung mehrerer Rohre, im Grundriss parallel oder gefächert, kann der Grundwasserspiegel einer rutschgefährdeten Böschung abgesenkt werden. Zu beachten ist bei dieser Maßnahme, dass spezielle Bohrgeräte erforderlich sind, wodurch höhere Kosten entstehen können.

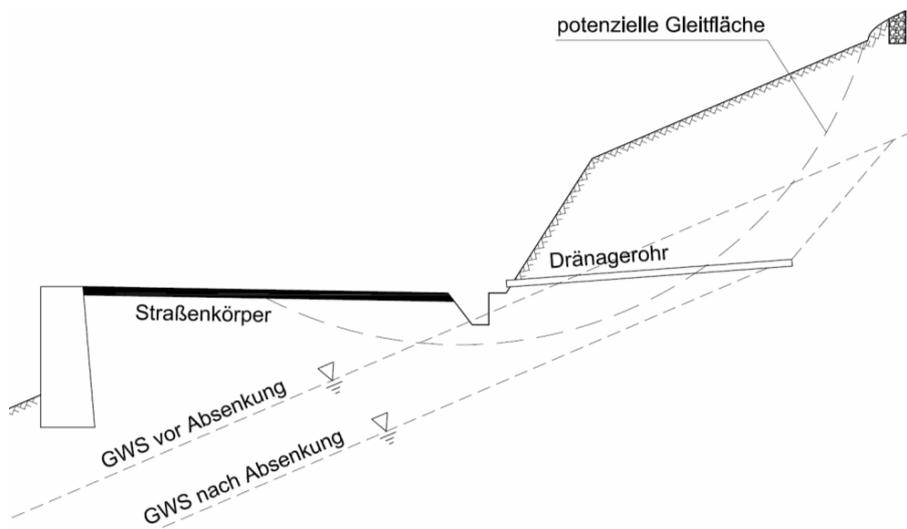


Abb. 4-5: Bauweise einer Horizontaldrainage (nach Forrester 2001: S.53)

#### 4.1.4 Böschungsverkleidungen

Ohne selbst eine tragende Funktion zu übernehmen, dienen Böschungsverkleidungen dem Schutz vor Verwitterung, Erosion und Steinschlag. Sie können zum Beispiel in Form von Pflasterungen, Futtermauern oder Spritzbeton ausgeführt werden und versiegeln in sich standfeste Böschungen. (Möller 2006: S.290)

Im Zuge der Geländebegehung wurden keine Spritzbetonverkleidungen vorgefunden. Weit verbreitet hingegen sind Böschungsverkleidungen aus Natursteinen. Pflasterungen aus Naturstein können zum Beispiel im Sandbett verlegt werden. Futtermauern werden im Untersuchungsgebiet als Rahmenkonstruktionen aus vermörtelten Steinschichtungen ausgeführt, wobei die Aussparungen mit trocken eingelegten Steinen ausgefüllt sind (siehe Abb. 4-6). DOR (2014A: S.59) empfiehlt die Anwendung von Futtermauern mit eingelegtem Trockenmauerwerk nur für Böschungsneigungen kleiner  $45^\circ$ .

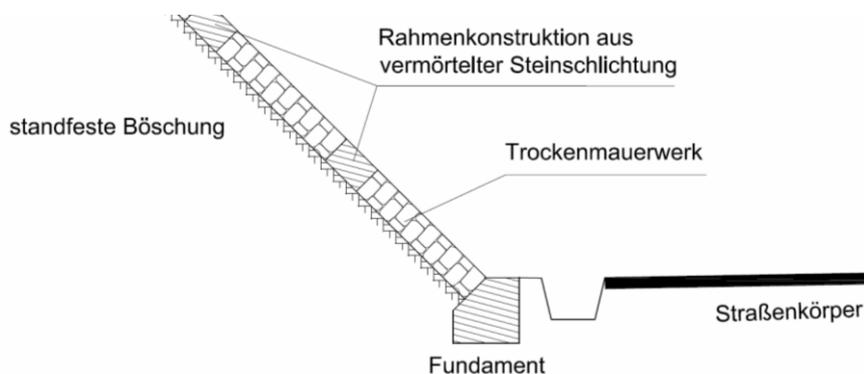


Abb. 4-6: Futtermauer aus Trockenmauerwerk (nach DOR 2009: S.62)

### 4.1.5 Schutzvorrichtungen

Unter Schutzvorrichtungen versteht man präventive Maßnahmen, die Schutz vor Sturzmassen bieten oder deren Wirkung dämpfen sollen. (Genske 2014: S.385) Zu den Schutzmaßnahmen zählen zum Beispiel Steinschlagnetze, die wie ein Vorhang vor die Böschung gehängt werden. Bereits in Bewegung befindliche Sturzmassen können durch Fangnetze oder Netz-Barrieren aufgefangen werden, in Sicherheits- und Ausrollzonen kontrolliert auslaufen oder in Dämpfungszonen gebremst werden. Galerien und Leitsysteme führen Sturzmassen an schützenswerten Zonen vorbei.

Im Untersuchungsgebiet wird versucht, Sturzmassen und kleine Muren durch Schutzmauern aus Gabionen aufzufangen. Abbildung 4-7 stellt das Prinzip des Steinschlagschutzes vor einer Felswand schematisch dar. Sollte im Einzugsbereich mit Muren zu rechnen sein, muss die Ablagerungsfläche entwässert werden und feinkörniges Material, zum Beispiel mit Geotextil, vorm Durchströmen der Gabionen gehindert werden. Auch Bäume können die Funktion von Fangzäunen übernehmen und die Wirkung von Sturzmassen mildern. (Genske 2014: S.387)

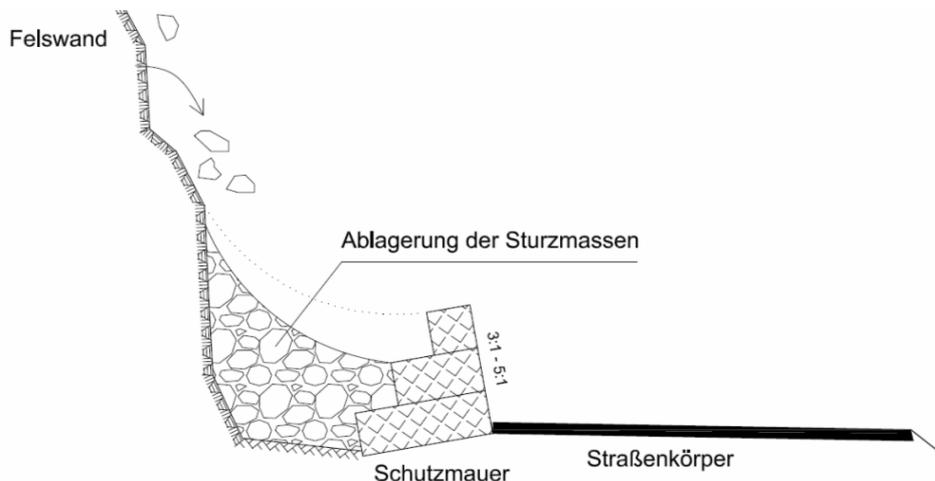


Abb. 4-7: Schutzmauer gegen Steinschlag und Felssturz (nach DOR 2009: S.59)

## 4.2 Konstruktive Stabilisierungsmaßnahmen

Sollte der Platz für eine sichere Abböschung in Kombination mit Kontrollmaßnahmen nicht ausreichen, muss die Standsicherheit von Geländeeinschnitten durch konstruktive Stabilisierungsmaßnahmen, also Stützmauern oder Verbundwände, hergestellt werden. Ziel von diesen Baumaßnahmen ist, die auftretenden Erddrücke und Wasserdrücke zu reduzieren und den anstehenden Boden zum Mittragen heranzuziehen. (Dachroth 2001: S.311)

Wirken dabei künstliche Tragwerkselemente und der dazwischen befindliche Boden statisch zusammen, spricht man von Verbundwänden. (Cornforth 2005: S.385) Diese können in einer Vielzahl von Ausführungen eingesetzt werden, wie zum Beispiel als Geotextilverbau, Raumgitterwand, Schlaufenwand, Bodenvernagelungen, bewehrte Erde, Fangedamm oder Stützwand. Stützwände werden in den spannungsmäßig noch unveränderten Bodenkörper durch Einbringen von Spundbohlen, Bohrpfählen oder Schlitzwand hergestellt. Nach dem Abtrag der Erdmassen können diese Wände bei Bedarf durch Anker unterstützt werden, um anstehende Druckkräfte, wie zum Beispiel Gebirgs-, Wasser- oder Erddrücke, ins anstehende Gelände zu übertragen. (Kolymbas 1998: S.69)

Stützmauern hingegen übertragen Kräfte und Momente aus Erd- und Wasserdruck im Wesentlichen durch die Sohle in den Untergrund. Sie können als Schwergewichtsmauer oder Winkelstützmauer ausgeführt werden und erfordern große Mauergewichte. Der Querschnitt einer Schwergewichtsmauer ist so zu gestalten, dass die resultierende Kraft aus Eigengewicht und Auflast innerhalb des Mauerkerne liegt. (Möller 2006: S.291) Die stützende Kraft ergibt sich aus dem Eigengewicht der Mauer und der Reibung in der Aufstandsfläche. (Cornforth 2005: S.385) Im Gegensatz dazu rufen Winkelstützmauern eine weitere stützende Kraft durch Gewicht aus einem Teil der gestützten Erdmassen ab. Sie können daher mit geringeren Querschnitten auskommen, müssen aber aus Stahlbeton hergestellt werden. (Dachroth 2001: S.315)

Die angespannte wirtschaftliche Situation, die schlechte Infrastruktur und das Fehlen von modernen Gerätschaften beeinflusst die Auswahl der angewandten Baumaßnahmen in Nepal. Um den Einsatz von teuren Importwaren wie Stahl oder Zement möglichst gering zu halten und lange Transportwege zu vermeiden, wird

versucht, den Materialbedarf weitgehend durch die Verwendung von lokal verfügbaren Baustoffen, wie zum Beispiel Kies und Stein, zu decken.

Im Zuge der Geländebegehung wurden konstruktive Stabilisierungsmaßnahmen ausschließlich in der Form von Schwergewichtsmauern aus vermörtelten Steinschichtungen, Trockenmauerwerk oder Gabionen-Verbänden vorgefunden. Letztgenannte werden eigentlich zu den Verbundwänden gezählt, ihre Funktionsweise gleicht aber der von Schwergewichtsmauern. (Dachroth 2001: S.319) Die folgenden Darstellungen (Abb. 4-8 und 4-9) stellen allgemeine Bauarten von Schwergewichtsmauern schematisch dar. Im Gegensatz zur klassischen Stützmauer, der Retaining Wall, die nach der Fertigstellung mit Bodenmaterial hinterfüllt wird, baut man eine Breast Wall, auch Futtermauer genannt, an das zu sichernde Gelände an. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Futtermauer zur Böschungsverkleidung (siehe 4.1.4), da sie statisch eine tragende Funktion hat. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit bezeichnet der Begriff Futtermauer stets die Ausführung als Schwergewichtsmauer.

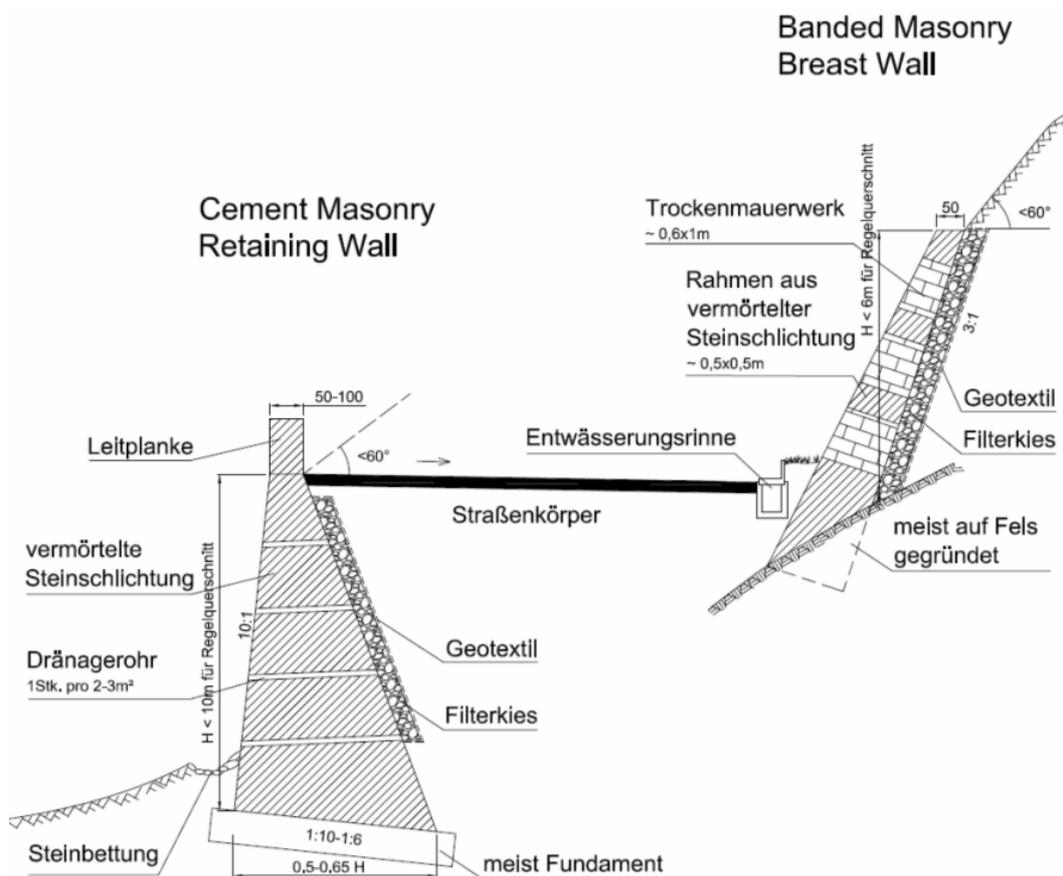


Abb. 4-8: Stützmauern aus Naturstein (nach DOR 2009: S.62 und Möller 2006: S.311-314)

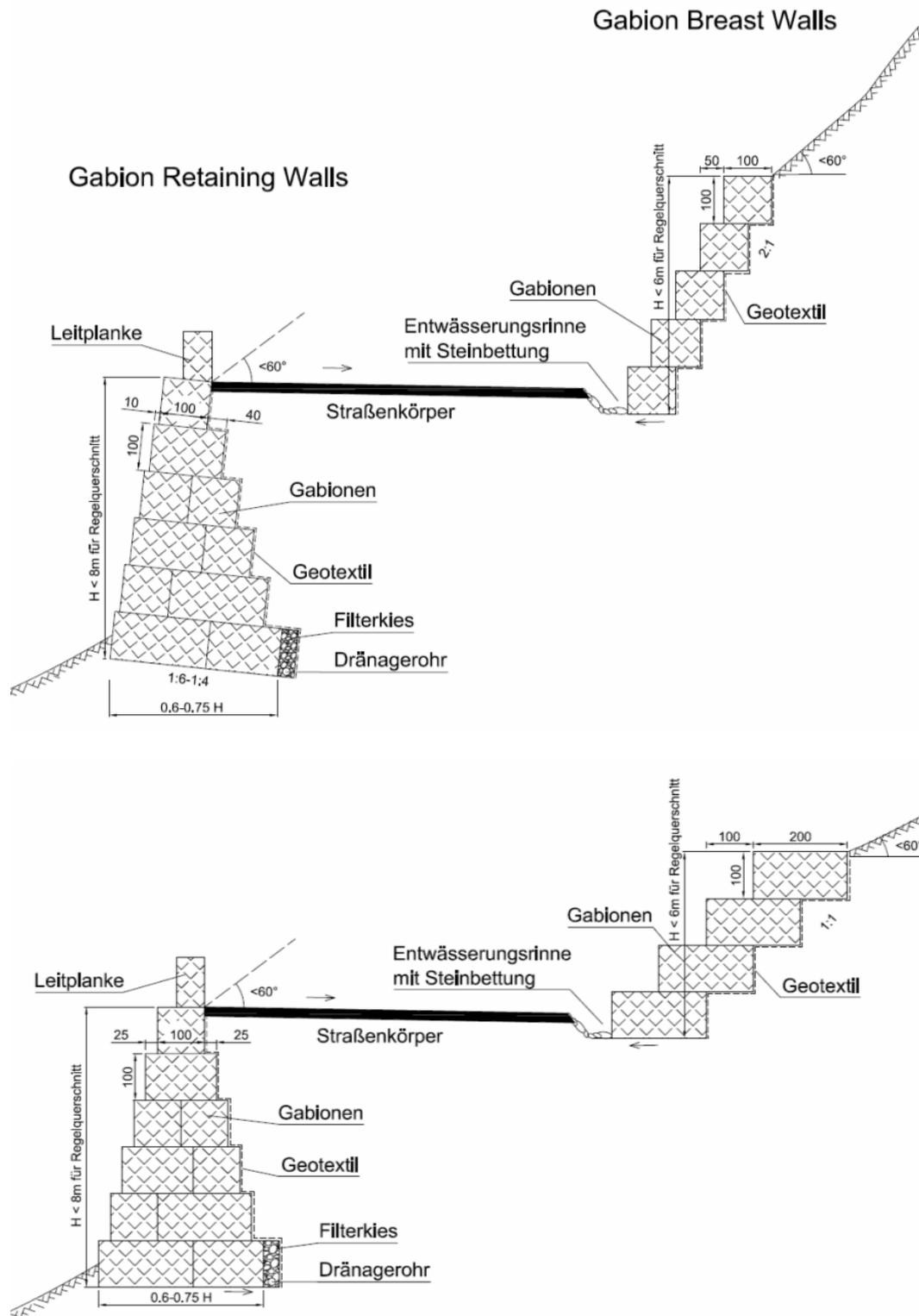


Abb. 4-9: Stützmauern aus Gabionen (nach Deoja et al. 1991: S.700 und Dachroth 2002: S.320)

## 5 Datensammlung

Das folgende Kapitel widmet sich der Beschreibung der tatsächlichen Ausführung von Hangsicherungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet. Die Konstruktionen und ihre Umgebung werden genau beschrieben und qualitativ analysiert. In diesem Teil soll weiters auf eventuelle Mängel der Maßnahmen hingewiesen werden.

Die abgebildeten Schnitte der Sicherungsbauwerke stellen einen leicht idealisierten Zustand dar. Die Art der Gründung konnte im Zuge der Geländebegehung nicht eruiert werden, weshalb eventuelle Fundamente in den Darstellungen nicht enthalten sind. Vorhandene Mängel oder Schäden, die Funktionsweise, örtliche Gegebenheiten und Einflussfaktoren werden in den anschließenden Textpassagen genauer beschrieben.

Kilometerangaben zur Position der Objekte beziehen sich auf die Distanz von Naubise. Diese Kilometrierung wird auch vor Ort genutzt und ist entlang des Highway in regelmäßigen Abschnitten auf Meilensteinen ausgeschildert.

## 5.1 Banded Masonry Breast Wall – Objekt 1



Abb. 5-1: Objekt 1 - Foto

### 5.1.1 Beschreibung

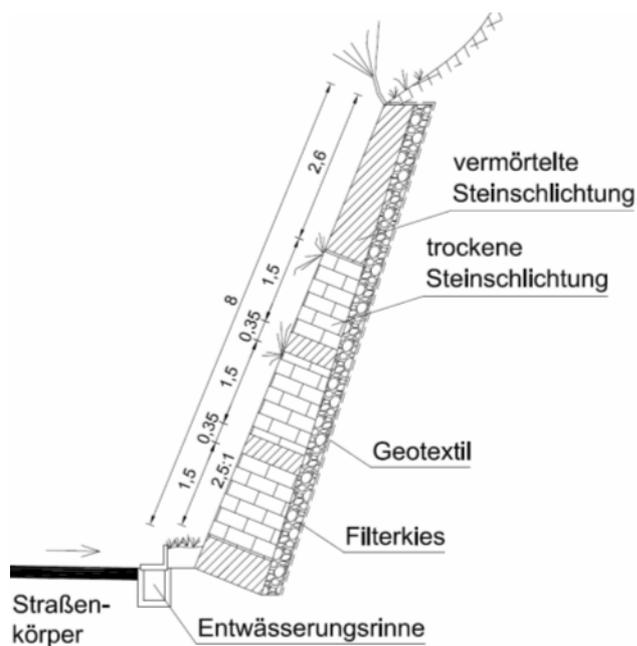


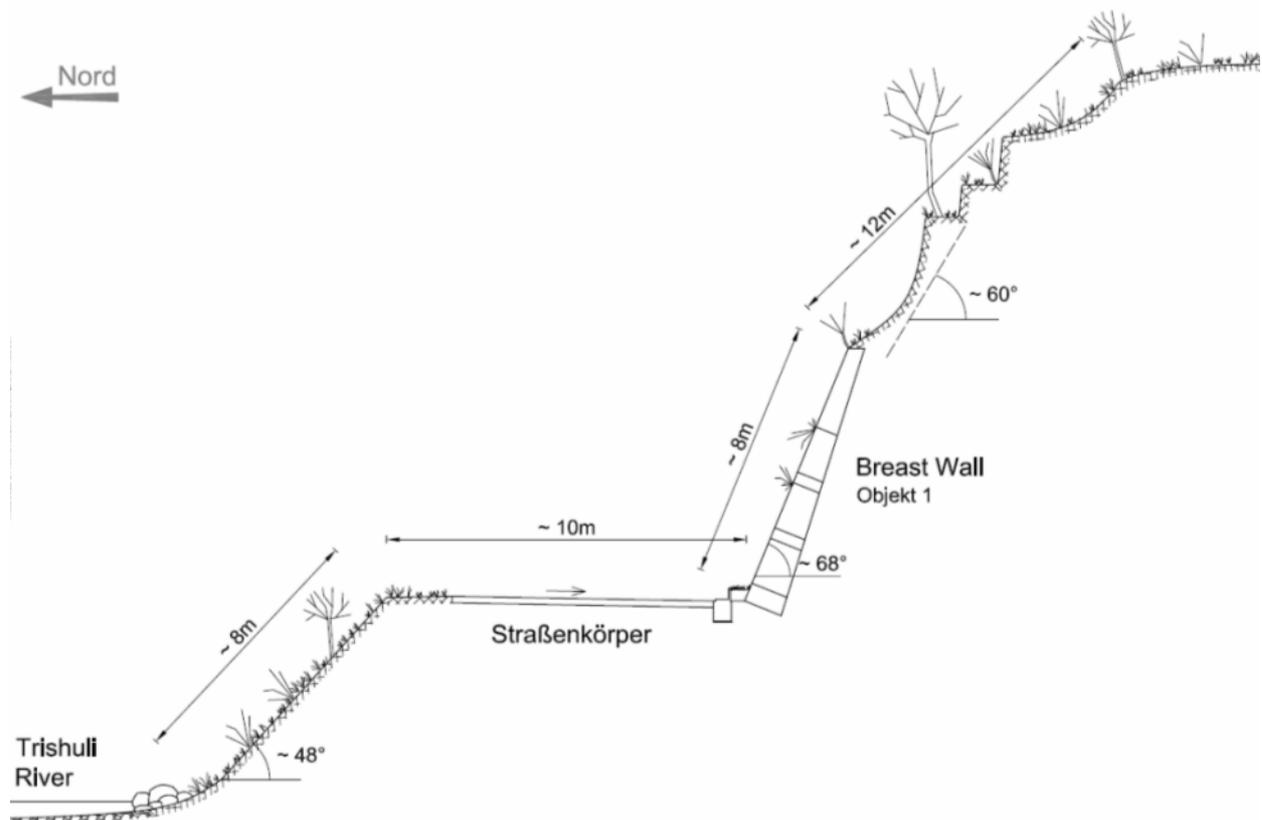
Abb. 5-2: Objekt 1 - Schnitt durchs Bauwerk

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Banded Masonry Breast Wall, also eine Futtermauer aus Naturstein, zur Sicherung des anstehenden Geländeeinschnitts.

Das Objekt liegt bei Kilometer 12 des Prithivi Highways (N27.75062°, E85.05828°). In diesem Bereich steigt das Gelände direkt neben dem Ufer des Trishuli Flusses mit rund 48° bis auf Straßenniveau an. Der Geländeeinschnitt südlich der Straße ist mit einer Banded Masonry Breast Wall gesichert. Dieser

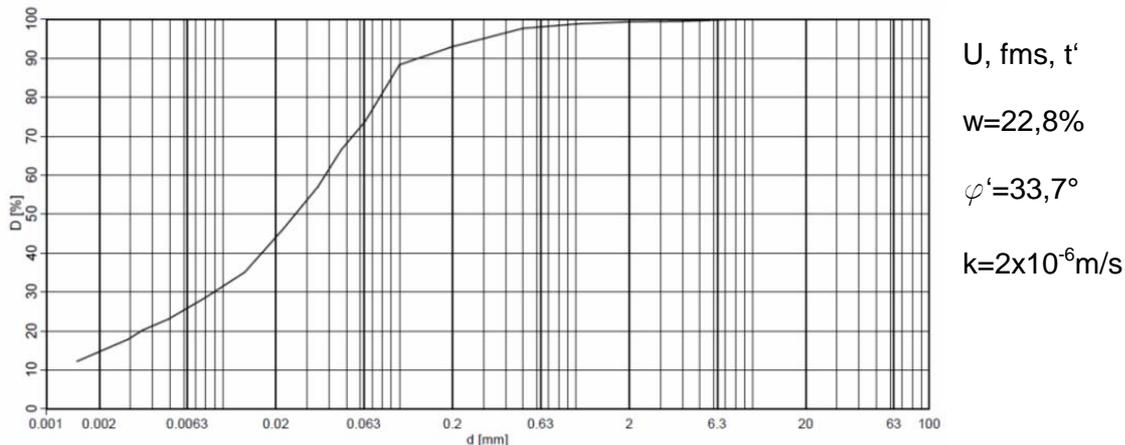
Mauertyp besteht aus einer Rahmenkonstruktion aus vermörtelter Steinschichtung, deren Aussparungen mit trocken eingelegten Natursteinen ausgefüllt sind. Die Mauer hat eine Höhe von 8m und eine Neigung der Mauerfront von 68°. Über der Mauerkrone steigt das Gelände weiter steil an, ehe es in Terrassen übergeht und schlussendlich abflacht. Die ebene Fläche über der Böschung wird ackerbaulich genutzt.

Die Entwässerung erfolgt über eine straßenseitige Rechteckrinne mit Abdeckung, die sowohl Oberflächenwasser der Straße als auch Tiefenwasser aus der Bauwerksentwässerung sammelt und ableitet. Durch die Ausführung mit Trockenmauerwerk bedarf die Mauer keiner weiteren horizontalen Dränöffnungen. (DOR 2009: S.31) Im Bereich der Sicherungsmaßnahme wurden keine weiteren Entwässerungssysteme vorgefunden.



**Abb. 5-3: Objekt 1 - Schnitt durchs Gelände**

Der anstehende Boden ist ein sandiger Schluff mit geringem Tonanteil. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung lag der Wassergehalt bei rund 23%. Böden dieser Art besitzen eine mäßige Scherfestigkeit und eine geringe Verdichtbarkeit. Sie haben eine mäßige Durchlässigkeit und gelten als brauchbarer Baugrund für Gründungen. (Soos 2001: S.188-199)



**Abb. 5-4: Objekt 1 – Kornverteilungskurve**

Das anstehende Gelände war nicht flächendeckend mit Vegetation bedeckt. Der Böschungsbereich zwischen Fluss und Straße war dicht mit Gräsern und Sträuchern bewachsen. Im steilen Bereich der Kopfböschung war die Böschung nicht begrünt und der Boden lag ungeschützt vor. Die Terrassen im Oberhang waren mit Gräsern und Sträuchern dicht bewachsen, vereinzelt stehen in diesem Bereich kleine Laubbäume. Der flache Bereich über der Böschung wird ackerbaulich genutzt.

### 5.1.2 Qualitative Analyse

Den Geländeeinschnitt mit einer Futtermauer aus Naturstein zu sichern ist aus wirtschaftlicher Sicht eine gute Entscheidung. Hauptbestandteile dieser Maßnahme sind Natursteine, die lokal gewonnen und verarbeitet werden können und keine langen Transportwege erfordern. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Mörtel kann vor Ort hergestellt werden, bedarf aber der Verwendung von Zement, der in Nepal zu den teuren Baustoffen zählt. Bei dieser Konstruktion ist Mörtel nur für die Rahmenkonstruktion notwendig. Das Trockensteinmauerwerk, mit dem die Aussparungen ausgefüllt sind, kommt gänzlich ohne den Einsatz von Zement aus. Die Maßnahme ist daher aus wirtschaftlicher Sicht zu begrüßen.

Der steile Böschungseinschnitt verhindert den Verlust von Nutzflächen über der Böschung und ist aus sozialer Sichtweise positiv zu betrachten. An dieser Stelle ist auf eine mögliche Beeinträchtigung der Böschungstabilität hinzuweisen, die aus der Erhöhung des Wassergehaltes in Folge von landwirtschaftlichen

Bewässerungsmaßnahmen resultieren könnte. Gerodete Gehölze, die bei den Instandhaltungsmaßnahmen der Terrassen anfallen, können als Brennholz verwendet werden. Die Konstruktion der Futtermauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet.

Durch die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche über der Böschung ist in diesem Bereich mit erhöhtem Wasserzutritt zu rechnen. Die Anwendung einer Banded Masonry Breast Wall ist bei diesen Verhältnissen aus technischer Hinsicht sehr zu empfehlen, da dieser Mauertyp durch das eingelegte Trockenmauerwerk eine hohe Dränleistung erzielt. Die Anwendung wird für Mauerhöhen kleiner 6m empfohlen. (Deoja et al. 1991: S.698) Dieser Wert wird bei der Sicherungsmaßnahme überschritten. Die Rahmenkonstruktion sollte laut DOR (2009: S.31) mit der Mindeststärke von 0,6m und einer maximalen Aussparung von 1x1m ausgeführt werden. Von beiden Werten wurde in diesem Fall nachteilig abgewichen, was eine Reduktion der Tragfähigkeit zur Folge hat. Trotzdem hat die Futtermauer aktuell keine Anzeichen auf eine Beeinträchtigung der Standsicherheit.

Bei der Ausführung der Futtermauer wurden nur Teile der zu sichernden Böschung berücksichtigt. Sowohl in der Breite als auch in der Höhe ist die Mauer zu kurz ausgelegt, wodurch der anstehende Boden teilweise ungeschützt vorliegt. Die Kopfböschung ist mit einer Neigung von mindestens 60° zu steil eingeschnitten. Der anstehende Boden sollte mit einer Neigung von rund 35° eingeschnitten werden (Schmidt 2001: S.620). Auch die empfohlene maximale Neigung der Kopfböschung bei Banded Masonry Breast Walls (60°) wird ausgereizt. (DOR 2009: S.29) Teile davon sind bereits von Rutschungen und Erosionsschäden betroffen, wodurch sich die Neigung zusätzlich vergrößerte und der Boden frei liegt. Diese Bereiche müssen begrünt werden, um größere Schäden zu vermeiden. Der anstehende Boden verfügt über große Anteile von Feinmaterial, welches besonders anfällig für Erosionsschäden ist. In der Regenperiode könnten diese Bodenmassen durch Erosionsvorgänge in Folge von Starkniederschlägen weiter beschädigt werden und den Straßenbetrieb gefährden.

Zu den Instandhaltungsmaßnahmen einer Futtermauer zählt die Entfernung des Mauerbewuchses. (Deoja et al. 1991: S.692) Große Teile der Mauerfläche sind von Gräsern und Sträuchern bewachsen und sollten entfernt werden. Ausgebrochene Steine im Trockenmauerwerk deuten auf ein unachtsames Verhalten bei der Entfernung von früherem Bewuchs hin. Durch die ausgebrochenen Stellen der Mauer geht die rückhaltende Filterwirkung verloren und Schotter der Dränage kann ausgespült werden. Daraus könnte eine Abnahme der Entwässerungsleistung folgen. Auf den Terrassen erhöhen Bäume die Masse des Oberhanges. Bäume mit Durchmessern über 30cm müssen entfernt werden, um die treibenden Massen zu reduzieren. (Veder 1979: S.184)

## 5.2 Cement Masonry Breast Wall – Objekt 2



Abb. 5-5: Objekt 2 – Foto

### 5.2.1 Beschreibung

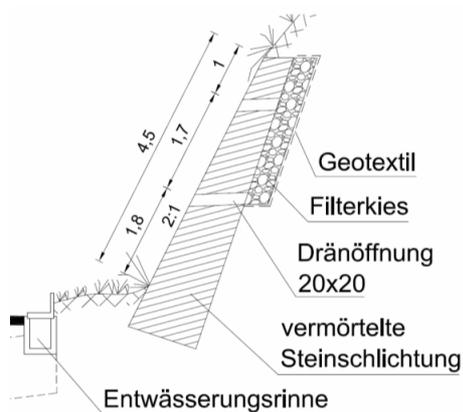
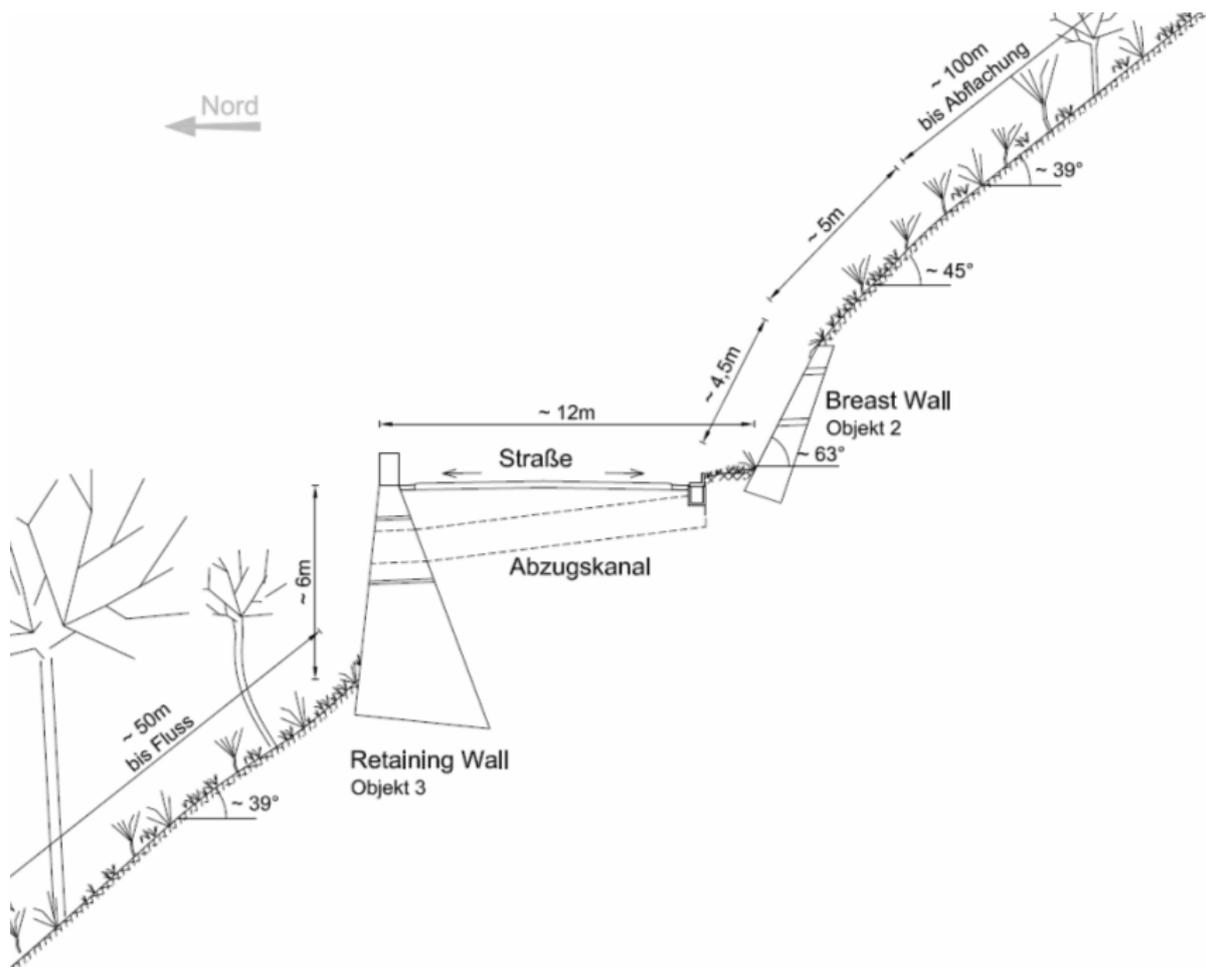


Abb. 5-6: Objekt 2 – Schnitt durchs Bauwerk

Bei Kilometer 70 (N27.84922°, E84.65946°) befindet sich der Prithivi Highway rund 50m vom Fluss entfernt. Der Einschnitt ins ca. 39° geneigte Gelände ist durch eine Futtermauer auf der Bergseite (Objekt 2) und durch eine Stützmauer auf der Talseite (Objekt 3) gesichert.

Die Futtermauer ist als Cement Masonry Breast Wall ausgeführt, eine Konstruktion aus vermörtelter Steinschichtung. Sie hat eine Neigung von 63° und eine Höhe von 4,5m. Die Mauer ist in der Mitte durch eine Ausbauchung und durch massive Rissbildung mit Stärken bis zu 15cm beschädigt. Oberhalb der Mauerkrone ist der Einschnitt für rund 5m mit 45° abgebösch, ehe das Gelände in die ursprüngliche Neigung von rund 39° übergeht.

Die Entwässerung erfolgt über eine straßenseitige Rechteckrinne mit Abdeckung, die sowohl Oberflächenwasser der Straße als auch Tiefenwasser aus der Bauwerkentwässerung sammelt und ableitet. Die Bauwerkentwässerung erfolgt über rechteckige Dränöffnungen durch die Mauer. Im Bereich der Mauer befindet sich ein Abzugskanal, der gesammeltes Wasser unter dem Straßenkörper zur Talseite des Einschnitts leitet.



**Abb. 5-7: Objekt 2 – Schnitt durchs Gelände**

Der anstehende Schluff-Boden mit starken Kies- und Sandanteilen hatte zum Zeitpunkt der Probenentnahme einen Wassergehalt von 8,2%. Solche Böden besitzen eine hohe Scherfestigkeit, eine mittlere Verdichtbarkeit und eine sehr geringe Durchlässigkeit. In der Regel gilt dieser Boden als brauchbarer Baugrund für Gründungen. (Soos 2001: S.188-199) Das Gelände im Bereich der Sicherungsmaßnahme war flächendeckend mit Sträuchern, Gräsern und vereinzelt Bäumen bewachsen. Der Bewuchs über der

Mauerkrone ist bei den vorhandenen Neigungen und dem anstehenden Boden essentiell, um die Stabilität des Hanges zu gewährleisten.

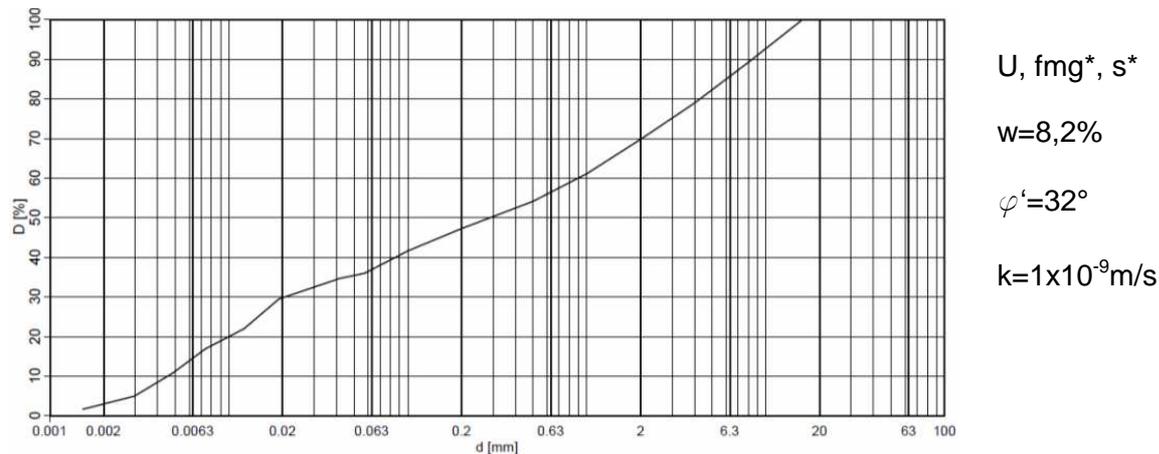


Abb. 5-8: Objekt 2 – Kornverteilungskurve

### 5.2.2 Qualitative Analyse

In technischer Hinsicht ist die Anwendung einer Cement Masonry Breast Wall für das anstehende Gelände keine optimale Wahl. Das Mauerwerk hält den einwirkenden Belastungen des rutschenden Erdkörpers nicht stand. Ausbauchungen und Risse mit Stärken bis zu 15cm sind die Auswirkung. Das Schadensbild deutet auf eine Kombination von Auslösern hin. Eine Ursache könnte eine generelle Unterdimensionierung des Mauerwerks sein, wodurch die auftretenden Belastungen die Grenzen der Baustofffestigkeiten überschritten haben. Eine weitere Möglichkeit ist die Rissbildung durch ungleichmäßige Setzungen des Baugrundes. Dieser Mauertyp wird für Gründung auf setzungsempfindlichen Böden nicht empfohlen. (Nodoushani 2004: S.178) Im Gegensatz zu Konstruktionen aus Gabionen sind vermörtelte Steinschichtungen weniger flexibel und nicht in der Lage Setzungsunterschiede auszugleichen. Bei der Errichtung ist auf eine stabile Gründung zu achten. Die Auswirkungen der Setzungsunterschiede könnten von Fehlern bei der Ausführung verstärkt worden sein. Die empfohlene Herstellung von Bewegungsfugen in Abständen von maximal 10m, die der Entstehung von Spannungsrissen entgegenwirken soll, wurde bei der Errichtung der Mauer nicht berücksichtigt. (2009: S.38) Im Zuge der Geländebegehung wurde eine unzureichende Bauwerksentwässerung festgestellt. DOR (2009: S.38) empfiehlt für die Entwässerung dieses Mauertyps ein Dränrohr pro 2-3m<sup>2</sup> Mauerfläche. Dieses Objekt wird mit einem Dränrohr pro 8m<sup>2</sup> entwässert. Ein möglicher Anstieg des Grundwasserspiegels und ein damit verbundener Anstieg des

Porenwasserdrucks während der Regenperiode könnte der auslösende Faktor für die Bewegung des Rutschkörpers sein.

Zu den Instandhaltungsmaßnahmen zählt die Reparatur von vorhandenen Schäden. Im Zuge dessen sollte die Mauer saniert oder erneuert werden. Weiters müssen vorhandene Bäume mit Durchmessern über 30cm entfernt werden, um die treibende Masse im Oberhang zu reduzieren. (Veder 1979: S.184) Die Mauer an sich ist von Vegetation befreit und nicht bewachsen. Die vorhandenen Dränsysteme sind voll funktionsfähig.

Gerodete Gehölze, die bei den Instandhaltungsmaßnahmen der Terrassen anfallen, können als Brennholz verwendet werden. Die Konstruktion der Futtermauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Auch bei dieser Konstruktion ist kein übermäßiger Einsatz von Zement erforderlich und der Hauptbestandteil, nämlich Naturstein, ist lokal verfügbar. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Mörtel kann vor Ort hergestellt werden, bedarf aber der Verwendung von Zement, der in Nepal zu den teuren Baustoffen zählt.

### 5.3 Cement Masonry Retaining Wall – Objekt 3



Abb. 5-9: Objekt 3 – Foto

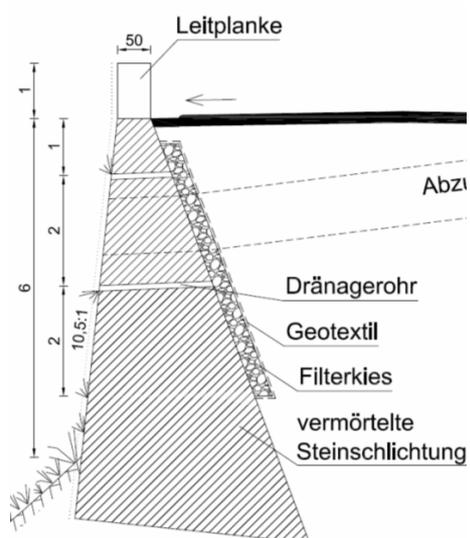


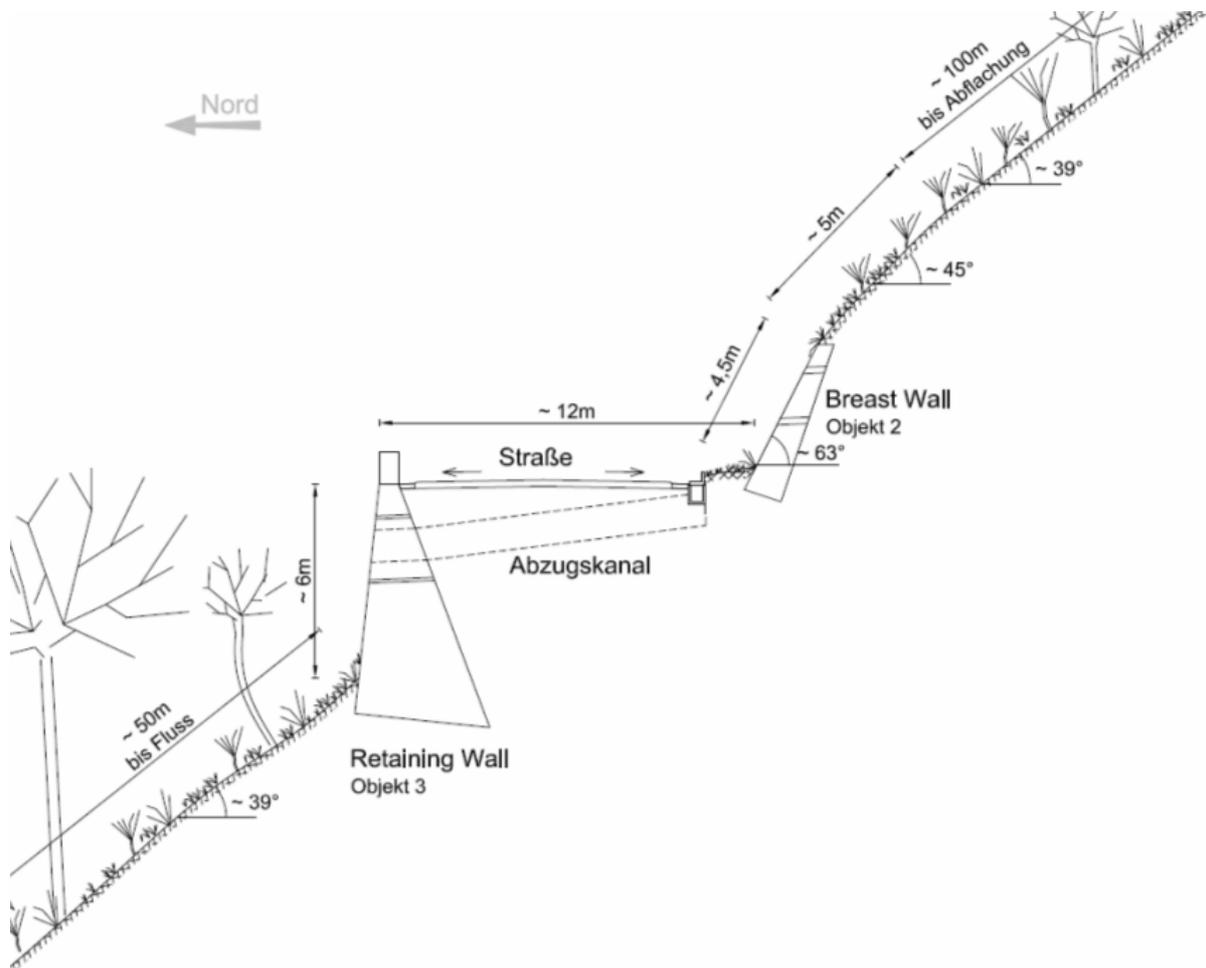
Abb. 5-10: Objekt 3 – Schnitt  
durchs Bauwerk

#### 5.3.1 Beschreibung

Bei Kilometer 70 (N27.85073°; E84.65745°) befindet sich der Prithivi Highway rund 50m vom Fluss entfernt. Der Einschnitt ins ca. 39° geneigte Gelände ist durch eine Futtermauer auf der Bergseite (Objekt 2) und durch eine Stützmauer auf der Talseite (Objekt 3) gesichert.

Die Stützmauer ist als Cement Masonry Retaining Wall ausgeführt, eine Konstruktion aus vermörtelter Steinschichtung. Sie hat eine Front-Neigung 10,5:1 und eine maximale Höhe von 6m. Angrenzende Mauerteile entlang der Bewegungsfugen weisen einen horizontalen Versatz von bis zu 10cm auf, was auf eine Überschreitung der Gleitsicherheit von

einzelnen Mauerteilen hindeutet. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite wird der Einschnitt mit einer Futtermauer gesichert (siehe Objekt 2).



**Abb. 5-11: Objekt 3 – Schnitt durchs Gelände**

Die Querneigung der Straße ist in diesem Bereich als Dachprofil ausgeführt. Oberflächenwasser wird einerseits in einer gegenüberliegenden Rechteckrinne gesammelt und andererseits über die Mauerkrone abgeleitet. Die Bauwerksentwässerung erfolgt über Dränrohre durch die Mauer. Außerdem befindet sich unter der Straße ein Abzugskanal, der gesammeltes Wasser aus der Rechteckrinne durch eine Aussparung im Mauerwerk führt.

Der stark sandige und schluffige Kiesboden hatte zum Zeitpunkt der Probenentnahme einen Wassergehalt von 11,1%. Solche Böden besitzen in der Regel eine hohe Scherfestigkeit, eine mittlere Verdichtbarkeit und eine sehr geringe Durchlässigkeit. In der Regel gilt dieser Boden als brauchbarer Baugrund für Gründungen. (Soos 2001: S.188-199) Das Gelände war im Bereich der Sicherungsmaßnahme flächendeckend mit Sträuchern, Gräsern und vereinzelt Bäumen bewachsen.

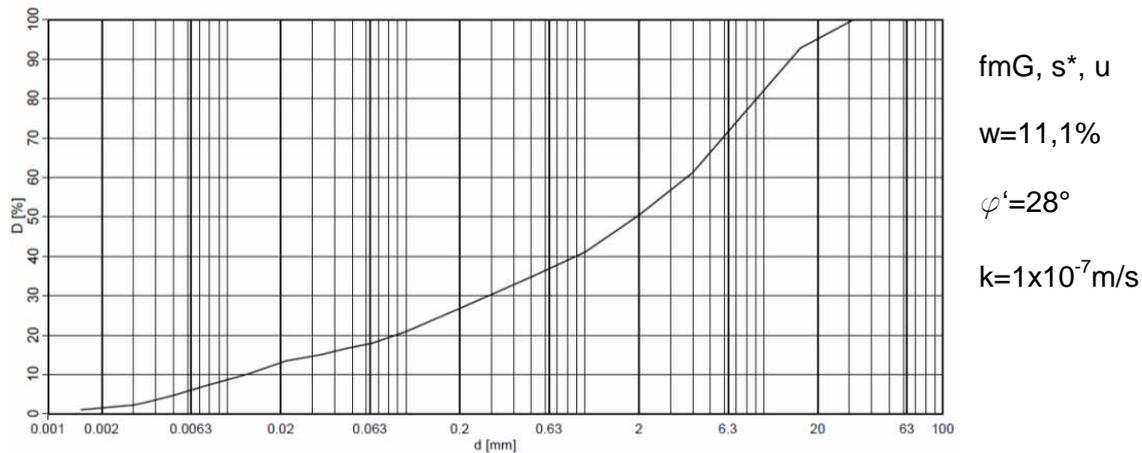


Abb. 5-12: Objekt 3 - Kornverteilungskurve

### 5.3.2 Qualitative Analyse

In technischer Hinsicht ist die Anwendung einer Cement Masonry Breast Wall für das anstehende Gelände eine gute Wahl. Sowohl die Höhe, die Breite, als auch die Neigung der Mauer und des anstehenden Geländes entsprechen den Vorgaben aus den technischen Richtlinien.

Die Stützmauer wurde mit Bauwerksfugen im empfohlenen Abstand von 6m hergestellt. Angrenzende Mauerteile entlang der Fugen weisen einen horizontalen Versatz von bis zu 10cm auf. In diesen Bereichen des Versatzes ist das asphaltierte Bankett von leichter Rissbildung betroffen. Ebenfalls in diesen Bereichen ist die horizontale Bauwerksentwässerung mangelhaft. Auf einer Fläche von rund 30m<sup>2</sup> befindet sich nur eine horizontale Dränöffnung durchs Mauerwerk, was eine massive Unterschreitung der empfohlenen Entwässerungsleistung bedeutet. Porenwasserüberdruck könnte Grund für die erhöhte Belastung der Stützmauer und somit Auslöser für das Überschreiten der Gleitsicherheit sein. (Shrestha et al. 2012: S.47) In den anderen Bereichen der Stützmauer ist die empfohlene Anzahl an Dränöffnungen ebenfalls unterschritten, allerdings im kleineren Ausmaß.

Um Verstopfungen und den Verlust der Dränwirkung zu vermeiden, müssen Entwässerungssysteme im Zuge der Instandhaltungsmaßnahmen gereinigt werden. (DOR 2009: S.21) Zum Zeitpunkt der Geländebegehung waren die horizontalen Dränrohre teilweise verlegt und mit Gräsern bewachsen, was zu einer wiederholten Erhöhung des Grundwasserspiegels und zum Vorantreiben des Versatzes führen könnte. Wasser aus dem Abzugskanal wird durch die Mauer geleitet und in einer

Oberflächenrinne zum Vorfluter geleitet. Diese Rinne ist von Ablagerungen aus Plastikmüll bedeckt.

Auch bei dieser Konstruktion ist kein übermäßiger Einsatz von Zement erforderlich und der Hauptbestandteil, nämlich Naturstein, ist lokal verfügbar. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Mörtel kann vor Ort hergestellt werden, bedarf aber der Verwendung von Zement, der in Nepal zu den teuren Baustoffen zählt. Die Konstruktion der Mauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Erwähnt werden soll hier, dass diese Konstruktionen gewaltige Mauergewichte erfordern, welche einen großen Materialverbrauch zur Folge haben.

## 5.4 Cement Masonry Retaining Wall – Objekt 4



Abb. 5-13: Objekt 4 – Foto

### 5.4.1 Beschreibung

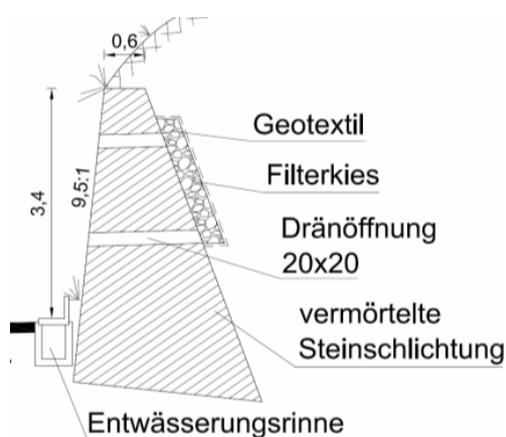


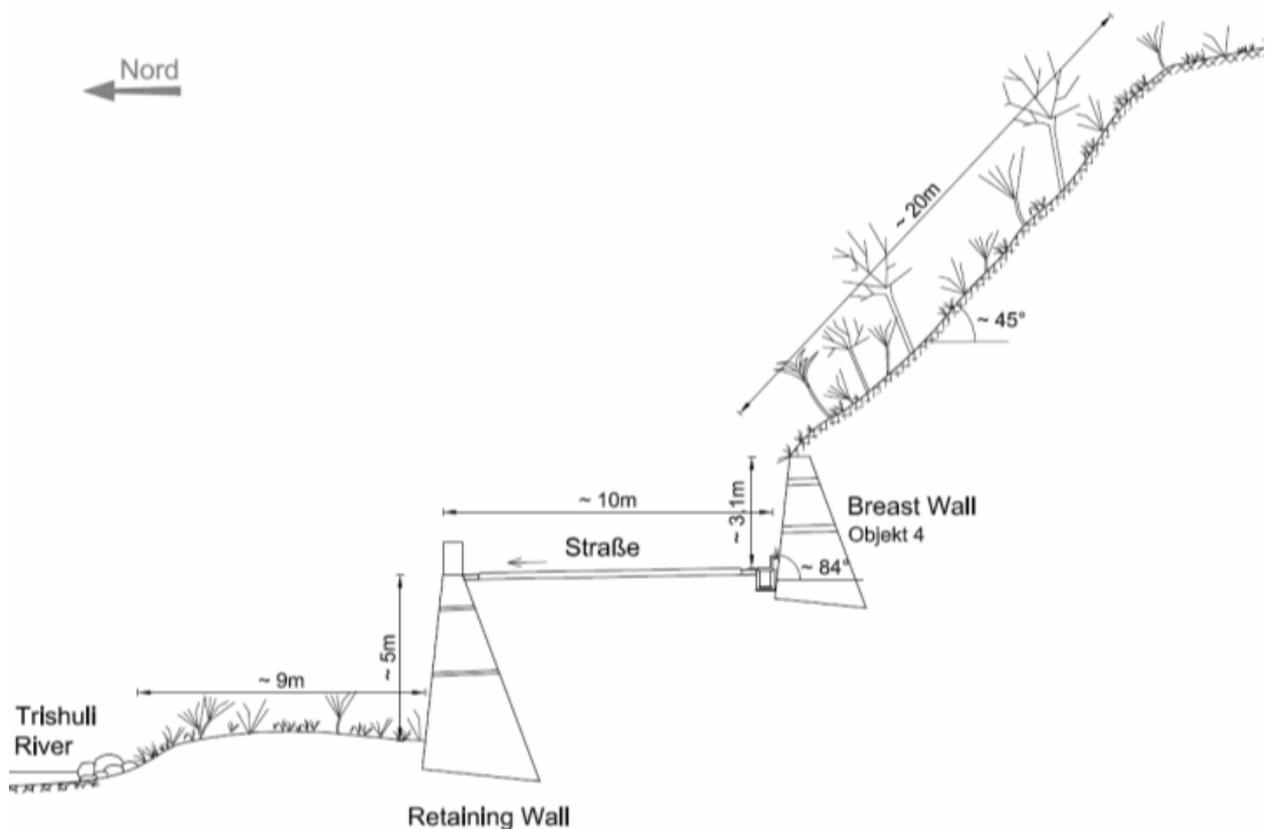
Abb. 5-14: Objekt 4 - Schnitt durchs Bauwerk

Dieses Objekt liegt bei Kilometer 28 des Prithivi Highways (N27.80949°, E84.96476°). Das Gelände verläuft hier neben dem Ufer des Trishuli Flusses flach bis zum Highway. Der Geländesprung von rund 5m bis auf Straßenniveau wird durch eine Stützmauer gesichert. Der hangseitige Geländeeinschnitt südlich der Straße ist mit einer Cement Masonry Retaining Wall (Objekt 4) sowie einer Gabion Retaining Wall gestützt. Objekt 4, eine Stützmauer aus vermörtelter Steinschichtung, hat eine Höhe von 3,4m und eine Neigung der

Mauerfront von  $84^\circ$ . Über der Mauerkrone steigt das Gelände mit  $45^\circ$  steil an, ehe es nach rund 20m abflacht.

Die Mauer befindet sich in einer gekippten Position, wobei die Kippbewegung zum Hang erfolgte und die Mauer somit flacher wurde. Dieses Schadensbild deutet auf eine passive Deformation hin, hervorgerufen durch eine tiefliegende Rotationsbewegung. (Pech und Würger 2005: S.52) Die Rissbildung am Mauerwerk (siehe Abb. 5-17) könnte die Auswirkung dieser Bewegung sein. Eine Ursache für das Entstehen von Rissen an Mauerwerken aus Naturstein ist die Verformungsbehinderung. (Nodoushani 2004: S.178)

Die Entwässerung erfolgt über eine straßenseitige Rechteckrinne mit Abdeckung, die sowohl Oberflächenwasser der Straße als auch Tiefenwasser aus der Bauwerksentwässerung sammelt und ableitet. Die Bauwerksentwässerung erfolgt über rechteckige Dränöffnungen durch die Mauer. Im Bereich der Sicherungsmaßnahme wurden keine weiteren Entwässerungssysteme vorgefunden.



**Abb. 5-15: Objekt 4 – Schnitt durchs Gelände**

Der anstehende Boden ist ein stark kiesiger, schluffiger Sand. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung lag der Wassergehalt bei rund 11,1%. Böden dieser Art besitzen

eine hohe Scherfestigkeit, eine mittlere Verdichtbarkeit, eine mittlere Durchlässigkeit und sind für die Gründung von Bauwerken geeignet. (Soos 2001: S.190-191) Der Böschungsbereich war mit Gräsern, Sträuchern und kleinen Laubbäumen dicht bewachsen.

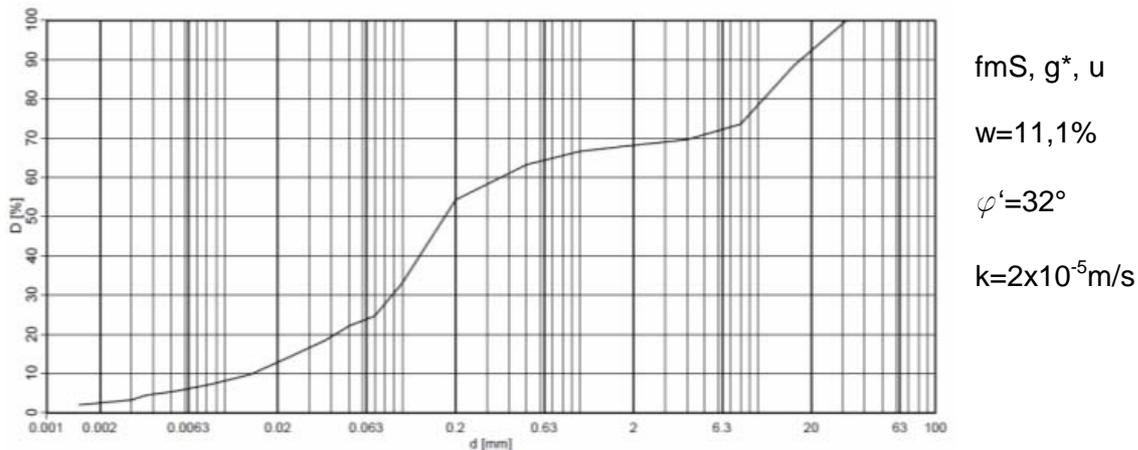


Abb. 5-16: Objekt 4 - Kornverteilungskurve

### 5.4.2 Qualitative Analyse

Bei der Ausführung der Mauer wurden die Vorgaben aus den technischen Richtlinien, wie zum Beispiel die Anordnung von Bewegungsfugen, die Anzahl der horizontalen Dränöffnungen oder die maximalen Abmessungen, eingehalten. Die Anwendung von Cement Masonry Retaining Walls ist aber nicht geeignet, wenn die Gründung auf instabilem oder beweglichem Baugrund erfolgt. (Nodoushani 2004: S.178) Bei diesem Objekt könnte die Kippbewegung, hervorgerufen durch den rutschenden Baugrund, zu Spannungen geführt haben, die die Grenzen der Baustofffestigkeit überschritten haben und zur Rissbildung führten. Sollte sich die Rissbildung im Mauerwerk fortsetzen, könnte die Mauer ihre Standfestigkeit verlieren und kollabieren. Der



Abb. 5-17: Objekt 4 - Beschädigung

plötzliche Verlust von rückhaltenden Kräften im Böschungskörper könnte der auslösende Faktor einer schnellen Hangbewegung sein und eine massive Bedrohung für den Straßenbetrieb sowie für Menschenleben darstellen

Zu den Instandhaltungsmaßnahmen zählt die Reparatur von vorhandenen Schäden. Im Zuge dessen sollte die Mauer saniert oder erneuert werden. Abgesehen vom Riss im Mauerwerk befanden sich das Objekt sowie das Entwässerungssystem und das anstehende Gelände in einem gepflegten Zustand.

Auch bei dieser Konstruktion ist kein übermäßiger Einsatz von Zement erforderlich und der Hauptbestandteil, nämlich Naturstein, ist lokal verfügbar. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Mörtel kann vor Ort hergestellt werden, bedarf aber der Verwendung von Zement, der in Nepal zu den teuren Baustoffen zählt. Die Konstruktion der Mauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Erwähnt werden soll hier, dass diese Konstruktionen gewaltige Mauergewichte erfordern, welche einen großen Materialverbrauch zur Folge haben.

## 5.5 Gabion Retaining Wall – Objekt 5



Abb. 5-18: Objekt 5 – Foto

### 5.5.1 Beschreibung

Das Objekt liegt bei Kilometer 61 des Prithivi Highways (N27.79992°, E84.71072°) in unmittelbarer Nähe zum Trishuli Fluss. Neben dem Ufer verläuft das Gelände rund 6m flach und 10m mit mäßiger Steigung. Der anschließende 3m hohe Geländesprung zur

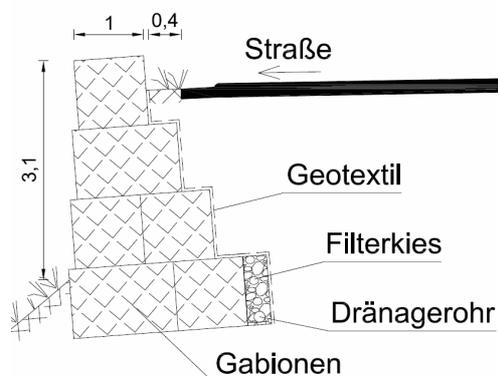
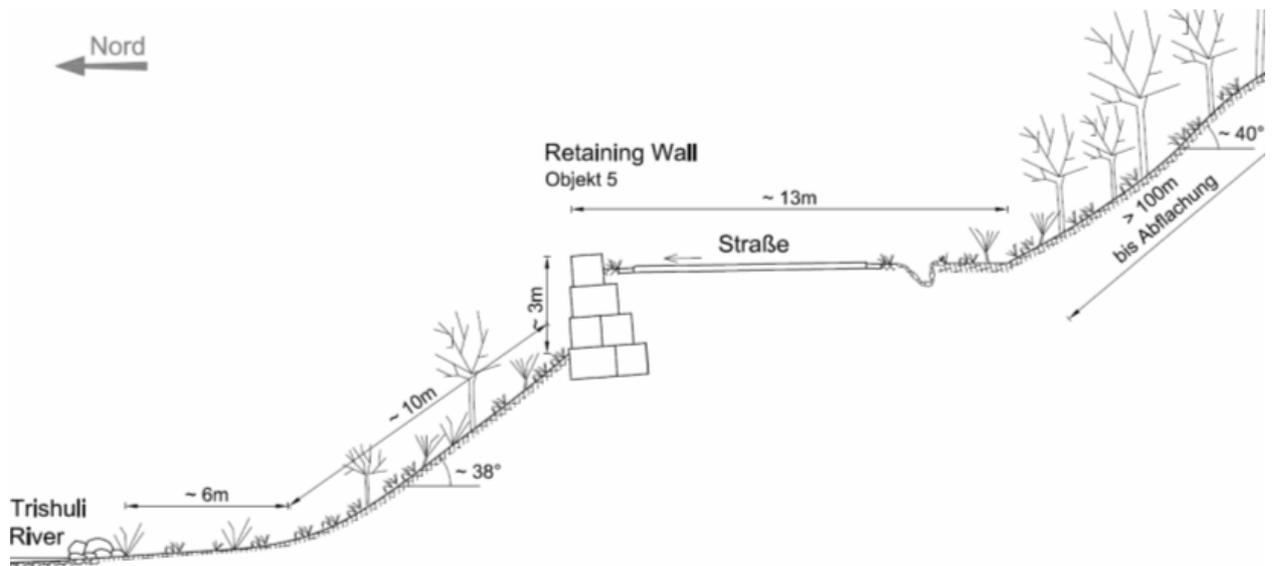


Abb. 5-19: Objekt 5 - Schnitt durchs Bauwerk

Straße wird durch Objekt 5 gesichert. Bei dieser Maßnahme handelt es um eine Gabion Retaining Wall, also eine Stützmauer aus Drahtgeflechtgabionen in getreppter Bauweise, zur Sicherung des Geländesprunges. Die Mauer befindet sich in einer gekippten Position, wobei die Kippbewegung hangabwärts erfolgte.

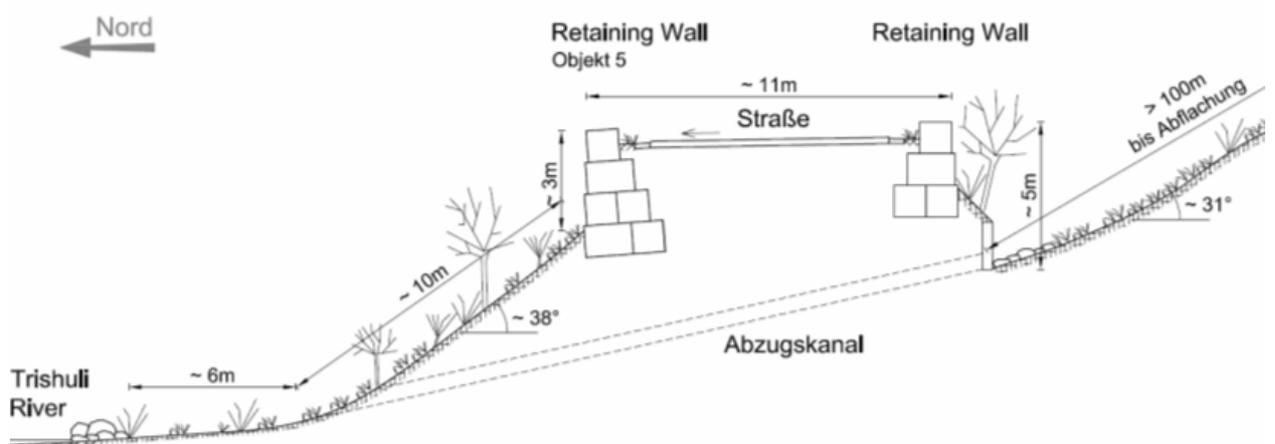
Südlich des Highway findet man zwei verschiedene Situationen vor. Grundsätzlich verläuft das Gelände mit ähnlicher Steigung weiter, ehe es nach rund

100m abflacht (siehe Abb. 5-20).



**Abb. 5-20: Objekt 5 - Schnitt A durchs Gelände**

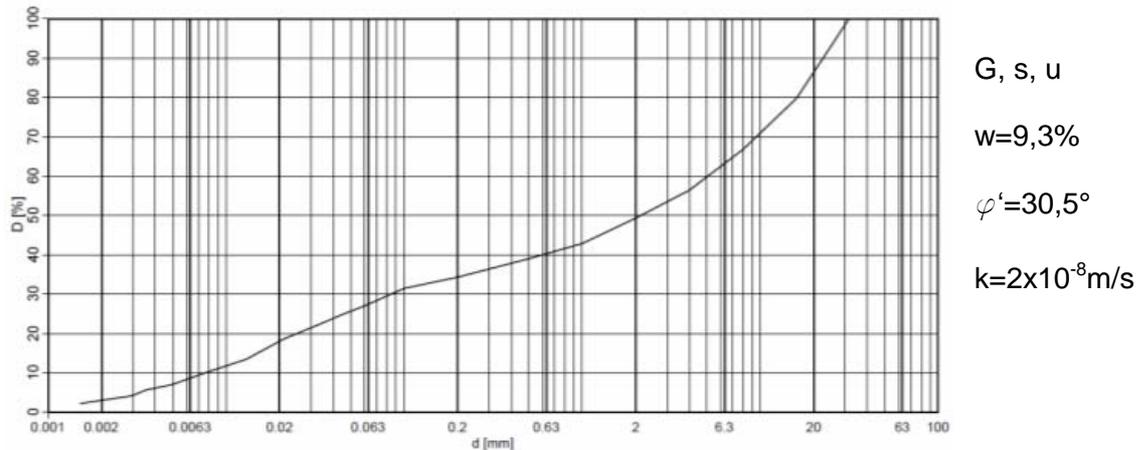
An einer Stelle werden der Straßenkörper und die Stützmauer von einem Abzugskanal gequert. Dieser Kanal bildet eine Quermöglichkeit für gesammeltes Wasser aus der straßenseitigen Entwässerungsrinne und für oberflächlich anfallendes Hangwasser, das in der Regensaison in einen rund 5m tiefen Graben südlich des Untersuchungsbereiches zufließt. Auch dieser Geländesprung zum Graben wird durch eine Stützmauer gesichert (siehe Abb. 5-21).



**Abb. 5-21: Objekt 5 - Schnitt B durchs Gelände**

Der anstehende Boden ist ein sandiger, schluffiger Kies. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung lag der Wassergehalt bei 9,3%. Böden dieser Art besitzen eine

große Scherfestigkeit, eine gute Verdichtbarkeit und eine sehr geringe Durchlässigkeit. In der Regel gelten solche Böden als brauchbarer Baugrund für Gründungen. (Soos 2001: S.190-191)



**Abb. 5-22: Objekt 5 - Kornverteilungskurve**

Der gesamte Böschungsbereich, sowohl der Unterhang als auch der Oberhang, war mit Gräsern, Sträuchern und kleinen Laubbäumen dicht bewachsen. Der Graben des Oberflächenzulaufes südlich der Straße war zum Zeitpunkt der Geländebegehung mit Gräsern und Sträuchern bewachsen.

### 5.5.2 Qualitative Analyse

Den Geländeeinschnitt mit einer Gabionenwand zu sichern ist aus wirtschaftlicher Sicht eine gute Entscheidung. Auch von dieser Maßnahme sind die Hauptbestandteile Natursteine, die lokal gewonnen und verarbeitet werden können und keine langen Transportwege erfordern. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Diese Konstruktion kommt gänzlich ohne die Verwendung von Zement oder Beton aus, bedarf allerdings der Verwendung von korrosionsbeständigem Draht. Die Konstruktion der Mauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Erwähnt werden soll hier, dass diese Konstruktionen gewaltige Mauergewichte erfordern, welche einen großen Materialverbrauch zur Folge haben.

In technischer Hinsicht ist die Anwendung einer Gabion Retaining Wall für das anstehende Gelände eine gute Wahl. Sowohl die Höhe, die Breite, als auch die Neigung der Mauer und des anstehenden Geländes entsprechen den Vorgaben aus den technischen Richtlinien. Gabionen gelten als flexible Bauweise und können daher auch in setzungsempfindlichem oder bewegtem Baugrund angewendet werden. (Jung 2015: S.15)

Die Stützmauer befindet sich in einer gekippten Position. Ausschlaggebend für die Kippsicherheit von Schwergewichtsmauern, wozu die Gabionenwand zählt, ist die Außermittigkeit der Resultierenden. (Jung 2015: S.59) Die Resultierende ist vereinfacht dargestellt die Kraftlinie aus Erddruck und Eigengewicht. Aufgrund der vorgegebenen Geometrie des Straßenquerschnittes kann der Erddruck bei diesem Objekt nur durch die Wahl des Materials zur Hinterfüllung und durch die Geometrie des Stützbauwerkes beeinflusst werden. Bei der Anwendung von Gabionen ist keine gesonderte Bauwerksentwässerung vorzusehen, da die Körbe an sich wasserdurchlässig sind. Das Mauergewicht ist abhängig von der Geometrie der Mauer, dem verwendeten Material und, bei geschichteten Füllungen, auch von der Lagerungsdichte der Steinschichtung. Die Porenräume in den Gabionen sind möglichst gering zu halten. Bei diesen Gabionen wurden zu viele runde Steine verbaut, wodurch eine geringe Lagerungsdichte entsteht und das Mauergewicht sinkt. Die Kippsicherheit der Stützmauer kann durch die oben erwähnten Faktoren, die alle in Zusammenhang mit der Ausführung stehen, stark beeinflusst werden. Im Zuge der Geländebegehungen wurden Mauern mit wesentlich größeren Schiefstellungen vorgefunden. Diese Mauer hat aktuell nur geringe Anzeichen auf ein Versagen der Standsicherheit, sollte aber weiterhin beobachtet werden.



Durch die Kippbewegung entstanden zwischen Bankett und Mauer Risse und in weiterer Folge unversiegelte Flächen, wodurch Oberflächenwasser in den Erdkörper infiltrieren kann (siehe Abb. 5-23). Im Zuge der Instandhaltungsmaßnahmen sollten diese Flächen versiegelt werden. Außerdem ist die Mauer auf Grund eines Fahrzeuganpralls stark beschädigt (siehe Abb. 5-18). Die Deformation und der Ausbruch in der Mauer beeinflussen das Eigengewicht und die Lage der resultierenden Kraft negativ.

**Abb. 5-23: Objekt 5 -  
Unversiegelte Flächen**

## 5.6 Gabion Trap Wall – Objekt 6



Abb. 5-24: Objekt 6 – Foto

### 5.6.1 Beschreibung

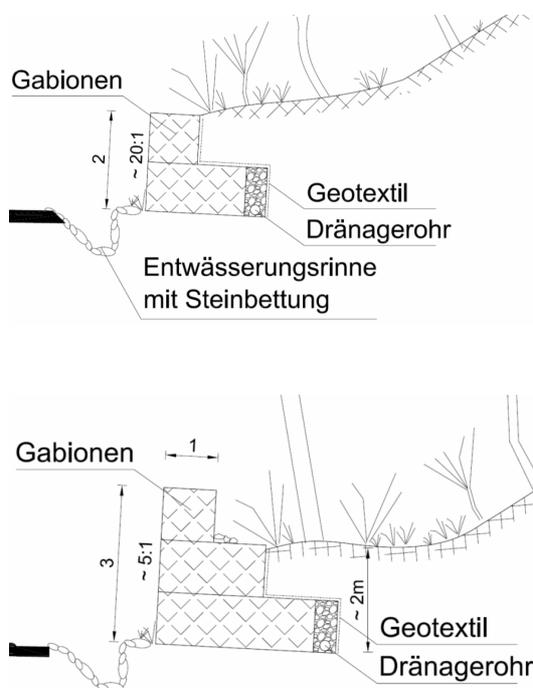


Abb. 5-25: Objekt 6 - Schnitte durchs Bauwerk

Bei diesem Objekt handelt es sich um eine Gabion Trap Wall, also eine Schutzvorrichtung zur Blockade von Bodenmassen, die durch eine Kriechbewegung des anstehenden Gehängelehms anfallen. Ein Teil der Mauer ist aus Gabionen in zwei Lagen ausgeführt. Dieser Bauwerksteil ist im mittleren Bereich des Objektes stark deformiert. Angrenzend zu dieser Beschädigung befindet sich eine neuere Mauer, die aus Gabionen in drei Lagen ausgeführt wurde.

Dieses Objekt liegt bei Kilometer 3 des Prithivi Highways (N27.73131°, E85.13729°). In diesem Bereich befindet sich der Straßenverlauf noch nicht in der Nähe des Trishuli Flusses. Das Gelände nördlich der Straße verläuft hier flach.

Terrassen und eine Stützmauer sichern den 5m hohen Geländesprung bis auf Straßenniveau. Südlich der Straße steigt das Gelände mit 32° Neigung an. Dieser Hang unterliegt einer Kriechbewegung, deren Auswirkungen durch die Trap Wall (Objekt 6) gedämpft werden sollen.

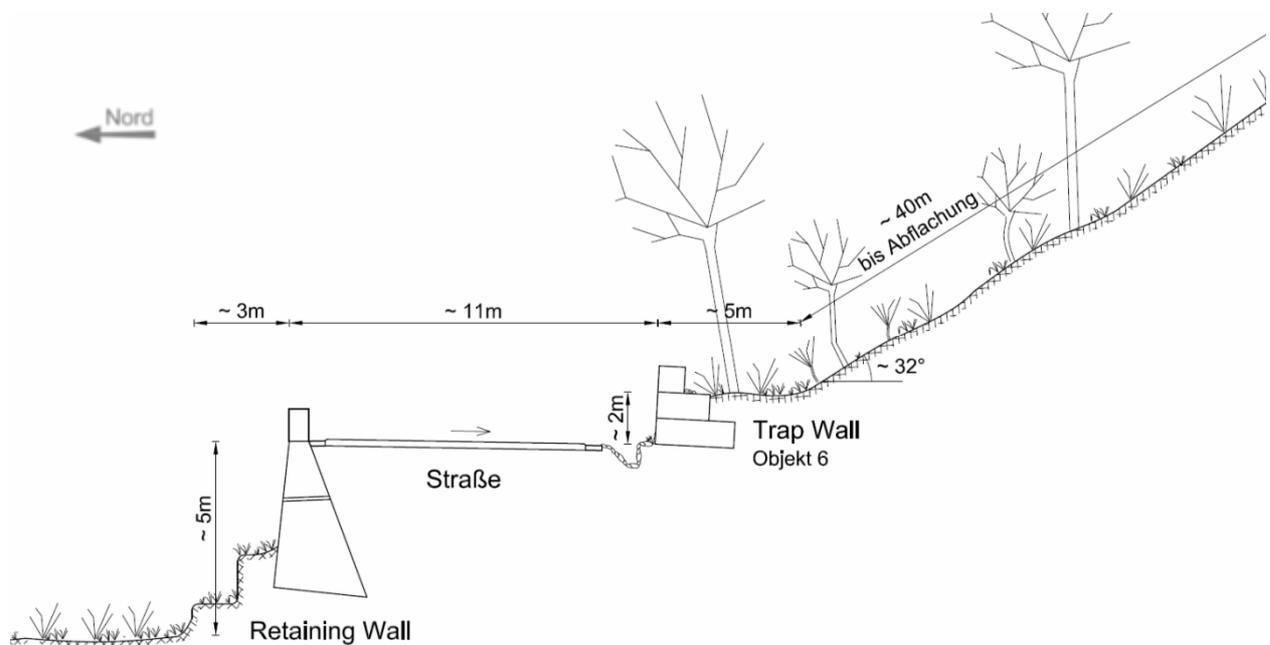


Abb. 5-26: Objekt 6 - Schnitt durchs Gelände

Der anstehende Boden ist ein magerer Lehmboden. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung lag der Wassergehalt bei 13,7%. Böden dieser Art besitzen eine mäßige Scherfestigkeit und Verdichtbarkeit sowie eine mittlere Durchlässigkeit. Sie gelten in der Regel als brauchbarer Baugrund für Gründungen. (Soos 2001: S.190-191) Der anstehende Hang war flächendeckend mit großen Laubbäumen und Sträuchern bewachsen.

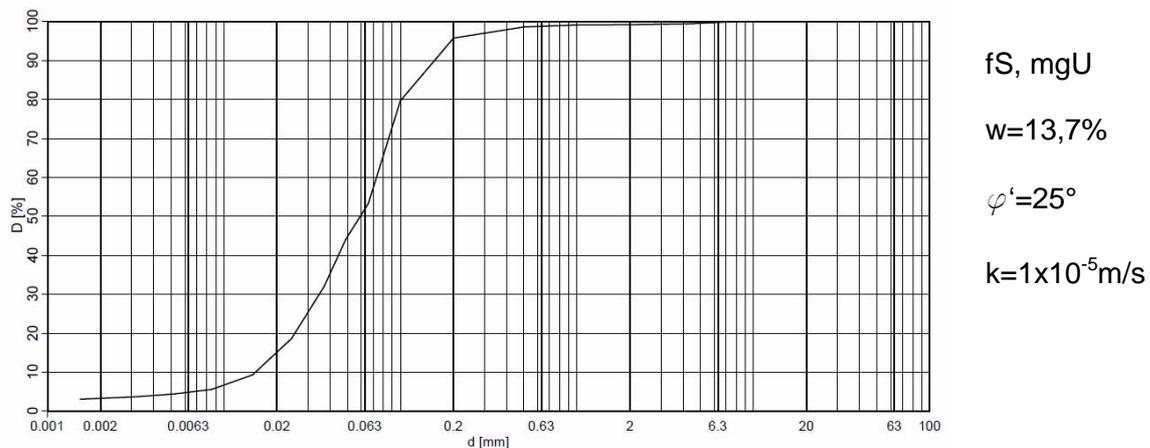


Abb. 5-27: Objekt 6 - Kornverteilungskurve

### 5.6.2 Qualitative Analyse

Die Kriechbewegung mit einer Gabionenwand zu dämpfen ist aus wirtschaftlicher Sicht zu begrüßen. Auch von dieser Maßnahme sind die Hauptbestandteile Natursteine, die lokal gewonnen und verarbeitet werden können und keine langen Transportwege erfordern. Für den Einbau sind keine schweren Hebezeuge oder moderne Gerätschaften erforderlich. Diese Konstruktion kommt gänzlich ohne die Verwendung von Zement oder Beton aus, bedarf allerdings der Verwendung von korrosionsbeständigem Draht. Die Konstruktion der Mauer erfordert einen großen Einsatz von Arbeitskräften und kann von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden. Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen gehen dadurch nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Erwähnt werden soll hier, dass diese Konstruktionen gewaltige Mauergewichte erfordern, welche einen großen Materialverbrauch zur Folge haben.

In technischer Hinsicht ist die Anwendung einer Gabion Trap Wall für das vorhandene Problem eine gute Lösung. DOR (2009: S.59) empfiehlt diesen Mauertyp als Schutzvorrichtung gegen Kriechbewegungen von Gehängelehm.

In der Regel werden diese Mauern mit einer Frontneigung von 5:1 ausgeführt. Dieses Objekt besteht aus zwei verschiedenen Querschnitten. Beim niedrigen Querschnitt wurde der Mauerkörper einer Kippbewegung ausgesetzt, wodurch die Neigung der Mauerfront auf 20:1 anstieg. Abhängig ist die Kippsicherheit unter anderem vom Mauergewicht, das bei dem niedrigen Querschnitt deutlich geringer ist. (Jung 2015: S.59) Der höhere und dadurch schwerere Querschnitt dieser Mauer hat keine Anzeichen auf eine Kippbewegung. Dies lässt darauf schließen, dass der niedrige Teil der Mauer nicht richtig dimensioniert wurde. Weiters beeinflusst wird das Mauergewicht durch die Lagerungsdichte des verwendeten Gesteinsmaterials. In diesem Fall wurden sehr viele runde Steine verwendet, wodurch große Porenräume entstehen und das Mauergewicht sinkt. Die Konstruktion der Drahtkörbe muss mit korrosionsbeständigem Material erfolgen. Da Schäden des Drahtes dennoch nicht voll auszuschließen sind, müssen die Körbe im Zuge der Instandhaltungsmaßnahmen auf eventuelle Beschädigungen begutachtet und im Schadensfall erneuert werden. (Jung 2015: S.96) Diese Instandhaltung wurde bei Objekt 6 nicht durchgeführt, wodurch Teile der Drahtkörbe gerissen sind und die Mauer dem anstehenden Erddruck nicht mehr

standhalten konnte. Um die treibenden Massen im kriechenden Boden zu reduzieren, sollten große Bäume im anstehenden Gelände vermieden werden. Im Zuge der Instandhaltungsmaßnahmen mussten Bäume mit Durchmesser größer 30cm entfernt werden. (Veder 1979: S.184)

Im trockenen Zustand stellt dieses Objekt kein Sicherheitsrisiko dar. Es besteht allerdings die Gefahr, dass die Geschwindigkeit der Kriechbewegung im Zuge der Niederschlagsperiode erhöht wird. Erhöhte Belastungen könnten zu einem Versagen der Mauer führen und schützenswerte Gegenstände gefährden.

## 6 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit präsentiert. Neben der Bewertung der einzelnen Sicherungsmaßnahmen sollen diese miteinander verglichen werden.

Um eine Bewertung durchführen zu können, werden Kategorien festgelegt, die im Schulnotensystem zu bewerten sind. Die Auswahl der angewandten Maßnahme soll sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht bewertet werden. Außerdem sollen eventuelle Mängel bei der Ausführung und der Instandhaltung berücksichtigt sein. Die technische Bewertung der Wahl und der Ausführung erfolgt durch den Vergleich mit den allgemeinen Richtlinien dieser Konstruktionen, wie sie zum Beispiel von KRAUTER (2001) oder DOR (2009) beschrieben werden. Bei der Bewertung ist die angespannte wirtschaftliche Situation, die schlechte Infrastruktur sowie das Fehlen von modernen Gerätschaften zu berücksichtigen. Maßnahmen, die einen großen Einsatz von modernen Maschinen, Elektrizität, Beton oder Stahl erfordern, sind in Nepal nur schwer realisierbar. Im Gegensatz zu teuren Importwaren wie Stahl oder Zement ist der Einsatz von lokal verfügbarem Stein- oder Kiesmaterial günstiger und erspart lange Transportwege. Auch der Einsatz von menschlicher Arbeitskraft ist sehr günstig. Ob die Sicherheit der schützenswerten Objekte akut gefährdet ist, wird mit einem Sicherheitsfaktor bewertet. Auch die Nachhaltigkeit und der soziale Nutzen sollen in die Bewertung einfließen, wie zum Beispiel die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen oder die Schaffung, beziehungsweise Zerstörung von Nutzflächen.

Mit den Ergebnissen der Bewertung soll der Vergleich durchgeführt werden. Dabei werden sowohl die allgemeinen Bewertungsergebnisse der verschiedenen Sicherungsmaßnahmen, als auch die Einzelergebnisse der unterschiedlichen Bewertungskriterien miteinander verglichen und in einer Bewertungsmatrix dargestellt.

## 6.1 Bewertung

<b>OBJEKT 1 - Banded Masonry Breast Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Kaum Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege + Keine horizontale Bauwerksentwässerung erforderlich
Wahl der Maßnahme - technisch	2	+ Für wasserführende Böden sehr geeignet - Empfohlene Mauerhöhe überschritten
Ausführung	4	- Kopfböschung zu steil - Zu klein ausgeführt - Empfohlene Rahmenstärke unterschritten - Empfohlene Aussparung überschritten
Instandhaltung	4	+ Entwässerungsrinne gepflegt - Erosierte Flächen liegen frei - Intensiver Bewuchs / Bäume im Oberhang - Teile der Futtermauer ausgebrochen
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen + Kaum Verlust von Nutzflächen + Verwertung von Holz möglich - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet
Sicherheitsfaktor	3	+ Keine Anzeichen auf Versagen der Mauer - Bedrohung durch steile Böschung über Mauer - Ausspülung durch Ausbrüche in Futtermauer
<b>SCHNITT</b>	<b>2,8</b>	

Tabelle 6-1: Objekt 1 – Bewertung

<b>OBJEKT 2 - Cement Masonry Breast Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Wenig Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege
Wahl der Maßnahme - technisch	4	- Für die Gründung auf setzungsempfindlichen Böden nicht geeignet - Mauerwerk hält den Belastungen nicht stand
Ausführung	4	- Empfohlene Anzahl an Dränrohren nicht eingehalten - Keine Bewegungsfugen ausgeführt (- eventuell unterdimensioniert)
Instandhaltung	5	+ Entwässerungsrinne gepflegt - Mauerwerk schwer beschädigt - Bäume im Oberhang
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Verwertung von Holz möglich + Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet
Sicherheitsfaktor	5	- Mauerwerk schwer beschädigt
<b>SCHNITT</b>	<b>3,5</b>	

Tabelle 6-2: Objekt 2 – Bewertung

<b>OBJEKT 3 - Cement Masonry Retaining Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Wenig Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege
Wahl der Maßnahme - technisch	1	+ Für anstehendes Relief gut geeignet
Ausführung	4	- Empfohlene Anzahl an Dränöffnungen massiv unterschritten
Instandhaltung	2	+ Abzugskanal gepflegt - Rinne zum Vorfluter verschmutzt - Dränöffnungen bewachsen - Leichter Bewuchs der Mauer
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen + Kaum Verlust von Nutzflächen - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet - Großer Materialbedarf
Sicherheitsfaktor	2	+ Keine groben Anzeichen auf Versagen - Versatz könnte sich fortsetzen
<b>SCHNITT</b>	<b>1,8</b>	

Tabelle 6-3: Objekt 3 – Bewertung

<b>OBJEKT 4 - Cement Masonry Retaining Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Wenig Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege
Wahl der Maßnahme - technisch	4	- Ungeeignet für die Gründung auf bewegten Baugrund - Material hält den auftretenden Spannungen nicht stand
Ausführung	1	+ Vorgaben eingehalten (Dränage, Fugen, max. Abmessungen)
Instandhaltung	4	+ Entwässerungsrinne gepflegt + Frei von Bewuchs - Mauerwerk schwer beschädigt
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen + Kaum Verlust von Nutzflächen - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet - Großer Materialbedarf
Sicherheitsfaktor	4	- Beschädigtes Mauerwerk droht zu versagen
<b>SCHNITT</b>	<b>2,7</b>	

Tabelle 6-4: Objekt 4 – Bewertung

<b>OBJEKT 5 - Gabion Retaining Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Kein Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege + Keine horizontale Bauwerksentwässerung erforderlich
Wahl der Maßnahme - technisch	1	+ Für anstehendes Relief gut geeignet
Ausführung	3	- Kippsicherheit nicht gewährleistet - Geringere Lagerungsdichte durch rundes Material
Instandhaltung	4	+ Abzugskanal gepflegt + Frei von Bewuchs - Mauerwerk beschädigt - Unversiegelte Oberfläche führt zu Infiltration von Oberflächenwasser
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen + Kaum Verlust von Nutzflächen - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet - Großer Materialbedarf
Sicherheitsfaktor	2	- Mauer unterliegt einer Kippbewegung + Schiefstellung im Vergleich zu anderen Stützmauern im Untersuchungsgebiet tolerierbar
<b>SCHNITT</b>	<b>2,2</b>	

Tabelle 6-5: Objekt 5 – Bewertung

<b>OBJEKT 6 - Gabion Trap Wall</b>		
Kategorie	Wertung	Begründung
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	+ Hauptbestandteil Naturstein / lokal verfügbar + Kein Zement + Keine modernen Geräte erforderlich + Kurze Transportwege + Keine horizontale Bauwerksentwässerung erforderlich
Wahl der Maßnahme - technisch	1	+ Für anstehendes Relief gut geeignet
Ausführung	4	- Zu kleines Mauergewicht durch niedrige Ausführung - Geringere Lagerungsdichte durch rundes Material
Instandhaltung	4	+ Entwässerungsrinne gepflegt - Große Bäume im kriechenden Hang - Draht gerissen - Mauerwerk beschädigt
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	+ Arbeitsplätze bei Herstellung + Kein Verlust von Wirtschaftsleistungen + Kaum Verlust von Nutzflächen + Verwertung von Holz möglich - Keine nachwachsenden Rohstoffe verwendet - Großer Materialbedarf
Sicherheitsfaktor	3	- Mauer beschädigt - Mauer unterliegt einer Kippbewegung + Schiefstellung im Vergleich zu anderen Stützmauern im Untersuchungsgebiet tolerierbar
<b>SCHNITT</b>	<b>2,5</b>	

Tabelle 6-6: Objekt 6 – Bewertung

## 6.2 Vergleich

Kategorie	Objekt						Vergleich der Kategorien
	1 Banded Masonry Breast Wall	2 Cement Masonry Breast Wall	3 Cement Masonry Retaining Wall	4 Cement Masonry Retaining Wall	5 Gabion Retaining Wall	6 Gabion Trap Wall	
Wahl der Maßnahme - wirtschaftlich	1	1	1	1	1	1	1
Wahl der Maßnahme - technisch	3	4	1	4	1	1	2,3
Ausführung	4	4	4	1	3	4	3,4
Instandhaltung	4	5	2	4	4	4	3,8
Nachhaltigkeit / sozialer Nutzen	2	2	2	2	2	2	2
Sicherheitsfaktor	3	5	2	4	2	3	3,2
<b>Vergleich der Objekte</b>	<b>2,8</b>	<b>3,5</b>	<b>1,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>	

Tabelle 6-7: Vergleich der Methoden

## 7 Schlussfolgerung

Im Untersuchungsgebiet folgt der Prithivi Highway dem Südufer des Trishuli Flusses über weite Strecken durch ein Kerbtal. Mäßig steile bis steile Hangflanken grenzen oft unmittelbar an das Flussufer. Unter solchen Voraussetzungen erfordert die Trassierung einer Straße unzählige Hangeinschnitte und Sicherungsmaßnahmen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Bruchteil der vorgefundenen Maßnahmen zur Hangsicherung bewertet und miteinander verglichen. Die sechs analysierten Bauwerke stellen daher keineswegs eine repräsentative Stichprobe dar. Trotzdem wird im Zuge der Schlussfolgerung versucht, eine Aussage über die Qualität der angewandten Methoden zu treffen.

Nepal ist eines der Least Developed Countries und eines der ärmsten Länder Asiens. Durch die angespannte wirtschaftliche Situation, die schlechte Infrastruktur sowie durch das Fehlen von modernen Geräten sind aufwendige geotechnische Maßnahmen nur schwer realisierbar. Die Auswahl an anzuwendenden Methoden beschränkt sich daher auf einfache Bauweisen und sollte möglichst mit lokal verfügbaren Baustoffen erfolgen. Unter diesen Rahmenbedingungen ist die getroffene Wahl der angewandten Methoden in wirtschaftlicher Hinsicht sehr gut. Die analysierten Bauwerke bestehen zum Großteil aus lokal verfügbarem Kies- und Steinmaterial. Der Einsatz von teuren Importwaren, wie zum Beispiel Stahl oder Zement, wird auf ein erforderliches Minimum reduziert. Bedingt durch die niedrigen Lohnkosten stellt die arbeitsintensive Herstellung der angewandten Methoden kein Problem dar. Die einfachen Konstruktionen können von lokalen Baufirmen und Arbeitern durchgeführt werden, wodurch Bauaufträge und damit verbundene Wirtschaftsleistungen nicht an spezialisierte Unternehmen aus dem Ausland verloren gehen. Dadurch geschaffene Arbeitsplätze haben in sozialer Hinsicht eine große Bedeutung für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet. Negative Folge der Anwendung von diesen einfachen Bauweisen ist der große Verbrauch von Rohstoffen, der zum Erreichen der großen erforderlichen Mauergewichte notwendig ist. In Zukunft könnten konstruktive ingenieurbio-logische Maßnahmen, die auch tieferliegende Bodeninstabilitäten sichern können, durch ihre einfache und kostengünstige aber auch nachhaltige und ressourcenschonende Bauweise eine Alternative zu den herkömmlichen Methoden darstellen.

Die genannten Probleme beeinflussen die Auswahl der Methoden auch in technischer Hinsicht. Durch das Fehlen von modernen Geräten und das Vermeiden von

Konstruktionen aus Stahlbeton stößt man bei der Herstellung von geotechnischen Bauweisen schneller an die Grenzen der Möglichkeiten. Sicherungsmaßnahmen sind dadurch, unter anderem in ihren Tiefenwirkungen und in ihren Bauhöhen, stärker beschränkt. Unter diesem Aspekt ist die getroffene Wahl der angewandten Methoden in technischer Hinsicht größtenteils nachvollziehbar und positiv zu bewerten.

Die Untersuchung zeigt, dass grobe Mängel bei der Ausführung der Bauwerke und bei den Instandhaltungsmaßnahmen vorliegen, wie bereits unter Punkt 5 genau erläutert wurde. Besonders betont sollen hier die Effekte des Porenwassers werden, die zu den einflussreichsten Faktoren der Stabilität von Bodenmassen zählen. Essentiell für die Standsicherheit von Stützbauwerken ist die gründliche Bauwerksentwässerung, die bei vielen der analysierten Maßnahmen nicht ausreichend durchgeführt wird oder durch Verunreinigungen nicht mehr die volle Wirkung hat. Extreme Niederschlagsverhältnisse während der Regenperiode führten bei einigen Objekten bereits zu Beschädigungen. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung, die am Ende der halbjährlichen Trockenperiode stattfand, stellten die Schäden an den Bauwerken keine akute Gefahr dar. Eine Veränderung der hydrologischen Verhältnisse, wie zum Beispiel der steigende Grundwasserspiegel während der Regenperiode, könnte die Situation allerdings ändern und die Standsicherheit der Bauwerke gefährden.

# Anhang A: Slope Assessment Check Lists

## Objekt 1

SLOPE ASSESSMENT QUESTIONNAIRES/CHECKLISTS

Data Sheet A 1.1: Site Definition Sheet 1/2

Road name: <i>St. Martin Straße</i>				Site Ref ID:		
Road link:				<input checked="" type="radio"/> hill	<input type="radio"/> road	<input type="radio"/> valley
Chainage (km + m):						
Geographical coordinates: <i>41.20</i> Lat <i>48° 27'</i> ° Long <i>11° 19'</i> °				Side of road: left <input type="checkbox"/> right <input checked="" type="checkbox"/> <i>andere Seite</i> Size: L= <i>1.4</i> m B= <i>1.1</i> m H= <i>2</i> m		
Traffic disruption: high low no <input checked="" type="checkbox"/> Traffic blockage duration: ..... days/yr Average daily traffic (ADT): ..... vpd				Rainfall No rain for <i>2</i> days Raining for ..... days Recent heavy rain :		
Preliminary Problem Identification Routine(R); Moderate(M); Severe(S)				Impacts		
	R	M	S	On Road	Actual	Risk
Soil-rock fall	<input checked="" type="checkbox"/>			None		
Earth-debris flow		<input checked="" type="checkbox"/>		Road edge only 1 lane	<input checked="" type="checkbox"/>	
Shallow slide <i>✓</i>	<input checked="" type="checkbox"/>			Most of 2 lanes		
Deep-seated slide	<input checked="" type="checkbox"/>			Whole road		
Surface/gully erosion	<input checked="" type="checkbox"/>			Earthworks		
River erosion/undercutting	<input checked="" type="checkbox"/>			Culverts		
Pavement failure	<input checked="" type="checkbox"/>			Bridge		
Structure failure		<input checked="" type="checkbox"/>				
Drainage blocked		<input checked="" type="checkbox"/>			Above Rd	Below Rd
				Risk to Life		
				Risk to Buildings		
Problem History Year of original problem Date of current failure/problem: <i>02.04.15</i>				Existing vegetation types: Tropical <input type="checkbox"/> Deciduous <input type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/> Shrubs <input checked="" type="checkbox"/> Grasses <input checked="" type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/>		
Brief summary: <i>seepage through wall</i> <i>outburst of stones</i> <i>earth debris flow above wall</i>				Land use: Barren <input type="checkbox"/> Cultivated <input type="checkbox"/> Forest <input checked="" type="checkbox"/> Built up <input type="checkbox"/> Quarry <input type="checkbox"/>		
				Hydrology Dry <input checked="" type="checkbox"/> Surface springs <input type="checkbox"/> Sheet flood <input type="checkbox"/> Adjacent river <input type="checkbox"/>		
Previous or Existing Engineering Solutions						
	Date				Date	
Surface-drainage				Anchors/bolts		
Sub-surface drainage				Catch fence		
Breast wall [ <i>St. Martin</i> ]	<i>02.04.15</i>			Pavement overlay/patching		
Retaining wall [ ]				Bridge repair		
Anchored wall				Culvert repair		
Check dam [ ]						
Bio-engineering						
Road division:				Inspection date:		
Location:				Inspected by:		
District:				Checked by:		

FMDP

June 2007

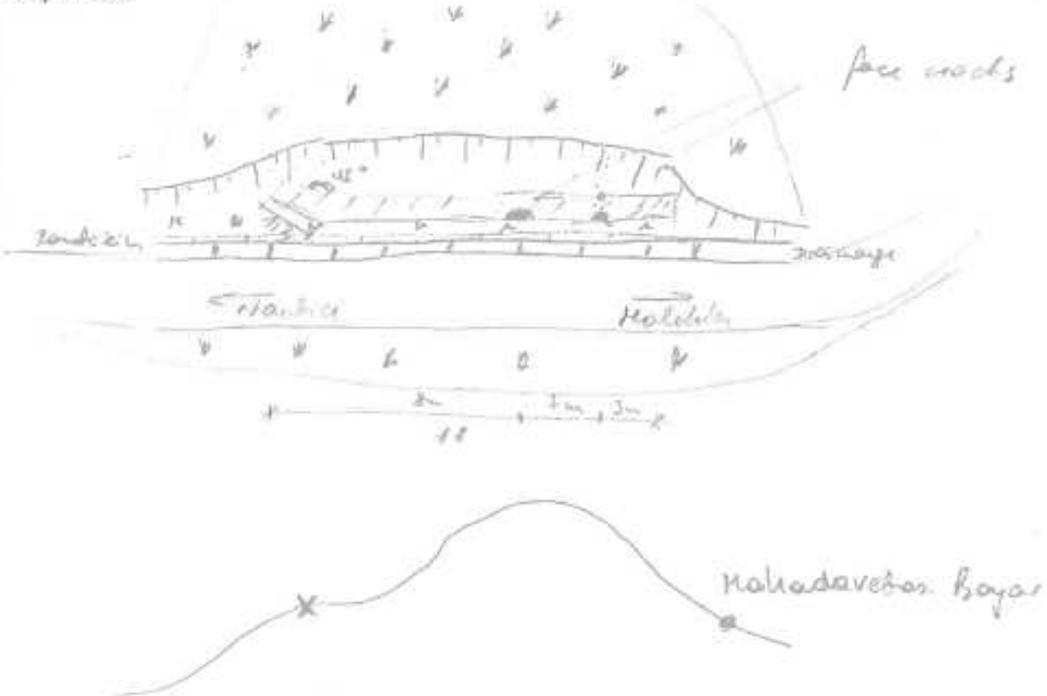
Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 2/2

Road name:

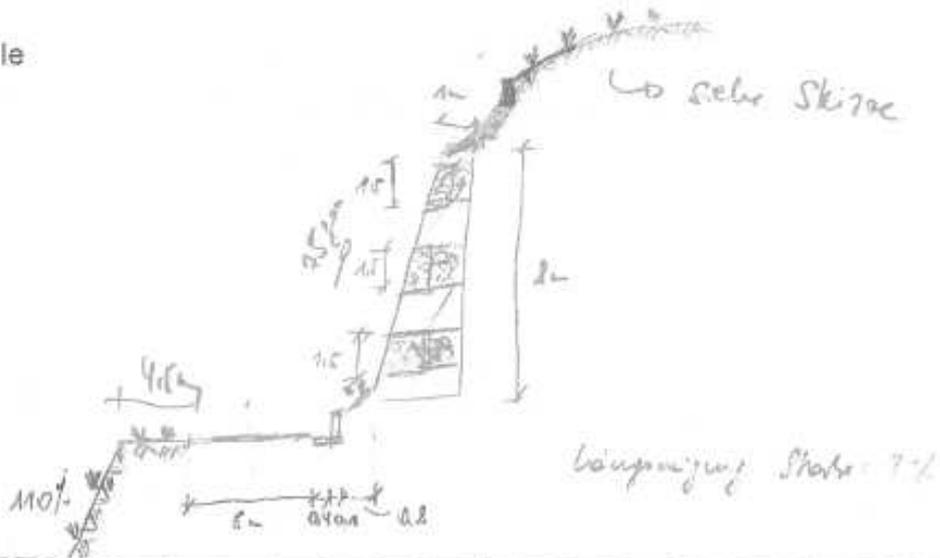
Site Ref ID

Sketches

Slope Plan



Slope Profile



Photograph References

8413-8430

Data Sheet A2.1: Slope Problems Sheet 2

Geotechnical Environment																																																													
Failure in: Rock      Soil <input checked="" type="checkbox"/> Soil-rock Failed Material Blocky      C-F. Debris <u>E. Debris</u> <input checked="" type="checkbox"/>				Separate Detailed Description Sheets Rock mass Soil mass <input checked="" type="checkbox"/> Joint survey																																																									
General Rock Condition Weathering fresh slightly weathered moderately weathered highly weathered completely weathered General Rock mass condition: Intact or massive blocky / very blocky blocky/ disturbed disintegrated General intact rock strength    very weak weak                                  mod. weak    mod. strong strong                                  very strong				General Soil Condition Classification <table border="1"> <tr> <th colspan="3">In Situ</th> <th colspan="3">Debris <input checked="" type="checkbox"/></th> </tr> <tr> <td>GW</td><td>GP</td><td>GM</td> <td>GW</td><td>GP</td><td>GM</td> </tr> <tr> <td>GC</td><td>SW</td><td>SP</td> <td>GC</td><td>SW</td><td>SP</td> </tr> <tr> <td>SM</td><td>SC</td><td>CL</td> <td>SM</td><td>SC</td><td>CL</td> </tr> <tr> <td>MH</td><td>CH</td><td>OL</td> <td>MH</td><td>CH</td><td>OL</td> </tr> <tr> <td>OH</td><td>Pt</td><td></td> <td>OH</td><td>Pt</td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Boulders: .....%</td> <td colspan="3">Boulders: .....%</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Fine soil: .....%</td> <td colspan="3">Fine soil: .....%</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Matrix: gravel sand    silt    clay peat</td> <td colspan="3">Matrix: gravel sand    silt    clay peat</td> </tr> </table>				In Situ			Debris <input checked="" type="checkbox"/>			GW	GP	GM	GW	GP	GM	GC	SW	SP	GC	SW	SP	SM	SC	CL	SM	SC	CL	MH	CH	OL	MH	CH	OL	OH	Pt		OH	Pt		Boulders: .....%			Boulders: .....%			Fine soil: .....%			Fine soil: .....%			Matrix: gravel sand    silt    clay peat			Matrix: gravel sand    silt    clay peat		
In Situ			Debris <input checked="" type="checkbox"/>																																																										
GW	GP	GM	GW	GP	GM																																																								
GC	SW	SP	GC	SW	SP																																																								
SM	SC	CL	SM	SC	CL																																																								
MH	CH	OL	MH	CH	OL																																																								
OH	Pt		OH	Pt																																																									
Boulders: .....%			Boulders: .....%																																																										
Fine soil: .....%			Fine soil: .....%																																																										
Matrix: gravel sand    silt    clay peat			Matrix: gravel sand    silt    clay peat																																																										
Discontinuity Types    Bedding (B) Joints(J)    Foliation (F) Faults Orientation _____ Condition _____				Soil Strength <table border="1"> <tr> <th colspan="2">In situ</th> <th colspan="2">Debris</th> </tr> <tr> <td>Very Soft</td><td>Soft</td> <td>Very Soft</td><td>Soft</td> </tr> <tr> <td>Firm</td><td>Stiff</td> <td>Firm</td><td>Stiff</td> </tr> <tr> <td>Very Stiff</td><td>Hard</td> <td>Very Stiff</td><td>Hard</td> </tr> </table>				In situ		Debris		Very Soft	Soft	Very Soft	Soft	Firm	Stiff	Firm	Stiff	Very Stiff	Hard	Very Stiff	Hard																																						
In situ		Debris																																																											
Very Soft	Soft	Very Soft	Soft																																																										
Firm	Stiff	Firm	Stiff																																																										
Very Stiff	Hard	Very Stiff	Hard																																																										
Discontinuities	Dip (deg)	Dip Direction (deg)	Persistence (m)	Spacing (m)	Dilation	Infilling	Roughness																																																						
F0																																																													
B																																																													
J1																																																													
J2																																																													
J3																																																													
FP																																																													
Additional Visual Descriptions (In situ)																																																													
Additional Visual Descriptions (Debris)																																																													
Additional Visual Descriptions (Rock)				Slope Failure Triggered by <u>Rainfall</u> <input checked="" type="checkbox"/> Slope Erosion Cultivation                          Vegetation removal Over-steepening <input checked="" type="checkbox"/> Road construction Quarrying                                  Drainage failure Stress relief                                  Rock degradation Seismic event Others (specify)																																																									

RMDP

June 2007

## Data Sheet A3.1: Erosion Problem Sheet 1

Road Link:	Chainage (km + m):	Slope ID:	
Slope Definition Slope angle $\frac{12}{100}$ (deg) Slope Plan _____ Slope Section _____ Slope height $7$ (m) Hydrology <u>Well drained/Dry</u> Seepage flow _____ Active spring flow _____ Saturation _____ Vegetation cover: Tree $10$ %, Shrub $70$ %, Grass $20$ %, Barren $0$ % Cultivation: Type _____ Cover $0$ % Slope material: Rock Colluvium Alluvium <u>Residual</u> Talus Earthfill Rockfill Glacial till Failure Debris $\times$			
Problem	Sheet/Rill erosion	Gully erosion	River scour
Sheet/Rill Erosion Hazard: Severe (>40 % of slope area) Moderate (10%-40%) Minor (<10%) Rill depth (D) _____ (m) Rill spacing (S) _____ (m) Rill width (W) _____ (m) Rill bed slope _____ (deg)			
Gully Erosion Single gully Multiple Branching Gully width (Top W1) _____ (m); Gully width (Bottom W2) _____ (m) Gully depth (D1) _____ (m) Gully side slope (A1) _____ (deg) Gully bed slope (A2) _____ (deg) Gully curvature: sharp moderate straight Curvature control: rock soil Tension cracks at banks: yes no Rock outcrop at bed: yes no Flow: perennial torrential dry			
River Scour Flood level width of river _____ (m) Water level width of river _____ (m): Height of road above river bed H1 _____ (m) Height of road above flood H2 _____ (m) Height of erosion H3 _____ (m) Maximum erosion width _____ (m) Scour depth _____ (m) Erosion face angle _____ (deg) River plan at erosion Concave Straight Convex Erosion status: Stable Minor activity Significant activity Hazard potential Low Moderate High GLOF potential: Low Medium High			
Geomorphology- Geology			
Landform Zone Zone 1: High altitude glacial-periglacial Zone 2: Rock face and associated debris slope Zone 3: Degraded mid-slope, ancient valley floor Zone 4: Unstable lower slope Zone 5: Valley floor Similar failures in the area Yes No			
Geological Zone Terai Quaternaries Siwaliks Lower Himalayan Zone Higher Himalayan Zone			
Bedrock Rgl: Igneous 1.Coarse 2. Medium 3. Fine RgM Metamorphic 1. Coarse 2. Medium 3. Fine RgS Sedimentary 1. Coarse 2. Medium 3. Fine RgB Bedded Types _____			

RMDF

June 2007

## Data Sheet A3.1: Erosion/Slope Problem Sheet 3

Road name:

Site Ref ID:

## Sketches

Strong vegetation covers at the face and at the crest  
of the wall

Slope slide above the wall → danger of falling on lane

Outburst of stones at face of wall

seepage flow through stone/paving - g-wells in stone wall

Engineer

Date

SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 1/2

Road Link:		Chainage (km + m):		Site ID: <i>no of failed structures</i>		
Geometry	Length of failed Structure (m): <i>0.5</i>		Width at toe (m): <i>0.25</i>			
	General slope angle (deg):		Width at top (m): <i>0.25</i>			
Applied measures	Bioengineering work		Percentage area covered: <i>X</i> %			
	Trees	Shrubs	Grass	Others		
	Engineering work		Significance of damage:			
			Plan area of damage: Percentage area covered: <i>!!</i> %			
S. No		Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition	
1		<i>breast wall</i>	<i>1 x 1 x 1</i>		<i>fine cracks</i>	
2		<i>slope w</i>	.....X.....X.....		.....	
3		.....	.....X.....X.....		.....	
4		.....	.....X.....X.....		.....	
5		.....	.....X.....X.....		.....	
6		.....	.....X.....X.....		.....	
7		.....	.....X.....X.....		.....	
8		.....	.....X.....X.....		.....	
For each distressed wall, fill in Checklist for Distressed Retaining Walls						
Comments:						
Applied Drainage	Drainage type		Good condition	Needs clearing	Needs repair	Not present
	Roadside drains			<i>X</i>		
	Cascade drains					<i>X</i>
	Berm drains					<i>X</i>
	Catch drains					<i>X</i>
	Horizontal drains					<i>?</i>
	French drains					<i>✓</i>
	Culvert chainage! ( ! ! + ! ! ! )					<i>✓</i>
	Culvert inlet					<i>✓</i>
	Culvert outlet					<i>✓</i>
	Culvert wingwalls					<i>✓</i>
	Culvert passageway					<i>✓</i>
Hydrological condition		Seepage at slope face: Yes <i>X</i> No				
		Natural surface runoff: Yes No <i>X</i>				
		Ponding water nearby: Yes No <i>X</i>				
Comments:						
Pavement	Cracks: Yes <i>✓</i> No		Cause: Pavement <i>X</i> Slope failure			
	Cracks sealed: Yes No <i>X</i>		Depression: Yes No <i>X</i>			
Shoulder	Shoulder cracks: Yes No <i>X</i>		Shoulder depression: Yes No <i>✓</i>			
In Situ Testing (undertaken "U; recommended- R)						
Point load	Schmidt hammer	Vane shear	Penetrometer	DCP		
Samples: -Number Taken <i>1 A10 2 by 25</i>						
Small disturbed		Large disturbed <i>X</i>				
Undisturbed		Intact Rock				

SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2

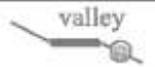
CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
			breast wall stone m.	A 10		02.04.15		
Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum	Minimum	Critical			
			2m	4m				
	Plan shape of distressed length		Convex	Concave	Straight			
					x			
	Filling stone material		Available	N/A	Haulage dist			
		x						
Distresses	Crest cracks	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
	Face cracks	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage?			
		2	250	∅				
Others	Bulges	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
	Tilting	Significant?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang		
Others	Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing		
	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
		x				not at 02.04.15		
	Probable foundation material	Slope angle below wall (°)	Signs of distress in ground below toe	Yes	No			
	5.0 M10	45			x			
REMARKS:								
CRITICAL CROSS SECTION   Referred drawing No.								



## Objekt 2

## SLOPE ASSESSMENT QUESTIONNAIRES/CHECKLISTS

## Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 1/2

Road name:	Site Ref ID:		
Road link:			
Chainage (km + m):			
Geographical coordinates: P23 Lat 2 38 45 ° Long 107 28 1 °	Side of road: left <input checked="" type="checkbox"/> right <input type="checkbox"/>	Size: L= 64 m B= 2 m H= 2 m	
Traffic disruption: high <input type="checkbox"/> low <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Rainfall		
Traffic blockage duration: ..... days/yr	No rain for 2 days		
Average daily traffic (ADT): ..... vpd	Raining for 10 days Recent heavy rain <input type="checkbox"/>		
<b>Preliminary Problem Identification</b>		<b>Impacts</b>	
Routine(R); Moderate(M); Severe (S)		On Road	Risk
	R M S	Actual	
		None	
Soil-rock fall		Road edge only	
Earth-debris flow		1 lane	X
Shallow slide	X	Most of 2 lanes	
Deep-seated slide	X	Whole road	
Surface/gully erosion	X	Earthworks	
River erosion/undercutting	X	Culverts	
Pavement failure	X	Bridge	
Structure failure			
Drainage blocked			Above Rd Below Rd
		Risk to Life	
		Risk to Buildings	
<b>Problem History</b>		Existing vegetation types:	
Year of original problem		Tropical <input type="checkbox"/> Deciduous <input checked="" type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/>	
Date of current failure/problem: 3.4.15		Shrubs <input checked="" type="checkbox"/> Grasses <input checked="" type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/>	
Brief summary:		Land use:	
2.5 m face cracks		Barren <input type="checkbox"/> Cultivated <input type="checkbox"/> Forest <input checked="" type="checkbox"/>	
1/3 of wall destroyed by soil-rock fall		Built up <input type="checkbox"/> Quarry <input type="checkbox"/>	
		<b>Hydrology</b>	
		Dry <input checked="" type="checkbox"/>	
		Surface springs <input type="checkbox"/>	
		Sheet flood <input type="checkbox"/>	
		Adjacent river <input type="checkbox"/>	
<b>Previous or Existing Engineering Solutions</b>			
	Date		Date
Surface-drainage		Anchors/bolts	
Sub-surface drainage		Catch fence	
Breast wall [ Show up ]	3.4.15	Pavement overlay/patching	
Retaining wall [ ]		Bridge repair	
Anchored wall		Culvert repair	
Check dam [ ]			
Bio-engineering			
Road division:	Inspection date: 3.4.15		
Location:	Inspected by:		
District:	Checked by:		

RMDP

June 2007

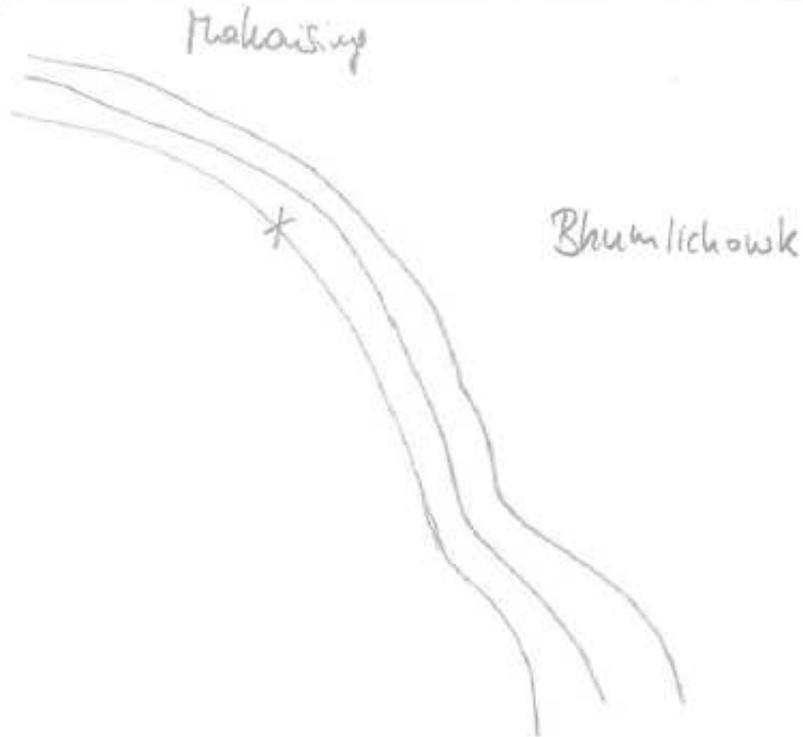
Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 2/2

Road name:

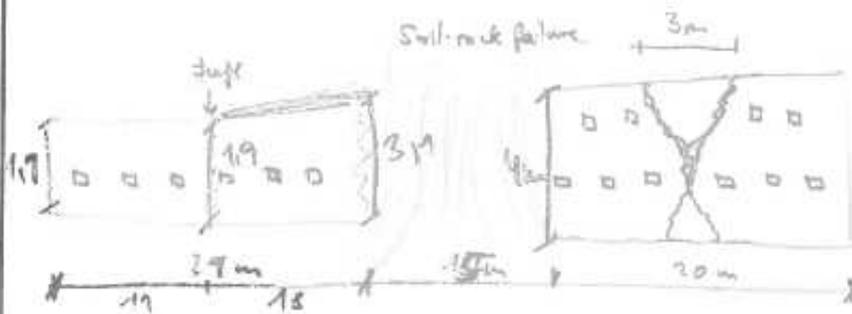
Site Ref ID

Sketches

Slope Plan



Slope Profile



Photograph References

8538-8552

**Data Sheet A2.1: Slope Problems Sheet 2**

<b>Geotechnical Environment</b>													
<b>Failure in:</b> Rock <input type="checkbox"/> Soil <input type="checkbox"/> Soil-rock <input checked="" type="checkbox"/> <b>Failed Material</b> Blocky <input checked="" type="checkbox"/> C-F. Debris <input type="checkbox"/> F. Debris <input type="checkbox"/>				<b>Separate Detailed Description Sheets</b> Rock mass <input type="checkbox"/> Soil mass <input checked="" type="checkbox"/> Joint survey <input type="checkbox"/>									
<b>General Rock Condition</b> Weathering fresh <input type="checkbox"/> slightly weathered <input type="checkbox"/> moderately weathered <input type="checkbox"/> highly weathered <input checked="" type="checkbox"/> completely weathered <input type="checkbox"/> General Rock mass condition: Intact or massive <input type="checkbox"/> blocky / very blocky <input type="checkbox"/> blocky/ disturbed <input type="checkbox"/> disintegrated <input type="checkbox"/> General intact rock strength    very weak <input type="checkbox"/> weak <input checked="" type="checkbox"/> mod. weak <input type="checkbox"/> mod. strong <input type="checkbox"/> strong <input type="checkbox"/> very strong <input type="checkbox"/>				<b>General Soil Condition Classification</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width:50%;">In Situ</th> <th style="width:50%;">Debris</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">                     GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/>                      GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/>                      SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/>                      MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/>                      OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/>                      Boulders: .....%                      Fine soil: .....%                 </td> <td style="padding: 2px;">                     GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/>                      GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/>                      SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/>                      MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/>                      OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/>                      Boulders: .....%                      Fine soil: .....%                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">                     Matrix: gravel <input type="checkbox"/>                      sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/>                      peat <input type="checkbox"/> </td> <td style="padding: 2px;">                     Matrix: gravel <input type="checkbox"/>                      sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/>                      peat <input type="checkbox"/> </td> </tr> </table>				In Situ	Debris	GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%	GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%	Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>	Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>
In Situ	Debris												
GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%	GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%												
Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>	Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>												
Discontinuity Types    Bedding (B) <input type="checkbox"/> Joints (J) <input type="checkbox"/> Foliation (F) <input type="checkbox"/> Faults Orientation _____ Condition _____				<b>Soil Strength</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width:50%;">In situ</th> <th style="width:50%;">Debris</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">                     Very Soft <input type="checkbox"/>    Soft <input type="checkbox"/>                      Firm <input checked="" type="checkbox"/>    Stiff <input type="checkbox"/>                      Very Stiff <input type="checkbox"/>    Hard <input type="checkbox"/> </td> <td style="padding: 2px;">                     Very Soft <input type="checkbox"/>    Soft <input type="checkbox"/>                      Firm <input type="checkbox"/>    Stiff <input type="checkbox"/>                      Very Stiff <input type="checkbox"/>    Hard <input type="checkbox"/> </td> </tr> </table>				In situ	Debris	Very Soft <input type="checkbox"/> Soft <input type="checkbox"/> Firm <input checked="" type="checkbox"/> Stiff <input type="checkbox"/> Very Stiff <input type="checkbox"/> Hard <input type="checkbox"/>	Very Soft <input type="checkbox"/> Soft <input type="checkbox"/> Firm <input type="checkbox"/> Stiff <input type="checkbox"/> Very Stiff <input type="checkbox"/> Hard <input type="checkbox"/>		
In situ	Debris												
Very Soft <input type="checkbox"/> Soft <input type="checkbox"/> Firm <input checked="" type="checkbox"/> Stiff <input type="checkbox"/> Very Stiff <input type="checkbox"/> Hard <input type="checkbox"/>	Very Soft <input type="checkbox"/> Soft <input type="checkbox"/> Firm <input type="checkbox"/> Stiff <input type="checkbox"/> Very Stiff <input type="checkbox"/> Hard <input type="checkbox"/>												
<b>Discontinuities</b>	<b>Dip (deg)</b>	<b>Dip Direction (deg)</b>	<b>Persistence (m)</b>	<b>Spacing (m)</b>	<b>Dilation</b>	<b>Infilling</b>	<b>Roughness</b>						
F0													
B													
J1													
J2													
J3													
FP													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%; padding: 5px; vertical-align: top;"> <b>Additional Visual Descriptions (Rock)</b> </td> <td style="width:50%; padding: 5px; vertical-align: top;"> <b>Additional Visual Descriptions (In situ)</b> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"> <b>Additional Visual Descriptions (Debris)</b> </td> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"> <b>Slope Failure Triggered by</b>                      Rainfall <input checked="" type="checkbox"/>    Slope Erosion <input checked="" type="checkbox"/>                      Cultivation <input type="checkbox"/>    Vegetation removal <input type="checkbox"/>                      Over-steepening <input type="checkbox"/>    Road construction <input type="checkbox"/>                      Quarrying <input type="checkbox"/>    Drainage failure <input type="checkbox"/>                      Stress relief <input type="checkbox"/>    Rock degradation <input type="checkbox"/>                      Seismic event                      Others (specify) _____                 </td> </tr> </table>								<b>Additional Visual Descriptions (Rock)</b>	<b>Additional Visual Descriptions (In situ)</b>	<b>Additional Visual Descriptions (Debris)</b>	<b>Slope Failure Triggered by</b> Rainfall <input checked="" type="checkbox"/> Slope Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Cultivation <input type="checkbox"/> Vegetation removal <input type="checkbox"/> Over-steepening <input type="checkbox"/> Road construction <input type="checkbox"/> Quarrying <input type="checkbox"/> Drainage failure <input type="checkbox"/> Stress relief <input type="checkbox"/> Rock degradation <input type="checkbox"/> Seismic event Others (specify) _____		
<b>Additional Visual Descriptions (Rock)</b>	<b>Additional Visual Descriptions (In situ)</b>												
<b>Additional Visual Descriptions (Debris)</b>	<b>Slope Failure Triggered by</b> Rainfall <input checked="" type="checkbox"/> Slope Erosion <input checked="" type="checkbox"/> Cultivation <input type="checkbox"/> Vegetation removal <input type="checkbox"/> Over-steepening <input type="checkbox"/> Road construction <input type="checkbox"/> Quarrying <input type="checkbox"/> Drainage failure <input type="checkbox"/> Stress relief <input type="checkbox"/> Rock degradation <input type="checkbox"/> Seismic event Others (specify) _____												

RMDP

June 2007

**Data Sheet A3.1: Erosion Problem Sheet 1**

Road Link:	Chainage (km + m):	Slope ID:	
<b>Slope Definition</b> Slope angle <u>17.5</u> (deg) Slope Plan _____ Slope Section _____ Slope height <u>150</u> (m) Hydrology Well drained/Dry <input checked="" type="checkbox"/> Seepage flow <input type="checkbox"/> Active spring flow <input type="checkbox"/> Saturation <input type="checkbox"/> Vegetation cover: Tree <u>5</u> %, Shrub <u>2</u> %, Grass _____ %, Barren _____ % Cultivation: Type _____ Cover <u>2</u> %, Slope material: Rock <input checked="" type="checkbox"/> Colluvium <input type="checkbox"/> Alluvium <input type="checkbox"/> Residual <input checked="" type="checkbox"/> Talus <input type="checkbox"/> Earthfill <input type="checkbox"/> Rockfill <input type="checkbox"/> Glacial till <input type="checkbox"/> Failure Debris <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>Problem</b>	Sheet/Rill erosion <input type="checkbox"/>	Gully erosion <input type="checkbox"/>	River scour <input type="checkbox"/>
<b>Sheet/Rill Erosion</b> Hazard: Severe (>40 % of slope area) <input type="checkbox"/> Moderate (10%-40%) <input type="checkbox"/> Minor (<10%) <input type="checkbox"/> Rill depth (D) _____ (m) Rill spacing (S) _____ (m) Rill width (W) _____ (m) Rill bed slope _____ (deg)			
<b>Gully Erosion</b> Single gully <input type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> Branching <input type="checkbox"/> Gully width (Top W1) _____ (m); Gully width (Bottom W2) _____ (m) Gully depth (D1) _____ (m) Gully side slope (A1) _____ (deg) Gully bed slope (A2) _____ (deg) Gully curvature: sharp <input type="checkbox"/> moderate <input type="checkbox"/> straight <input type="checkbox"/> Curvature control: rock <input type="checkbox"/> soil <input type="checkbox"/> Tension cracks at banks: yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Rock outcrop at bed: yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Flow: perennial <input type="checkbox"/> torrential <input type="checkbox"/> dry <input type="checkbox"/>			
<b>River Scour</b> Flood level width of river _____ (m) Water level width of river _____ (m): Height of road above river bed H1 _____ (m) Height of road above flood H2 _____ (m) Height of erosion H3 _____ (m) Maximum erosion width _____ (m) Scour depth _____ (m) Erosion face angle _____ (deg) River plan at erosion Concave <input type="checkbox"/> Straight <input type="checkbox"/> Convex <input type="checkbox"/> Erosion status: Stable <input type="checkbox"/> Minor activity <input type="checkbox"/> Significant activity <input type="checkbox"/> Hazard potential Low <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/> GLOF potential: Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/>			
<b>Geomorphology- Geology</b>			
<b>Landform Zone</b> Zone 1: High altitude glacial-periglacial <input type="checkbox"/> Zone 2: Rock face and associated debris slope <input type="checkbox"/> Zone 3: Degraded mid-slope, ancient valley floor <input type="checkbox"/> Zone 4: Unstable lower slope <input type="checkbox"/> Zone 5: Valley floor <input type="checkbox"/> Similar failures in the area Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
<b>Geological Zone</b> Terai Quaternaries <input type="checkbox"/> Siwaliks <input type="checkbox"/> Lower Himalayan Zone <input type="checkbox"/> Higher Himalayan Zone <input type="checkbox"/>			
<b>Bedrock</b> RgI: Igneous 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgM: Metamorphic 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgS: Sedimentary 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgB: Bedded Types _____			

RMDP

June 2007

**Data Sheet A3.1: Erosion/Slope Problem Sheet 3**

<b>Road name:</b>	<b>Site Ref ID</b>
-------------------	--------------------

**Sketches**

Mauer ist durch Rutschung teilweise komplett zerstört  
2 große Risse auf der rechten Seite

**Engineer****Date**

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 1/2**

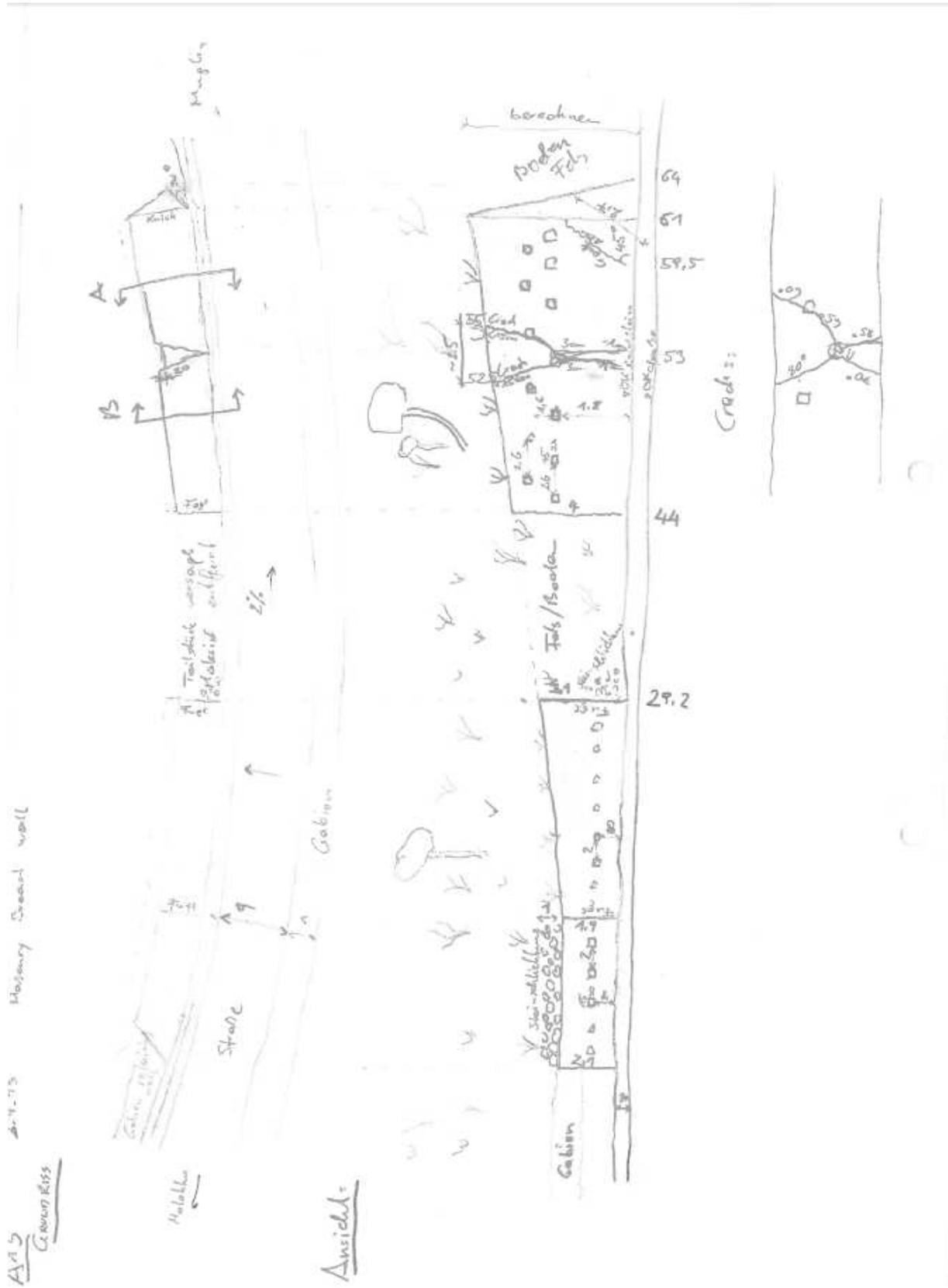
Road Link:		Chainage (km + m):		Site ID:		
Geometry	Length of failed Structure (m): <i>15 + 3</i>		Width at toe (m): <i>?</i>			
	General slope angle (deg): <i>12.5%</i>		Width at top (m): <i>?</i>			
Bioengineering work		Percentage area covered: <i>.....%</i>				
Trees <input type="checkbox"/> Shrubs <input type="checkbox"/> Grass <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/>		.....				
Engineering work		Significance of damage: <input type="checkbox"/> <i>Severe</i>				
		Plan area of damage: <input type="checkbox"/>				
		Percentage area covered: <i>.....%</i>				
Applied measures	S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition	
	1	<i>Retain wall</i>	<i>5.1 x 7 x 1.9 - ?</i>		<i>Severe problem</i>	
	2	<i>Slope in</i>	.....x.....x.....		.....	
	3	.....	.....x.....x.....		.....	
	4	.....	.....x.....x.....		.....	
	5	.....	.....x.....x.....		.....	
	6	.....	.....x.....x.....		.....	
	7	.....	.....x.....x.....		.....	
	8	.....	.....x.....x.....		.....	
	For each distressed wall, fill in <b>Checklist for Distressed Retaining Walls</b> .					
Comments:						
Applied Drainage	Drainage type	Good condition	Needs clearing	Needs repair	Not present	
	Roadside drains	<i>x</i>				
	Cascade drains				<i>&gt;</i>	
	Berm drains				<i>&gt;</i>	
	Catch drains				<i>x</i>	
	Horizontal drains		<i>x</i>			
	French drains				<i>&gt;</i>	
	Culvert chainage ..... + .....					
	Culvert inlet				<i>&gt;</i>	
	Culvert outlet				<i>&gt;</i>	
	Culvert wingwalls				<i>&gt;</i>	
	Culvert passageway				<i>x</i>	
	Hydrological condition	Seepage at slope face: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				
		Natural surface runoff: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				
Ponding water nearby: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>						
Comments:						
Pavement	Cracks: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Cause: Pavement <input type="checkbox"/> Slope failure <input type="checkbox"/>			
	Cracks sealed: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Depression: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
Shoulder	Shoulder cracks: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Shoulder depression: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			
In Situ Testing (undertaken -U; recommended- R)						
Point load <input type="checkbox"/> Schmidt hammer <input type="checkbox"/> Vane shear <input type="checkbox"/> Penetrometer <input type="checkbox"/> DCP <input type="checkbox"/>						
Samples: -Number Taken <i>1 BP 113 Ring 735</i>						
Small disturbed <input type="checkbox"/>		Large disturbed <input checked="" type="checkbox"/>				
Undisturbed <input type="checkbox"/>		Intact Rock <input type="checkbox"/>				

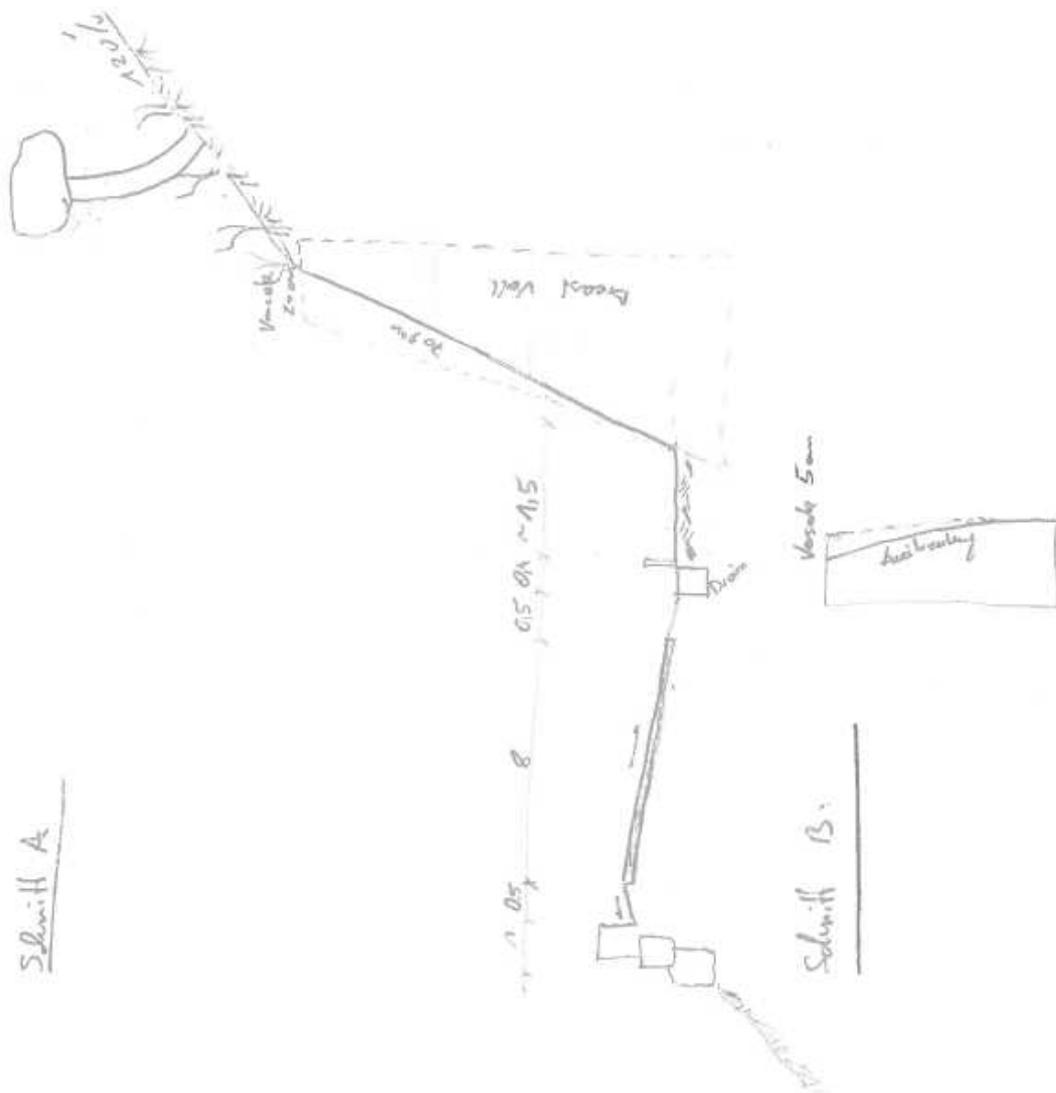
RMDP

June 2007

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2**

CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
			breast wall stone m.	A13				
Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum	Minimum	Critical			
			~ 4.2	(-4.2) 3.10				
	Plan shape of distressed length		Convex	Concave	Straight			
			X		X			
	Filling stone material		Available	N/A	Haulage dist			
		X						
Culvert or causeway present?		No	Yes	Type				
		X						
Total length of distressed section (m): 15 + 3								
Distresses	Crest cracks	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
	Face cracks	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage?			
		2	150	30				
	Bulges	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
	Tilting	Significant?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang		
	Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing		
Others	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
			X			X		
	Probable foundation material	Slope angle below wall (°)		Signs of distress in ground below toe	Yes	No		
	SP A13	Ø				X		
REMARKS:								
CRITICAL CROSS SECTION			Referred drawing No.					







RMCP

June 2007

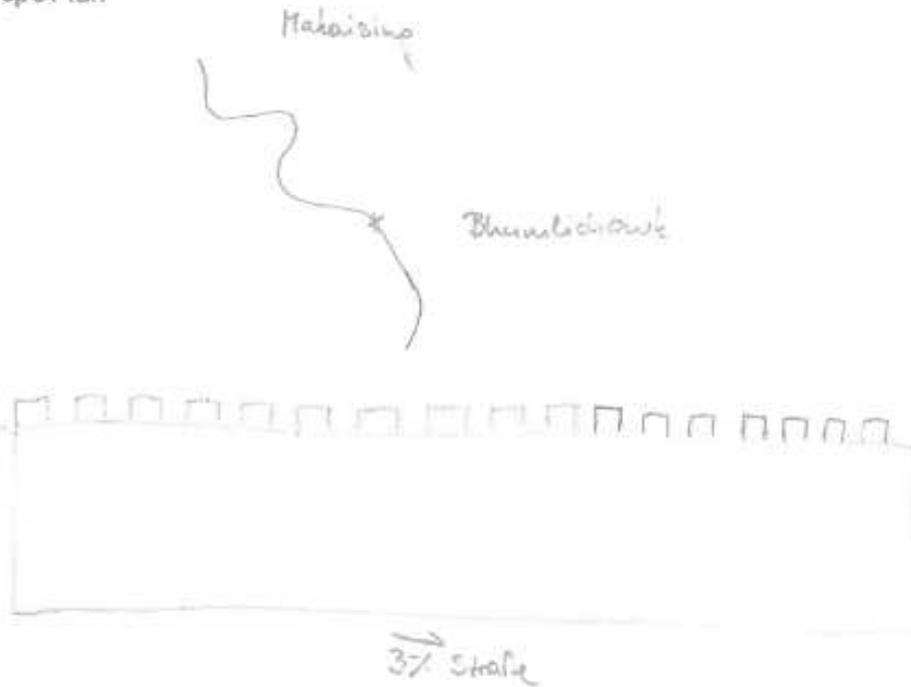
Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 2/2

Road name:

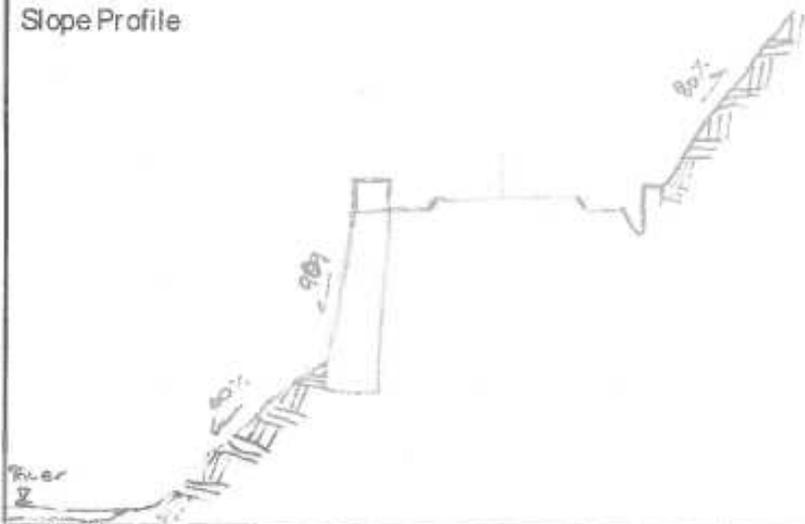
Site Ref ID

Sketches

Slope Plan



Slope Profile



Photograph References

Data Sheet A3.1: Erosion Problem Sheet 1

Road Link:	Chainage (km + m):	Slope ID:	
Slope Definition Slope angle <u>20</u> (deg) Slope Plan _____ Slope Section _____ Slope height <u>&gt;100</u> (m) Hydrology Well drained <u>Dry</u> Seepage flow _____ Active spring flow _____ Saturation _____ Vegetation cover: Tree <u>20</u> %, Shrub <u>70</u> %, Grass <u>10</u> %, Barren _____ % Cultivation: Type _____ Cover _____ % Slope material: <u>Rock</u> Colluvium Alluvium Residual Talus <u>Earthfill</u> Rockfill Glacial till Failure Debris			
Problem	Sheet/Rill erosion	Gully erosion	River scour
Sheet/Rill Erosion Hazard: Severe (>40 % of slope area) Moderate (10%-40%) Minor (<10%) Rill depth (D) _____ (m) Rill spacing (S) _____ (m) Rill width (W) _____ (m) Rill bed slope _____ (deg)			
Gully Erosion Single gully _____ Multiple _____ Branching _____ Gully width (Top W1) _____ (m); Gully width (Bottom W2) _____ (m) Gully depth (D1) _____ (m) Gully side slope (A1) _____ (deg) Gully bed slope (A2) _____ (deg) Gully curvature: sharp moderate straight Curvature control: rock soil Tension cracks at banks: yes no Rock outcrop at bed: yes no Flow: perennial torrential dry			
River Scour Flood level width of river _____ (m) Water level width of river _____ (m); Height of road above river bed H1 _____ (m) Height of road above flood H2 _____ (m) Height of erosion H3 _____ (m) Maximum erosion width _____ (m) Scour depth _____ (m) Erosion face angle _____ (deg) River plan at erosion Concave Straight Convex Erosion status: Stable Minor activity Significant activity Hazard potential Low Moderate High GLOF potential: Low Medium High			
Geomorphology- Geology			
Landform Zone Zone 1: High altitude glacial-periglacial Zone 2: Rock face and associated debris slope Zone 3: Degraded mid-slope, ancient valley floor Zone 4: Unstable lower slope Zone 5: Valley floor Similar failures in the area Yes No			
Geological Zone Terai Quaternaries Siwaliks Lower Himalayan Zone Higher Himalayan Zone			
Bedrock RgI: Igneous 1.Coarse 2. Medium 3. Fine RgM Metamorphic 1. Coarse 2. Medium 3. Fine RgS Sedimentary 1. Coarse 2. Medium 3. Fine RgB Bedded Types _____			

SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 1/2

Road Link:		Chainage (km + m): ~ 70		Site ID:																																																							
Geometry	Length of failed Structure (m): 15		Width at toe (m):																																																								
	General slope angle (deg): 90%		Width at top (m): 0.5																																																								
Applied measures	Bioengineering work		Percentage area covered: ..! .%																																																								
	Trees Shrubs Grass Others		.....																																																								
	Engineering work		Significance of damage: moderate																																																								
			Plan area of damage: ..! .%																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. No</th> <th>Type of measure</th> <th colspan="2">Dimension (L x B x H)</th> <th colspan="2">Condition</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Stone m. wall</td> <td>74</td> <td>0.5</td> <td>x ~6</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>.....</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </tbody> </table> <p>For each distressed wall, fill in Checklist for Distressed Retaining Walls. Comments:</p>						S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition		1	Stone m. wall	74	0.5	x ~6	.....	2	.....	x	x	.....	.....	3	.....	x	x	.....	.....	4	.....	x	x	.....	.....	5	.....	x	x	.....	.....	6	.....	x	x	.....	.....	7	.....	x	x	.....	.....	8	.....	x	x	.....	.....
S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition																																																							
1	Stone m. wall	74	0.5	x ~6	.....																																																						
2	.....	x	x	.....	.....																																																						
3	.....	x	x	.....	.....																																																						
4	.....	x	x	.....	.....																																																						
5	.....	x	x	.....	.....																																																						
6	.....	x	x	.....	.....																																																						
7	.....	x	x	.....	.....																																																						
8	.....	x	x	.....	.....																																																						
Applied Drainage	Drainage type	Good condition	Needs clearing	Needs repair	Not present																																																						
	Roadside drains	X																																																									
	Cascade drains				/																																																						
	Berm drains				X																																																						
	Catch drains				X																																																						
	Horizontal drains	X			.																																																						
	French drains																																																										
	Culvert chainage ! ! ! + ! ! !																																																										
	Culvert inlet		X																																																								
	Culvert outlet		X																																																								
	Culvert wingwalls	X																																																									
	Culvert passageway		X																																																								
	Hydrological condition	Seepage at slope face:		Yes	No																																																						
Natural surface runoff:		Yes	No																																																								
Ponding water nearby:		Yes	No																																																								
Comments:																																																											
Pavement	Cracks: Yes No		Cause: Pavement Slope failure																																																								
	Cracks sealed: Yes No		Depression: Yes No																																																								
Shoulder	Shoulder cracks: Yes No		Shoulder depression: Yes No																																																								
In Situ Testing (undertaken "U; recommended- R)																																																											
Point load	Schmidt hammer	Vane shear	Penetrometer	DCP																																																							
Samples: -Number Taken 1 A15 6 735																																																											
Small disturbed		Large disturbed																																																									
Undisturbed		Intact Rock																																																									

SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2

CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
		~ 70	Slope wall, retaining	A.15		27.09.18		
Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum	Minimum	Critical			
			3.1					
	Plan shape of distressed length		Convex	Concave	Straight			
			/					
Distresses	Filling stone material		Available	N/A	Haulage dist			
			/		100m			
Distresses	Culvert or causeway present?		No	Yes	Type			
				/				
Total length of distressed section (m): 13								
Distresses	Crest cracks	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
	Face cracks	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage?			
		2	5	∅				
	Bulges	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
				X	100	0.9		
Tilting	Significant?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang			
	13mm moderate			X 95g	X			
Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing			
Others	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
			X			/		
Others	Probable foundation material		Slope angle below wall (°)	Signs of distress in ground below toe	Yes	No		
			50%			X		
REMARKS:								
CRITICAL CROSS SECTION		Referred drawing No.						





**Objekt 4**

SLOPE ASSESSMENT QUESTIONNAIRES/CHECKLISTS

**Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 1/2**

Road name:			Site Ref ID:		
Road link:			<input checked="" type="checkbox"/> hill		<input type="checkbox"/> road
Chainage (km + m):			<input type="checkbox"/> valley		
Geographical coordinates: <u>Ums 3386</u> <sup>16</sup> Lat <u>84° 586'</u> Long <u>°</u>			Side of road: left <input checked="" type="checkbox"/> right <input type="checkbox"/> Size: L= ..... m B= ..... m H= ..... m		
Traffic disruption: high <input type="checkbox"/> low <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Traffic blockage duration: ..... days/yr Average daily traffic (ADT): ..... vpd			Rainfall No rain for <u>2</u> days Raining for <u>1</u> days Recent heavy rain <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Preliminary Problem Identification</b> Routine(R); Moderate(M); Severe (S)			<b>Impacts</b>		
	R	M	S	On Road	Actual
Soil-rock fall	<input checked="" type="checkbox"/>			None	<input checked="" type="checkbox"/>
Earth-debris flow	<input checked="" type="checkbox"/>			Road edge only	
Shallow slide	<input checked="" type="checkbox"/>			1 lane	
Deep-seated slide	<input checked="" type="checkbox"/>			Most of 2 lanes	
Surface/gully erosion	<input checked="" type="checkbox"/>			Whole road	<input checked="" type="checkbox"/>
River erosion/undercutting	<input checked="" type="checkbox"/>			Earthworks	
Pavement failure	<input checked="" type="checkbox"/>			Culverts	
Structure failure		<input checked="" type="checkbox"/>		Bridge	
Drainage blocked	<input checked="" type="checkbox"/>				Above Rd
					Below Rd
				Risk to Life	
				Risk to Buildings	
<b>Problem History</b> Year of original problem _____ Date of current failure/problem: _____  Brief summary:			Existing vegetation types: Tropical <input checked="" type="checkbox"/> Deciduous <input checked="" type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/> Shrubs <input checked="" type="checkbox"/> Grasses <input checked="" type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/>  Land use: Barren <input type="checkbox"/> Cultivated <input type="checkbox"/> Forest <input type="checkbox"/> Built up <input type="checkbox"/> Quarry <input type="checkbox"/>  <b>Hydrology</b> Dry <input checked="" type="checkbox"/> Surface springs <input type="checkbox"/> Sheet flood <input type="checkbox"/> Adjacent river <input type="checkbox"/>		
<b>Previous or Existing Engineering Solutions</b>					
	Date			Date	
Surface-drainage	<input checked="" type="checkbox"/>		Anchors/bolts		
Sub-surface drainage			Catch fence		
Breast wall <u>Random Masonry</u>	<input checked="" type="checkbox"/>		Pavement overlay/patching		
Retaining wall [ ]			Bridge repair		
Anchored wall			Culvert repair		
Check dam [ ]					
Bio-engineering					
Road division:			Inspection date:		
Location:			Inspected by:		
District:			Checked by:		

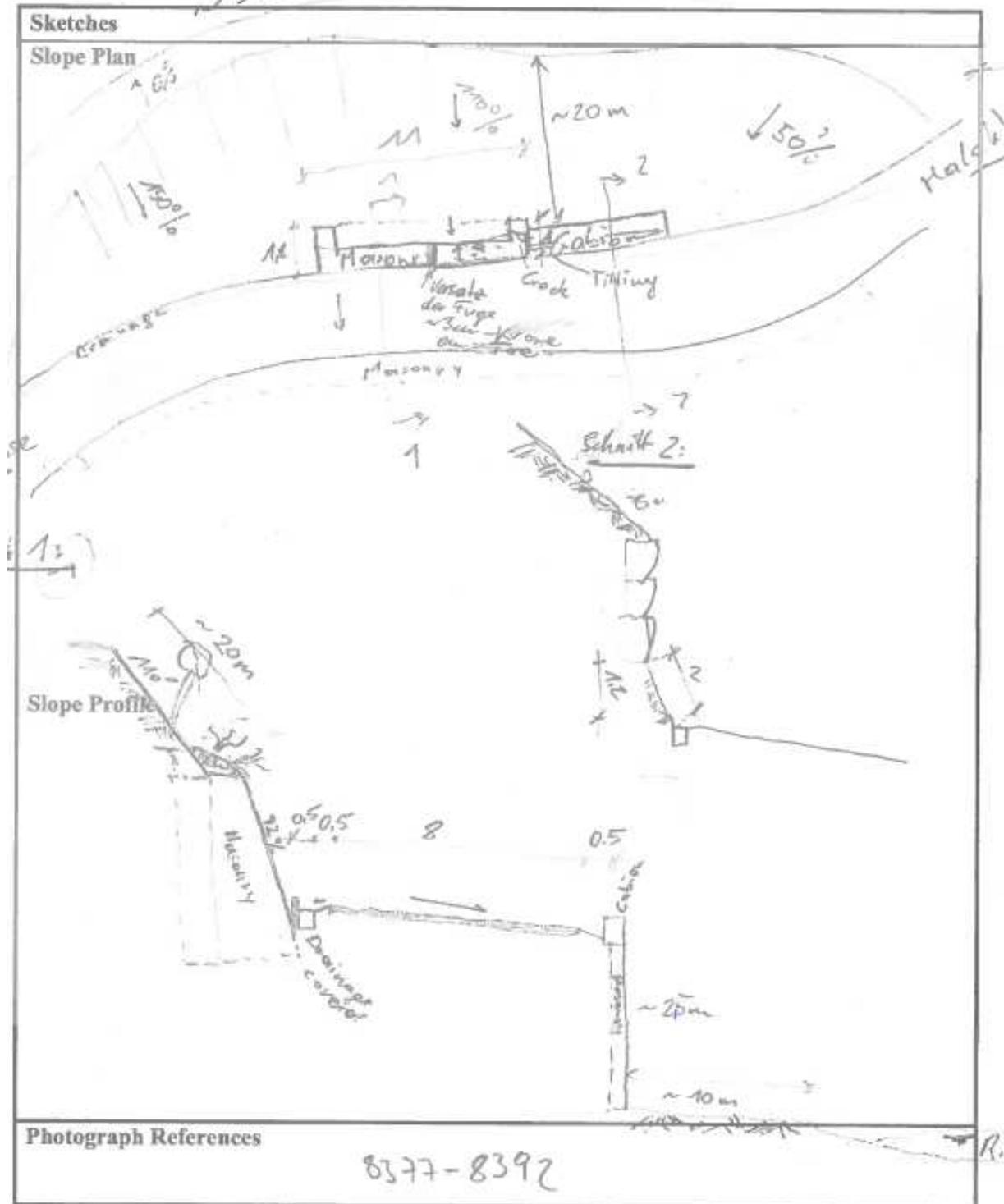
Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 2/2

Road name:

Site Ref ID

Sketches

Slope Plan



Photograph References

8377-8392

RMDP

June 2007

## Data Sheet A3.1: Erosion Problem Sheet 1

Road Link:	Chainage (km + m):	Slope ID:
<b>Slope Definition</b> Slope angle <u>12</u> (deg) Slope Plan <u>100</u> Slope Section _____ Slope height <u>15</u> (m) Hydrology Well drained/Dry <input checked="" type="checkbox"/> Seepage flow <input type="checkbox"/> Active spring flow <input type="checkbox"/> Saturation <input type="checkbox"/> Vegetation cover: Tree <u>10</u> %, Shrub <u>10</u> %, Grass <u>80</u> %, Barren ___ % Cultivation: Type _____ Cover ___ %, Slope material: Rock <input checked="" type="checkbox"/> Colluvium <input type="checkbox"/> Alluvium <input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Talus <input type="checkbox"/> Earthfill <input type="checkbox"/> Rockfill <input type="checkbox"/> Glacial till <input type="checkbox"/> Failure Debris <input type="checkbox"/>		
<b>Problem</b>	Sheet/Rill erosion <input type="checkbox"/>	Gully erosion <input type="checkbox"/> River scour <input type="checkbox"/>
<b>Sheet/Rill Erosion</b> Hazard: Severe (>40 % of slope area) <input type="checkbox"/> Moderate (10%-40%) <input type="checkbox"/> Minor (<10%) <input type="checkbox"/> Rill depth (D) ___ (m) Rill spacing (S) ___ (m) Rill width (W) ___ (m) Rill bed slope ___ (deg)		
<b>Gully Erosion</b> Single gully <input type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> Branching <input type="checkbox"/> Gully width (Top W1) ___ (m); Gully width (Bottom W2) ___ (m) Gully depth (D1) ___ (m) Gully side slope (A1) ___ (deg) Gully bed slope (A2) ___ (deg) Gully curvature: sharp <input type="checkbox"/> moderate <input type="checkbox"/> straight <input type="checkbox"/> Curvature control: rock <input type="checkbox"/> soil <input type="checkbox"/> Tension cracks at banks: yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Rock outcrop at bed: yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Flow: perennial <input type="checkbox"/> torrential <input type="checkbox"/> dry <input type="checkbox"/>		
<b>River Scour</b> Flood level width of river ___ (m) Water level width of river ___ (m): Height of road above river bed H1 ___ (m) Height of road above flood H2 ___ (m) Height of erosion H3 ___ (m) Maximum erosion width ___ (m) Scour depth ___ (m) Erosion face angle ___ (deg) River plan at erosion Concave <input type="checkbox"/> Straight <input type="checkbox"/> Convex <input type="checkbox"/> Erosion status: Stable <input type="checkbox"/> Minor activity <input type="checkbox"/> Significant activity <input type="checkbox"/> Hazard potential Low <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/> GLOF potential: Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/>		
<b>Geomorphology- Geology</b>		
<b>Landform Zone</b> Zone 1: High altitude glacial-periglacial <input type="checkbox"/> Zone 2: Rock face and associated debris slope <input type="checkbox"/> Zone 3: Degraded mid-slope, ancient valley floor <input type="checkbox"/> Zone 4: Unstable lower slope <input type="checkbox"/> Zone 5: Valley floor <input type="checkbox"/> Similar failures in the area Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
<b>Geological Zone</b> Terai Quaternaries <input type="checkbox"/> Siwaliks <input type="checkbox"/> Lower Himalayan Zone <input type="checkbox"/> Higher Himalayan Zone <input type="checkbox"/>		
<b>Bedrock</b> RgI: Igneous 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgM: Metamorphic 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgS: Sedimentary 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgB: Bedded Types _____		

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 1/2**

Road Link:		Chainage (km + m):		Site ID:																																														
<b>Geometry</b>	Length of failed Structure (m): <u>2,3</u>		Width at toe (m): <u>3</u>																																															
	General slope angle (deg): <u>110%</u>		Width at top (m): <u>1</u>																																															
<b>Applied measures</b>	Bioengineering work		Percentage area covered: ..... %																																															
	Trees <input type="checkbox"/> Shrubs <input type="checkbox"/> Grass <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/> .....																																																	
	Engineering work		Significance of damage: <input type="checkbox"/>																																															
			Plan area of damage: <input type="checkbox"/>																																															
		Percentage area covered: .....%																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. No</th> <th>Type of measure</th> <th colspan="2">Dimension (L x B x H)</th> <th>Condition</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><u>Masonry</u></td> <td><u>11</u></td> <td><u>0,5</u> x <u>3,10</u></td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><u>Gabion</u></td> <td><u>7,8</u></td> <td><u>1</u> x <u>2,5</u></td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </tbody> </table> <p>For each distressed wall, fill in <b>Checklist for Distressed Retaining Walls</b>. Comments:</p>						S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition	1	<u>Masonry</u>	<u>11</u>	<u>0,5</u> x <u>3,10</u>	.....	2	<u>Gabion</u>	<u>7,8</u>	<u>1</u> x <u>2,5</u>	.....	3	.....	.....	.....	.....	4	.....	.....	.....	.....	5	.....	.....	.....	.....	6	.....	.....	.....	.....	7	.....	.....	.....	.....	8	.....	.....	.....	.....
S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)		Condition																																														
1	<u>Masonry</u>	<u>11</u>	<u>0,5</u> x <u>3,10</u>	.....																																														
2	<u>Gabion</u>	<u>7,8</u>	<u>1</u> x <u>2,5</u>	.....																																														
3	.....	.....	.....	.....																																														
4	.....	.....	.....	.....																																														
5	.....	.....	.....	.....																																														
6	.....	.....	.....	.....																																														
7	.....	.....	.....	.....																																														
8	.....	.....	.....	.....																																														
<b>Applied Drainage</b>	Drainage type	Good condition	Needs clearing	Needs repair	Not present																																													
	Roadside drains	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
	Cascade drains																																																	
	Berm drains																																																	
	Catch drains																																																	
	Horizontal drains																																																	
	French drains																																																	
	Culvert chainage ..... + .....																																																	
	Culvert inlet																																																	
	Culvert outlet																																																	
	Culvert wingwalls																																																	
	Culvert passageway																																																	
Hydrological condition	Seepage at slope face: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																																	
	Natural surface runoff: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																																	
	Ponding water nearby: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																																	
Comments:																																																		
<b>Pavement</b>	Cracks: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Cause: Pavement <input checked="" type="checkbox"/> Slope failure <input type="checkbox"/>																																															
	Cracks sealed: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Depression: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																																															
<b>Shoulder</b>	Shoulder cracks: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Shoulder depression: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>																																															
<b>In Situ Testing</b> (undertaken -U; recommended- R)																																																		
Point load <input type="checkbox"/> Schmidt hammer <input type="checkbox"/> Vane shear <input type="checkbox"/> Penetrometer <input type="checkbox"/> DCP <input type="checkbox"/>																																																		
<b>Samples</b> -Number Taken																																																		
Small disturbed <input type="checkbox"/>		Large disturbed <input type="checkbox"/>																																																
Undisturbed <input type="checkbox"/>		Intact Rock <input type="checkbox"/>																																																

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2**

CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum	Minimum	Critical			
			3.1m	3.10				
	Plan shape of distressed length		Convex	Concave	Straight			
	Filling stone material		Available	N/A	Haulage dist			
			X		100m			
Culvert or causeway present?		No	Yes	Type				
		X						
Total length of distressed section (m):								
Distresses	Crest cracks	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
	Face cracks	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage?			
	Masonry	1	100	65°				
	Bulges	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
Tilting	Significant?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang			
Gabion	Yes			X				
Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing			
Others	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
			X			X		
	Probable foundation material		Slope angle below wall (°)	Signs of distress in ground below toe	Yes	No		
						X		
REMARKS:								
Versok in Fuge Masonry 30mm								
CRITICAL CROSS SECTION			Referred drawing No.					



**Objekt 5**

SLOPE ASSESSMENT QUESTIONNAIRES/CHECKLISTS

**Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 1/2**

Road name: <u>Freiburg Ringweg</u>				Site Ref ID:		
Road link:				<input checked="" type="checkbox"/> hill	<input type="checkbox"/> road	<input type="checkbox"/> valley
Chainage (km + m):						
Geographical coordinates: Lat <u>47.094°</u> Long <u>107.964°</u>				Side of road: left <input type="checkbox"/> right <input checked="" type="checkbox"/> Size: L= <u>4.3</u> m B= <u>1.1</u> m H= <u>3.1</u> m		
Traffic disruption: high <input type="checkbox"/> low <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Traffic blockage duration: ..... days/yr Average daily traffic (ADT): ..... vpd				Rainfall No rain for <u>0</u> days Raining for ..... days Recent heavy rain <input type="checkbox"/>		
<b>Preliminary Problem Identification</b> Routine(R); Moderate(M); Severe (S)				<b>Impacts</b>		
	R	M	S	On Road	Actual	Risk
Soil-rock fall	<input checked="" type="checkbox"/>			None		
Earth-debris flow		<input checked="" type="checkbox"/>		Road edge only		
Shallow slide	<input checked="" type="checkbox"/>			1 lane		
Deep-seated slide	<input checked="" type="checkbox"/>			Most of 2 lanes	<input checked="" type="checkbox"/>	
Surface/gully erosion		<input checked="" type="checkbox"/>		Whole road		
River erosion/undercutting				Earthworks		
Pavement failure			<input checked="" type="checkbox"/>	Culverts	<input checked="" type="checkbox"/>	
Structure failure			<input checked="" type="checkbox"/>	Bridge		
Drainage blocked	<input checked="" type="checkbox"/>				Above Rd	Below Rd
				Risk to Life		
				Risk to Buildings		
<b>Problem History</b> Year of original problem _____ Date of current failure/problem: <u>31.03.15</u>  Brief summary:				Existing vegetation types: Tropical <input type="checkbox"/> Deciduous <input checked="" type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/> Shrubs <input checked="" type="checkbox"/> Grasses <input type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/>  Land use: Barren <input type="checkbox"/> Cultivated <input type="checkbox"/> Forest <input checked="" type="checkbox"/> Built up <input type="checkbox"/> Quarry <input type="checkbox"/>  <b>Hydrology</b> Dry <input type="checkbox"/> Surface springs <input checked="" type="checkbox"/> Sheet flood <input type="checkbox"/> Adjacent river <input type="checkbox"/>		
<b>Previous or Existing Engineering Solutions</b>						
	Date				Date	
Surface-drainage				Anchors/bolts		
Sub-surface drainage				Catch fence		
Breast wall [ _____ ]				Pavement overlay/patching		
Retaining wall [ <u>Graben</u> ]	<u>01.03.15</u>			Bridge repair		
Anchored wall				Culvert repair		
Check dam [ _____ ]						
Bio-engineering						
Road division:				Inspection date: <u>31.03.15</u>		
Location:				Inspected by:		
District:				Checked by:		

Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 2/2

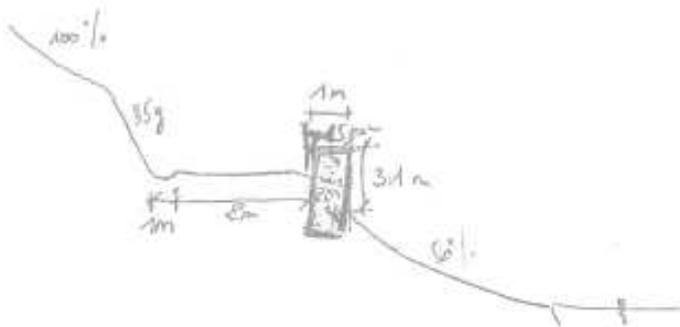
Road name:	Site Ref ID
------------	-------------

Sketches

Slope Plan



Slope Profile



Photograph References

8E24 +

**Data Sheet A2.1: Slope Problems Sheet 2**

Geotechnical Environment																																																															
<b>Failure in:</b> Rock <input type="checkbox"/> Soil <input checked="" type="checkbox"/> Soil-rock <input type="checkbox"/> <b>Failed Material</b> Blocky <input type="checkbox"/> C-F. Debris <input type="checkbox"/> F. Debris <input checked="" type="checkbox"/>				<b>Separate Detailed Description Sheets</b> Rock mass <input type="checkbox"/> Soil mass <input checked="" type="checkbox"/> Joint survey <input type="checkbox"/>																																																											
<b>General Rock Condition</b> Weathering fresh <input type="checkbox"/> slightly weathered <input type="checkbox"/> moderately weathered <input type="checkbox"/> highly weathered <input type="checkbox"/> completely weathered <input type="checkbox"/> General Rock mass condition: Intact or massive <input type="checkbox"/> blocky / very blocky <input type="checkbox"/> blocky/ disturbed <input type="checkbox"/> disintegrated <input type="checkbox"/> General intact rock strength    very weak <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> mod. weak <input type="checkbox"/> mod. strong <input type="checkbox"/> strong <input type="checkbox"/> very strong <input type="checkbox"/>				<b>General Soil Condition</b> Classification																																																											
				In Situ		Debris																																																									
				GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%		GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> Pt <input type="checkbox"/> Boulders: .....% Fine soil: .....%																																																									
				Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>		Matrix: gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> silt <input type="checkbox"/> clay <input type="checkbox"/> peat <input type="checkbox"/>																																																									
								Soil Strength																																																							
In situ`		Debris																																																													
Very Soft <input type="checkbox"/>		Soft <input type="checkbox"/>		Very Soft <input type="checkbox"/>		Soft <input type="checkbox"/>																																																									
Firm <input type="checkbox"/>		Stiff <input type="checkbox"/>		Firm <input type="checkbox"/>		Stiff <input type="checkbox"/>																																																									
Very Stiff <input type="checkbox"/>		Hard <input type="checkbox"/>		Very Stiff <input type="checkbox"/>		Hard <input type="checkbox"/>																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Discontinuities</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Dip (deg)</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Dip Direction (deg)</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Persistence (m)</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Spacing (m)</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Dilation</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Infilling</th> <th style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Roughness</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>F0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>J1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>J2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>J3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>FP</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				Discontinuities	Dip (deg)	Dip Direction (deg)	Persistence (m)	Spacing (m)	Dilation	Infilling	Roughness	F0								B								J1								J2								J3								FP								Additional Visual Descriptions (In situ)			
				Discontinuities	Dip (deg)	Dip Direction (deg)	Persistence (m)	Spacing (m)	Dilation	Infilling	Roughness																																																				
				F0																																																											
				B																																																											
				J1																																																											
				J2																																																											
J3																																																															
FP																																																															
				Additional Visual Descriptions (Debris)																																																											
				<b>Slope Failure Triggered by</b> Rainfall <input checked="" type="checkbox"/> Slope Erosion <input type="checkbox"/> Cultivation <input type="checkbox"/> Vegetation removal <input type="checkbox"/> Over-steepening <input type="checkbox"/> Road construction <input checked="" type="checkbox"/> Quarrying <input type="checkbox"/> Drainage failure <input type="checkbox"/> Stress relief <input type="checkbox"/> Rock degradation <input type="checkbox"/> Seismic event Others (specify)																																																											
Additional Visual Descriptions (Rock)																																																															

RMDP

June 2007

## Data Sheet A3.1: Erosion Problem Sheet 1

Road Link:	Chainage (km + m):	Slope ID:	
<b>Slope Definition</b> Slope angle $45^\circ$ (deg) Slope Plan _____ Slope Section _____ Slope height _____ (m) Hydrology Well drained/Dry <input type="checkbox"/> Seepage flow <input checked="" type="checkbox"/> Active spring flow <input type="checkbox"/> Saturation <input type="checkbox"/> Vegetation cover: Tree <u>10</u> %, Shrub <u>70</u> %, Grass _____ %, Barren _____ % Cultivation: Type _____ Cover <u>10</u> % Slope material: Rock <input type="checkbox"/> Colluvium <input type="checkbox"/> Alluvium <input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Talus <input checked="" type="checkbox"/> Earthfill <input type="checkbox"/> Rockfill <input type="checkbox"/> Glacial till <input type="checkbox"/> Failure Debris <input type="checkbox"/>			
<b>Problem</b>	Sheet/Rill erosion <input type="checkbox"/>	Gully erosion <input checked="" type="checkbox"/>	River scour <input type="checkbox"/>
<b>Sheet/Rill Erosion</b> Hazard: Severe (>40 % of slope area) <input type="checkbox"/> Moderate (10%-40%) <input type="checkbox"/> Minor (<10%) <input type="checkbox"/> Rill depth (D) _____ (m) Rill spacing (S) _____ (m) Rill width (W) _____ (m) Rill bed slope _____ (deg)			
<b>Gully Erosion</b> Single gully <input checked="" type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> Branching <input type="checkbox"/> Gully width (Top W1) <u>1.5</u> (m); Gully width (Bottom W2) <u>5</u> (m) Gully depth (D1) <u>0.7</u> (m) Gully side slope(A1) <u>45</u> (deg) Gully bed slope (A2) <u>20</u> (deg) Gully curvature: sharp <input type="checkbox"/> moderate <input type="checkbox"/> straight <input checked="" type="checkbox"/> Curvature control: rock <input type="checkbox"/> soil <input checked="" type="checkbox"/> Tension cracks at banks: yes <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Rock outcrop at bed: yes <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Flow: perennial <input type="checkbox"/> torrential <input type="checkbox"/> dry <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>River Scour</b> Flood level width of river _____ (m) Water level width of river _____ (m): Height of road above river bed H1 _____ (m) Height of road above flood H2 _____ (m) Height of erosion H3 _____ (m) Maximum erosion width _____ (m) Scour depth _____ (m) Erosion face angle _____ (deg) River plan at erosion Concave <input type="checkbox"/> Straight <input type="checkbox"/> Convex <input type="checkbox"/> Erosion status: Stable <input type="checkbox"/> Minor activity <input type="checkbox"/> Significant activity <input type="checkbox"/> Hazard potential Low <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/> GLOF potential: Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/>			
<b>Geomorphology- Geology</b>			
<b>Landform Zone</b> Zone 1: High altitude glacial-periglacial <input type="checkbox"/> Zone 2: Rock face and associated debris slope <input type="checkbox"/> Zone 3: Degraded mid-slope, ancient valley floor <input type="checkbox"/> Zone 4: Unstable lower slope <input type="checkbox"/> Zone 5: Valley floor <input type="checkbox"/> Similar failures in the area Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
<b>Geological Zone</b> Terai Quaternaries <input type="checkbox"/> Siwaliks <input type="checkbox"/> Lower Himalayan Zone <input type="checkbox"/> Higher Himalayan Zone <input type="checkbox"/>			
<b>Bedrock</b> RgI: Igneous 1.Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgM: Metamorphic 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgS: Sedimentary 1. Coarse <input type="checkbox"/> 2. Medium <input type="checkbox"/> 3. Fine <input type="checkbox"/> RgB: Bedded Types _____			

RMDP

June 2007

**Data Sheet A3.1: Erosion/Slope Problem Sheet 3**

<b>Road name:</b>	<b>Site Ref ID</b>
-------------------	--------------------

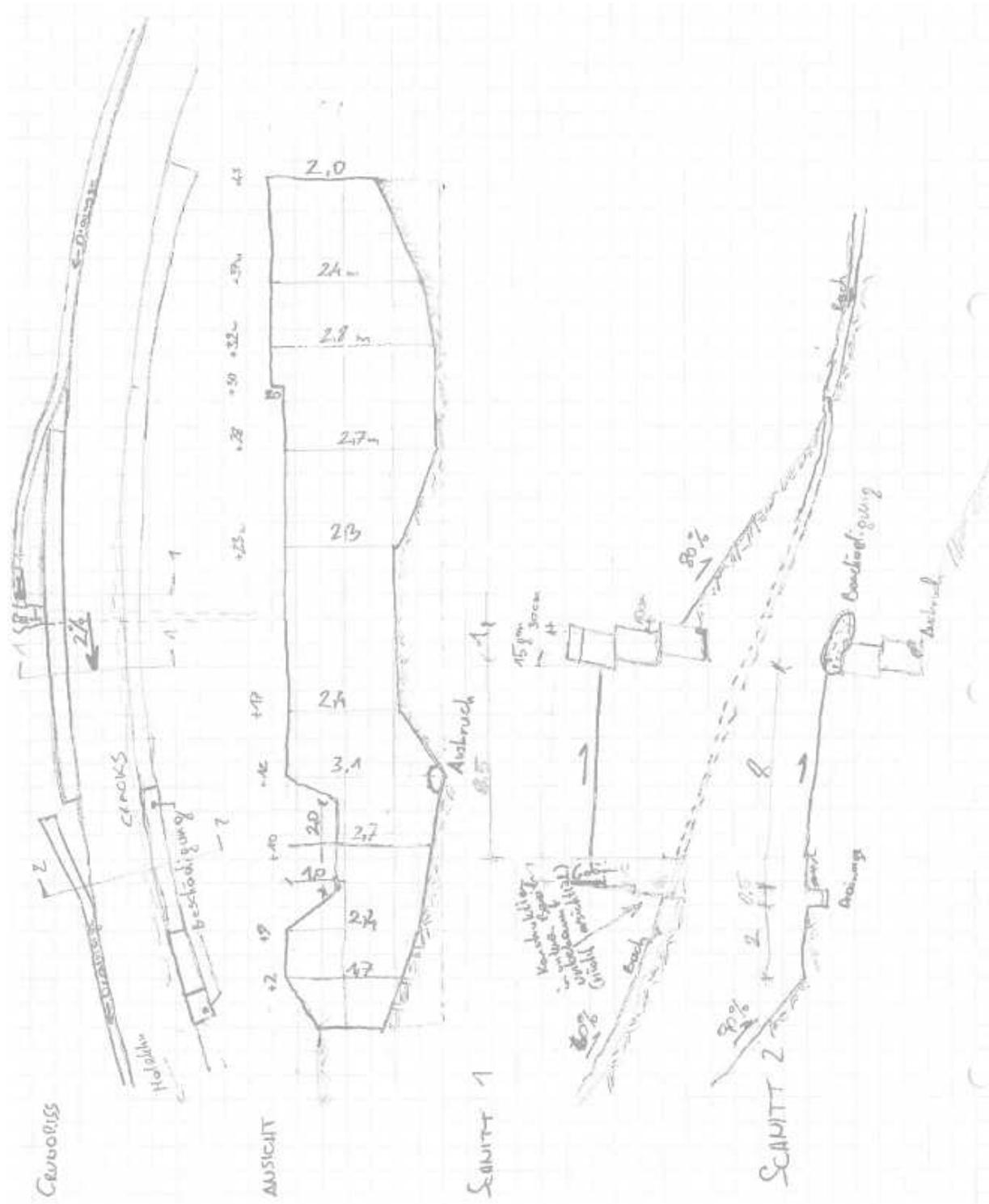
<b>Sketches</b>	
<p>                     gully erosion between m 12-13 → reason: people removed                      E &amp; Vtra foto Handy Jan 15 39 03                      curb failure between m 17-7                 </p>	
<b>Engineer</b>	<b>Date</b>

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 1/2**

Road Link:		Chainage (km + m):		Site ID:																																					
Geometry	Length of failed Structure (m): 5.0		Width at toe (m):																																						
	General slope angle (deg):		Width at top (m): 1.0 - 1.5m																																						
Applied measures	Bioengineering work		Percentage area covered: 100 %																																						
	Trees <input type="checkbox"/> Shrubs <input type="checkbox"/> Grass <input type="checkbox"/> Others <input type="checkbox"/>																																								
	Engineering work		Significance of damage: <input type="checkbox"/>																																						
			Plan area of damage: <input type="checkbox"/>																																						
		Percentage area covered: 47 %																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. No</th> <th>Type of measure</th> <th>Dimension (L x B x H)</th> <th>Condition</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Gravel wall</td> <td>13 x 10 x 3ft</td> <td>Good</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td>X X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)	Condition	1	Gravel wall	13 x 10 x 3ft	Good	2		X X		3		X X		4		X X		5		X X		6		X X		7		X X		8		X X	
S. No	Type of measure	Dimension (L x B x H)	Condition																																						
1	Gravel wall	13 x 10 x 3ft	Good																																						
2		X X																																							
3		X X																																							
4		X X																																							
5		X X																																							
6		X X																																							
7		X X																																							
8		X X																																							
For each distressed wall, fill in <u>Checklist for Distressed Retaining Walls</u> . Comments:																																									
Applied Drainage	Drainage type	Good condition	Needs clearing	Needs repair	Not present																																				
	Roadside drains	X																																							
	Cascade drains				X																																				
	Berm drains				X																																				
	Catch drains				X																																				
	Horizontal drains				X																																				
	French drains				X																																				
	Culvert chainage .....				X																																				
	Culvert inlet				X																																				
	Culvert outlet				X																																				
	Culvert wingwalls				X																																				
	Culvert passageway				X																																				
Hydrological condition	Seepage at slope face: Yes X No <input type="checkbox"/>																																								
	Natural surface runoff: Yes X No <input type="checkbox"/>																																								
	Ponding water nearby: Yes <input type="checkbox"/> No X																																								
Comments:																																									
Pavement	Cracks: Yes X No <input type="checkbox"/>		Cause: Pavement <input type="checkbox"/> Slope failure X																																						
	Cracks sealed: Yes <input type="checkbox"/> No X		Depression: Yes X No <input type="checkbox"/>																																						
Shoulder	Shoulder cracks: Yes X No <input type="checkbox"/>		Shoulder depression: Yes <input type="checkbox"/> No X																																						
<b>In Situ Testing</b> (undertaken -U; recommended- R)																																									
Point load <input type="checkbox"/> Schmidt hammer <input type="checkbox"/> Vane shear <input type="checkbox"/> Penetrometer <input type="checkbox"/> DCP <input type="checkbox"/>																																									
Samples: -Number Taken 1																																									
Small disturbed <input type="checkbox"/>		Large disturbed <input checked="" type="checkbox"/>																																							
Undisturbed <input type="checkbox"/>		Intact Rock <input type="checkbox"/>																																							

**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2**

CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
			<i>Sabbion wall</i>	<i>7</i>				
Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum	Minimum	Critical			
			<i>1.2</i>					
	Plan shape of distressed length		Convex	Concave	Straight			
						<i>x</i>		
	Filling stone material		Available	N/A	Haulage dist			
		<i>x</i>						
Culvert or causeway present ?		No	Yes	Type				
		<i>x</i>						
Total length of distressed section (m): <i>50</i>								
Distresses	Crest cracks <i>Crack failure</i>	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
		<i>1</i>	<i>500</i>	<i>500</i>	<i>1200</i>	<i>1200</i>		
	Face cracks <i>/</i>	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage ?			
	Bulges <i>/</i>	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
Tilting <i>Yes</i>	Significant ?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang			
					<i>x</i>			
Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing			
Others	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
			<i>y</i>		<i>y</i>			
	Probable foundation material <i>30 den p. soil</i>	Slope angle below wall (°) <i>80%</i>	Signs of distress in ground below toe	Yes	No		<i>x</i>	
REMARKS:								
CRITICAL CROSS SECTION			Referred drawing No.					



**Objekt 6**

SLOPE ASSESSMENT QUESTIONNAIRES/CHECKLISTS

**Data Sheet A1.1: Site Definition Sheet 1/2**

Road name: <u>Abadiye - Mabitla</u>			Site Ref ID:			
Road link: <u>file 0709 - 692 - 552 - 47 522</u>			<input checked="" type="checkbox"/> hill		<input type="checkbox"/> road	<input type="checkbox"/> valley
Chainage (km + m):						
Geographical coordinates: Lat            °            Long            °			Side of road: left <input checked="" type="checkbox"/> right <input type="checkbox"/> Size: L= <u>3000</u> m    B= <u>4200</u> m    H= <u>2000</u> m			
Traffic disruption: high <input type="checkbox"/> low <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>			Rainfall			
Traffic blockage duration: <u>NA</u> days/yr			No rain for <u>3</u> days			
Average daily traffic (ADT): <u>NA</u> vpd			Raining for <u>1</u> days    Recent heavy rain <input type="checkbox"/>			
<b>Preliminary Problem Identification</b>			<b>Impacts</b>			
Routine(R); Moderate(M); Severe (S)			On Road            Actual            Risk			
	R	M	S	None		
Soil-rock fall	<input checked="" type="checkbox"/>			Road edge only		
Earth-debris flow		<input checked="" type="checkbox"/>		1 lane	<input checked="" type="checkbox"/>	
Shallow slide	<input checked="" type="checkbox"/>			Most of 2 lanes		
Deep-seated slide	<input checked="" type="checkbox"/>			Whole road		<input checked="" type="checkbox"/> → <u>1 lane</u>
Surface/gully erosion	<input checked="" type="checkbox"/>			Earthworks		
River erosion/undercutting	<input checked="" type="checkbox"/>			Culverts		
Pavement failure		<input checked="" type="checkbox"/>		Bridge		
Structure failure			<input checked="" type="checkbox"/>			
Drainage blocked	<input checked="" type="checkbox"/>				Above Rd	Below Rd
			Risk to Life			
			Risk to Buildings			
<b>Problem History</b>			Existing vegetation types:			
Year of original problem _____			Tropical <input checked="" type="checkbox"/> Deciduous <input checked="" type="checkbox"/> Coniferous <input type="checkbox"/>			
Date of current failure/problem : _____			Shrubs <input checked="" type="checkbox"/> Grasses <input checked="" type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/>			
Brief summary:			Land use: <u>pasture</u> <u>open woodland</u>			
			Barren <input checked="" type="checkbox"/> Cultivated <input checked="" type="checkbox"/> Forest <input checked="" type="checkbox"/> <u>with trees</u>			
			Built up <input type="checkbox"/> Quarry <input type="checkbox"/>			
			<b>Hydrology</b>			
			Dry <input checked="" type="checkbox"/>			
			Surface springs <input type="checkbox"/>			
			Sheet flood <input type="checkbox"/>			
			Adjacent river <input type="checkbox"/>			
<b>Previous or Existing Engineering Solutions</b>						
	Date				Date	
Surface-drainage				Anchors/bolts		
Sub-surface drainage				Catch fence		
Breast wall [ _____ ]				Pavement overlay/patching		
Retaining wall <input checked="" type="checkbox"/> <u>gabion</u>				Bridge repair		
Anchored wall				Culvert repair		
Check dam [ _____ ]						
Bio-engineering						
Road division:			Inspection date: <u>07.09.2010</u>			
Location:			Inspected by:			
District:			Checked by:			

June 2007

RMDP

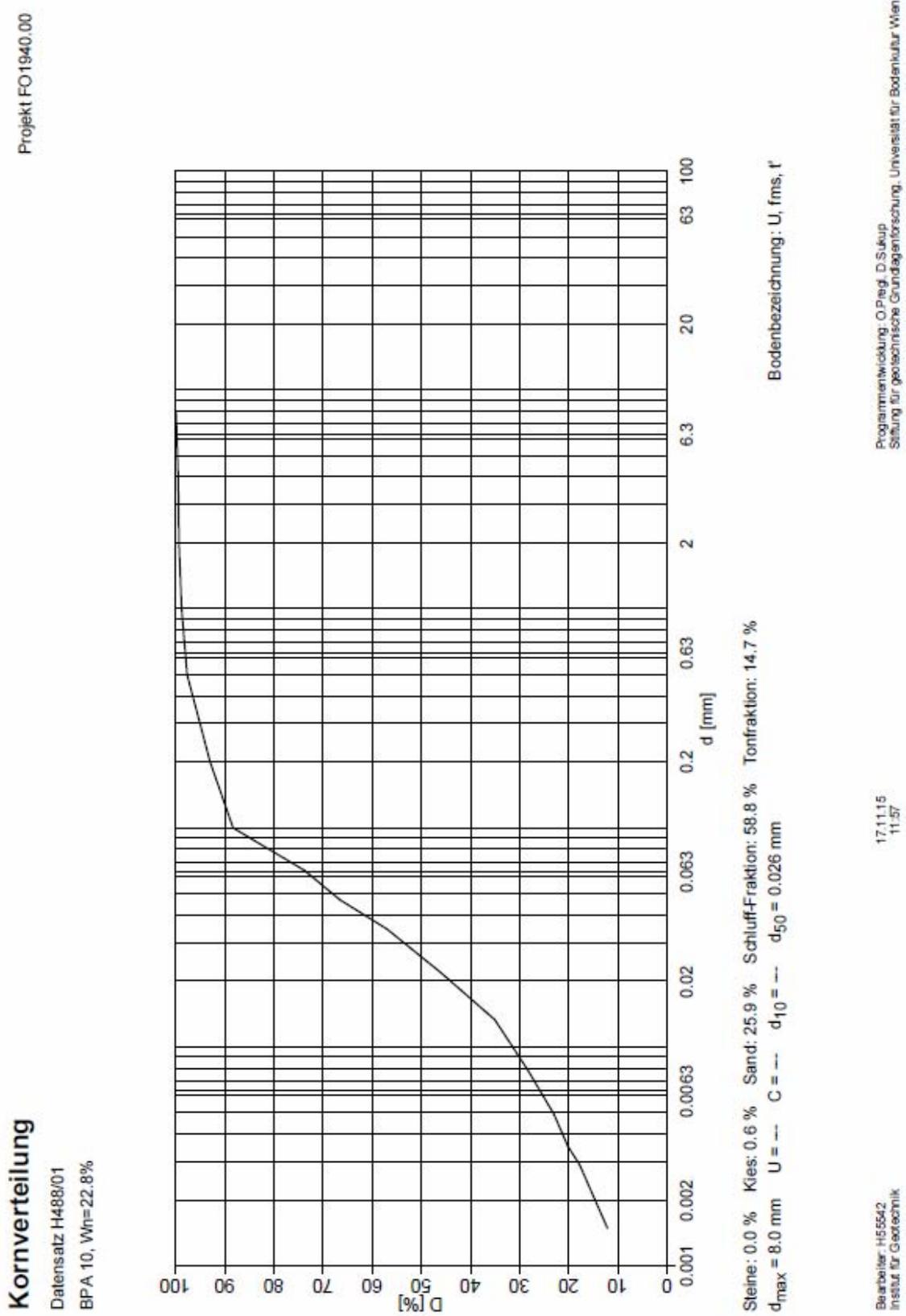
**SHEET A5.1: Structural Problems Sheet 2/2**

CHECKLIST FOR DISTRESSED RETAINING WALLS						Sketch Plan		
General	Chainage	Wall type	Ref. No.	Logged by	Date	L	CL	R
	Geometry	Exposed height over distressed length (m)		Maximum 2.40	Minimum	Critical 2.40		
Plan shape of distressed length			Convex	Concave	Straight			
Filling stone material			Available	N/A	Haulage dist			
Culvert or causeway present ?			No X	Yes	Type			
Total length of distressed section (m):								
Distresses	Crest cracks	No.	Max hor disp (mm)	Cumulative (mm)	Max ver disp (mm)	Cumulative (mm)		
		No						
	Face cracks	No.	Max width (mm)	Average angle from horizontal (°)	Other face damage ?			
		No						
	Bulges	In plan?	Max (mm)	In section?	Max (mm)	Height (m)		
		Yes	150	No	\	\		
Tilting	Significant ?	Crest with respect to toe	Sub vertical	Near vertical	Overhang			
	No		X					
Monitoring results?	Available?	Start date	Movement	Stopped	Continuing			
	No							
Others	Previous seepage signs?	Yes	No	Seepage through wall	Yes	No		
			X			X		
	Probable foundation material	Slope angle below wall (°)	Signs of distress in ground below toe	Yes	No			
REMARKS:								
CRITICAL CROSS SECTION			Referred drawing No.					



# Anhang B: Auswertung der Bodenproben

## Objekt 1



### Kornverteilung

Datensatz H488/01  
 BPA 10, Wn=22,8%

#### Siebversuch

Siebzahl P  
 $R_0 = 0,0\%$   
 $D_{max,U} = 8,000\text{ mm}$   
 $m_s = 289,66\text{ g}$   
 $d_{max} = 8,000\text{ mm}$   
 $d_{min} = 0,100\text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8,000\text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0,500\text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 7,33\text{ g}$   
 $D'(d_{min,M}) = 0,66\text{ g}$   
 $m_{s,F} = 52,92\text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	8,00	0,00	100,00
M	4,00	1,41	99,51
	2,00	0,40	99,38
F	1,00	1,59	98,83
	0,50	3,27	97,70
	0,20	2,53	93,03
	0,10	2,53	88,36

#### Aräometerversuch

Aräometer 3  
 $\rho_s = 2,700\text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 44,31\text{ g}$   
 $K_M = 0,3\text{ cm}$   
 $K_D = 1,741\text{ g}$   
 $K_A = 1,4\text{ g}$   
 $D(d_{0,02}) = 44,13\%$

t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0,5	26,2	0,0639	21,90	73,83
1,0	26,2	0,0468	19,60	66,55
2,0	26,2	0,0346	16,60	57,06
5,0	26,2	0,0221	13,20	46,30
15,0	26,4	0,0133	9,60	35,08
45,0	26,4	0,0079	7,50	28,44
120,0	26,4	0,0049	5,80	23,06
240,0	26,4	0,0035	4,90	20,21
360,0	26,2	0,0029	4,20	17,82
1440,0	25,5	0,0015	2,60	12,18

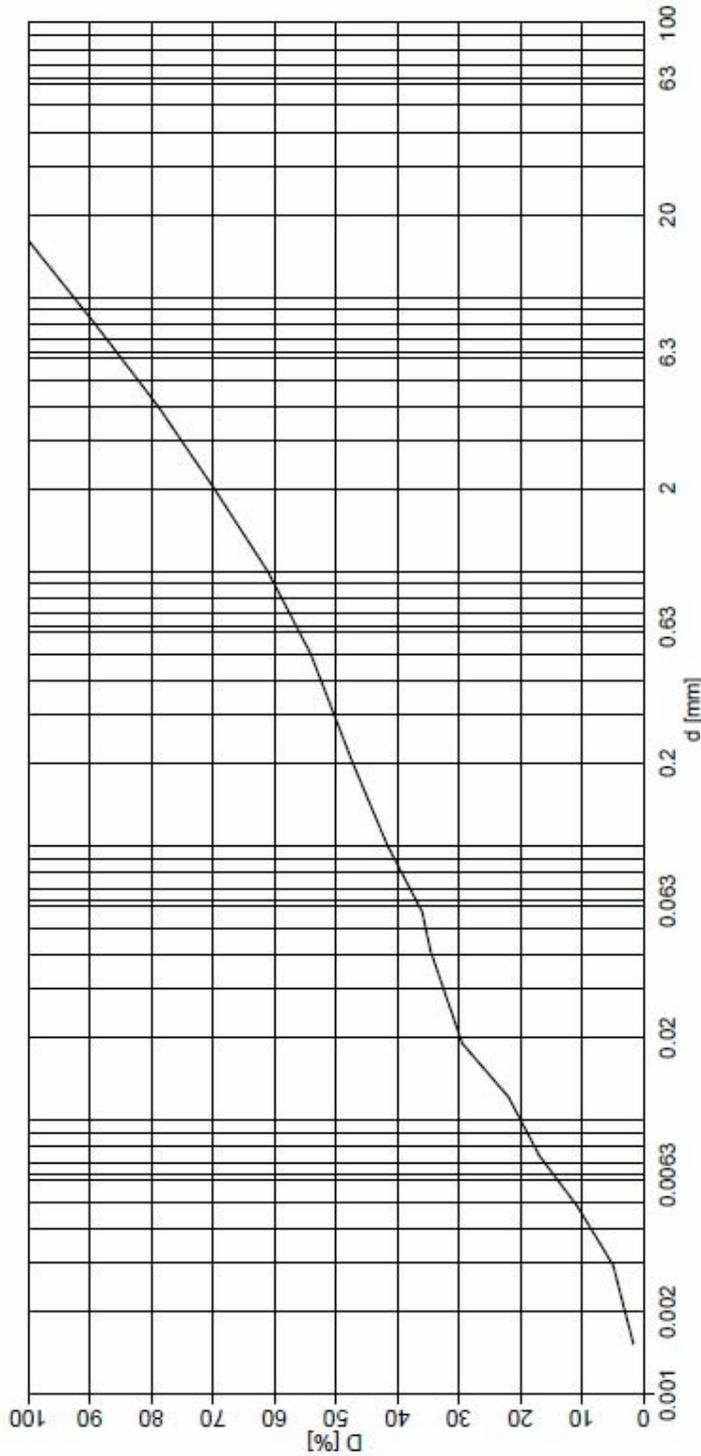
Projekt FO1940.00

**Objekt 2**

Projekt FO1940.00

**Kornverteilung**

Datensatz H490/01  
BPA 13,  $W_h=8.2\%$



Steine: 0.0 %    Kies: 30.2 %    Sand: 32.9 %    Schluff-Fraktion: 33.9 %    Tonfraktion: 3.0 %  
 $d_{max} = 16.0 \text{ mm}$      $U = 197.2$      $C = 0.1$      $d_{10} = 0.005 \text{ mm}$      $d_{50} = 0.288 \text{ mm}$

Bodenbezeichnung: U, fmg\*, s\*

Bearbeiter: H55542  
Institut für Geotechnik

17.11.15  
11:58

Programmentwicklung: O. Pregl, D. Sukup  
Stiftung für geotechnische Grundlagenforschung, Universität für Bodenkultur Wien

### Kornverteilung

Datensatz H490/01  
 BPA 13,  $W_H=8.2\%$

#### Siebversuch

Siebansatz O  
 $R_U = 0.0\%$   
 $D_{max,U} = 16.000\text{ mm}$   
 $m_s = 238.63\text{ g}$   
 $d_{max} = 16.000\text{ mm}$   
 $d_{min} = 0.100\text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8.000\text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0.500\text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 85.53\text{ g}$   
 $D'(d_{min,M}) = 1.71\text{ g}$   
 $m_{s,F} = 70.22\text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	16.00	0.00	100.00
M	8.00	25.64	89.26
	4.00	24.53	78.98
F	2.00	21.87	69.81
	1.00	20.76	61.11
	0.50	16.66	54.13
	0.20	8.88	47.28
	0.10	7.35	41.62

#### Ärömeterversuch

Ärömeter 3  
 $\rho_s = 2.700\text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 53.99\text{ g}$   
 $K_M = 0.3\text{ cm}$   
 $K_D = 1.744\text{ g}$   
 $K_A = 1.4\text{ g}$   
 $D(d_{0,02}) = 29.84\%$

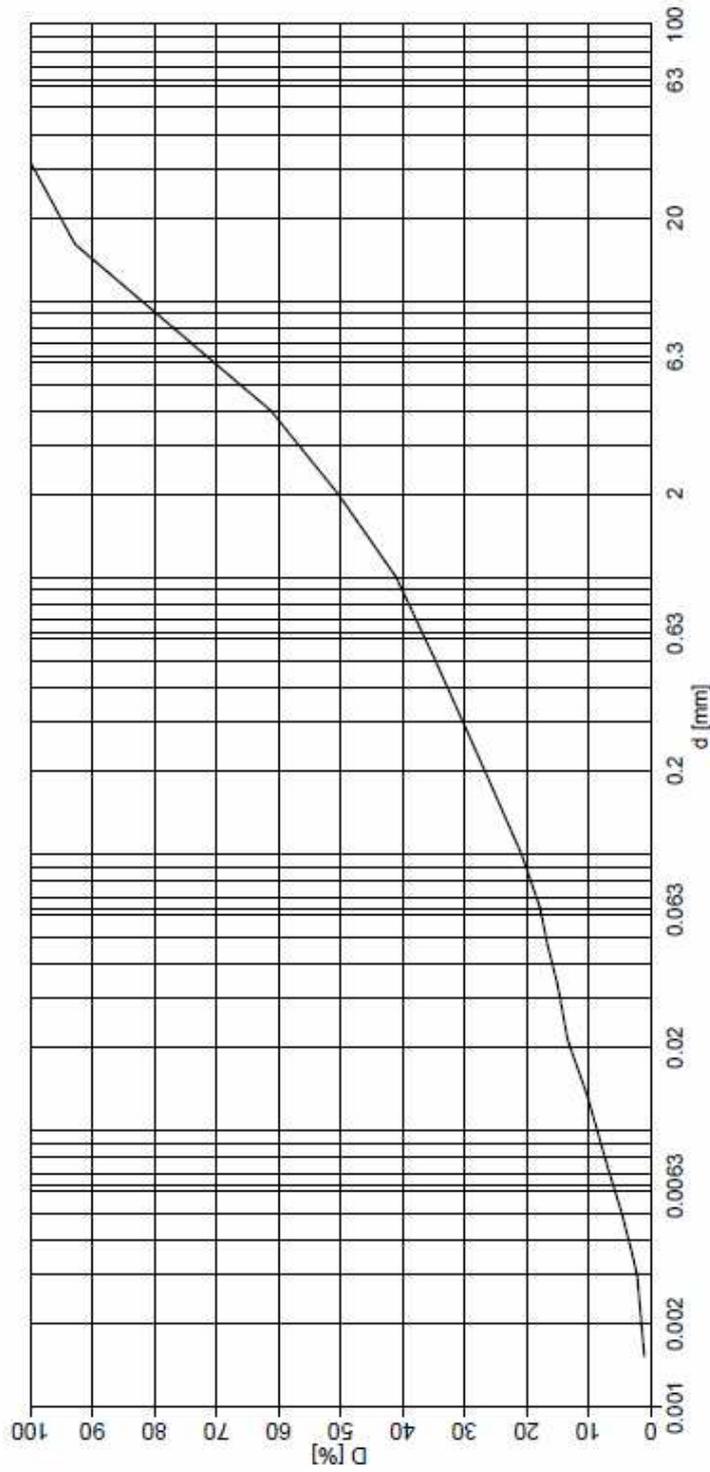
t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0.5	26.2	0.0574	28.00	36.00
1.0	26.2	0.0415	26.90	34.65
2.0	26.2	0.0302	25.20	32.57
5.0	26.2	0.0190	22.70	29.52
15.0	26.3	0.0121	16.50	21.97
45.0	26.3	0.0074	12.40	16.95
120.0	26.4	0.0048	7.30	10.74
240.0	26.4	0.0035	4.30	7.08
360.0	26.2	0.0030	2.60	4.93
1440.0	25.5	0.0015	0.10	1.65

**Objekt 3**

Projekt FO1940.00

**Kornverteilung**

Datensatz H489/01  
 BPA 15,  $W_h=11.1\%$



Steine: 0.0 %    Kies: 49.6 %    Sand: 32.6 %    Schluff-Fraktion: 16.3 %    Tonfraktion: 1.5 %  
 $d_{max} = 31.5 \text{ mm}$      $U = 286.9$      $C = 1.8$      $d_{10} = 0.013 \text{ mm}$      $d_{50} = 1.939 \text{ mm}$

Bodenbezeichnung: fmG, s\*, u

Bearbeiter: H05542  
 Institut für Geotechnik

17.11.15  
 11:57

Programmentwicklung: O. Prager, D. Sukup  
 Stütze für geotechnische Grundlagenforschung, Universität für Bodenkultur Wien

### Kornverteilung

Datensatz H489/01  
 BPA 15,  $W_h = 11.1\%$

#### Siebversuch

Siebsatz N  
 $R_U = 0.0\%$   
 $D_{max,U} = 31.500 \text{ mm}$   
 $m_s = 282.97 \text{ g}$   
 $d_{max} = 31.500 \text{ mm}$   
 $d_{min} = 0.100 \text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8.000 \text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0.500 \text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 121.70 \text{ g}$   
 $D'(d_{min,M}) = 1.90 \text{ g}$   
 $m_{s,F} = 69.59 \text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	31.50	0.00	100.00
	16.00	20.22	92.85
M	8.00	44.68	77.06
	4.00	44.74	61.25
	2.00	30.67	50.42
F	1.00	26.48	41.06
	0.50	17.91	34.73
	0.20	15.95	26.77
	0.10	11.84	20.86

#### Aräometersversuch

Aräometer 3  
 $\rho_s = 2.700 \text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 42.16 \text{ g}$   
 $K_M = 0.3 \text{ cm}$   
 $K_D = 1.78 \text{ g}$   
 $K_A = 1.4 \text{ g}$   
 $D(d_{0,02}) = 12.99\%$

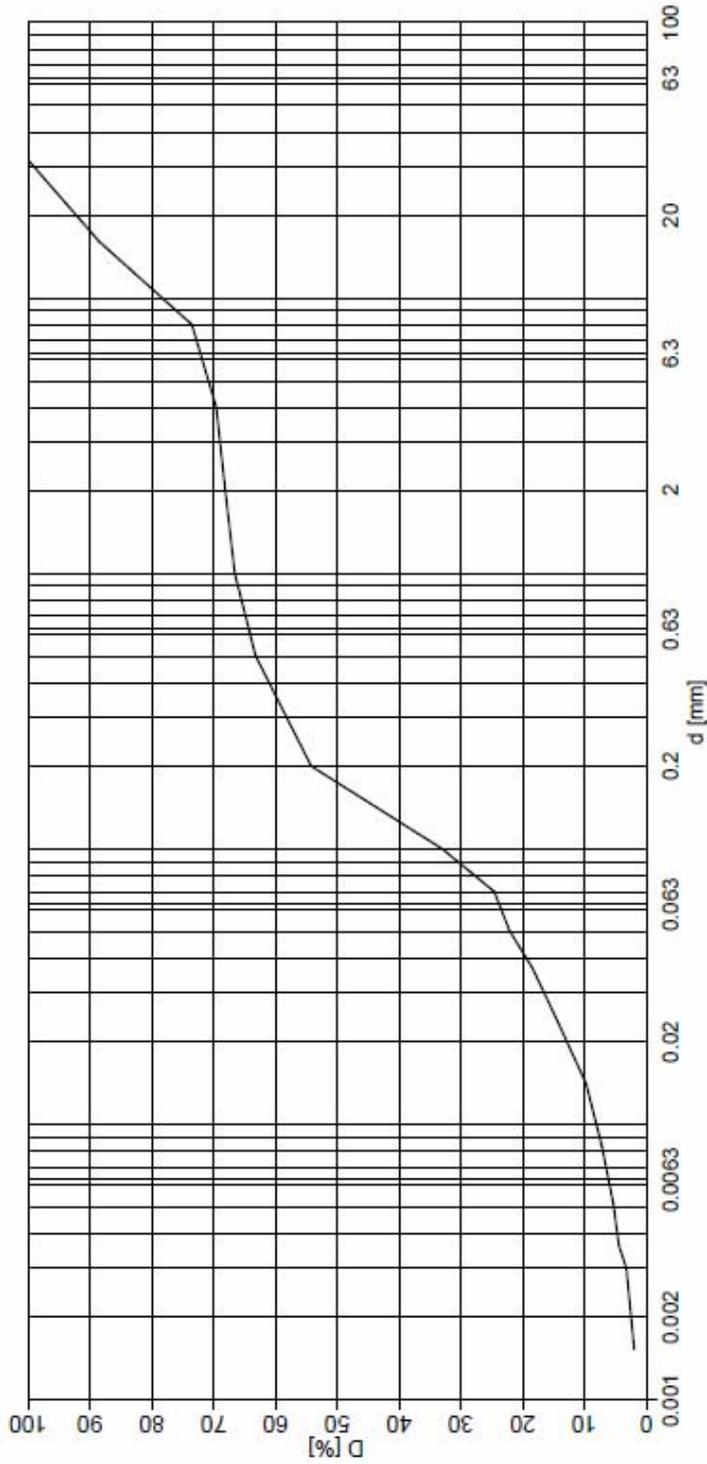
t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0.5	26.2	0.0644	21.40	17.90
1.0	26.2	0.0467	19.80	16.64
2.0	26.2	0.0340	17.80	15.07
5.0	26.2	0.0213	15.70	13.42
15.0	26.3	0.0130	11.40	10.07
45.0	26.3	0.0079	7.90	7.32
120.0	26.3	0.0050	4.50	4.65
240.0	26.4	0.0036	2.40	3.02
360.0	26.2	0.0030	1.40	2.19
1440.0	25.5	0.0015	0.10	1.03

**Objekt 4**

Projekt FO1940.00

**Kornverteilung**

Datensatz H491/01  
BPA 8,  $W_n=12.3\%$



Steine: 0.0 % Kies: 31.8 % Sand: 44.3 % Schluff-Fraktion: 21.3 % Tonfraktion: 2.5 %  
 $d_{max} = 31.5 \text{ mm}$   $U = 24.9$   $C = 1.5$   $d_{10} = 0.014 \text{ mm}$   $d_{50} = 0.174 \text{ mm}$

Bodenbezeichnung: fmS, g\*, u

Beauftragter: H55542  
Institut für Geotechnik

17.11.15  
11:56

Programmentwicklung: O.Pregl, D.Sukup  
Sektion für geotechnische Grundlagenforschung, Universität für Bodenkultur Wien

### Kornverteilung

Datensatz H491/01  
 BPA 8,  $W_h = 12.3\%$

#### Siebversuch

Siebsatz N  
 $R_U = 0.0\%$   
 $D_{max,U} = 31.500\text{ mm}$   
 $m_s = 301.74\text{ g}$   
 $d_{max} = 31.500\text{ mm}$   
 $d_{min} = 0.100\text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8.000\text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0.500\text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 33.27\%$   
 $D'(d_{min,M}) = 2.09\%$   
 $m_{s,F} = 70.00\text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	31.50	0.00	100.00
	16.00	34.52	88.56
M	8.00	45.23	73.57
	4.00	11.93	69.62
	2.00	4.35	68.17
F	1.00	4.70	66.62
	0.50	10.20	63.24
	0.20	9.93	54.27
	0.10	23.52	33.02

#### Aräometerversuch

Aräometer 3  
 $\rho_s = 2.700\text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 36.55\text{ g}$   
 $K_M = 0.3\text{ cm}$   
 $K_D = 1.703\text{ g}$   
 $K_A = 1.4\text{ g}$   
 $D'(d_{0.02}) = 12.89\%$

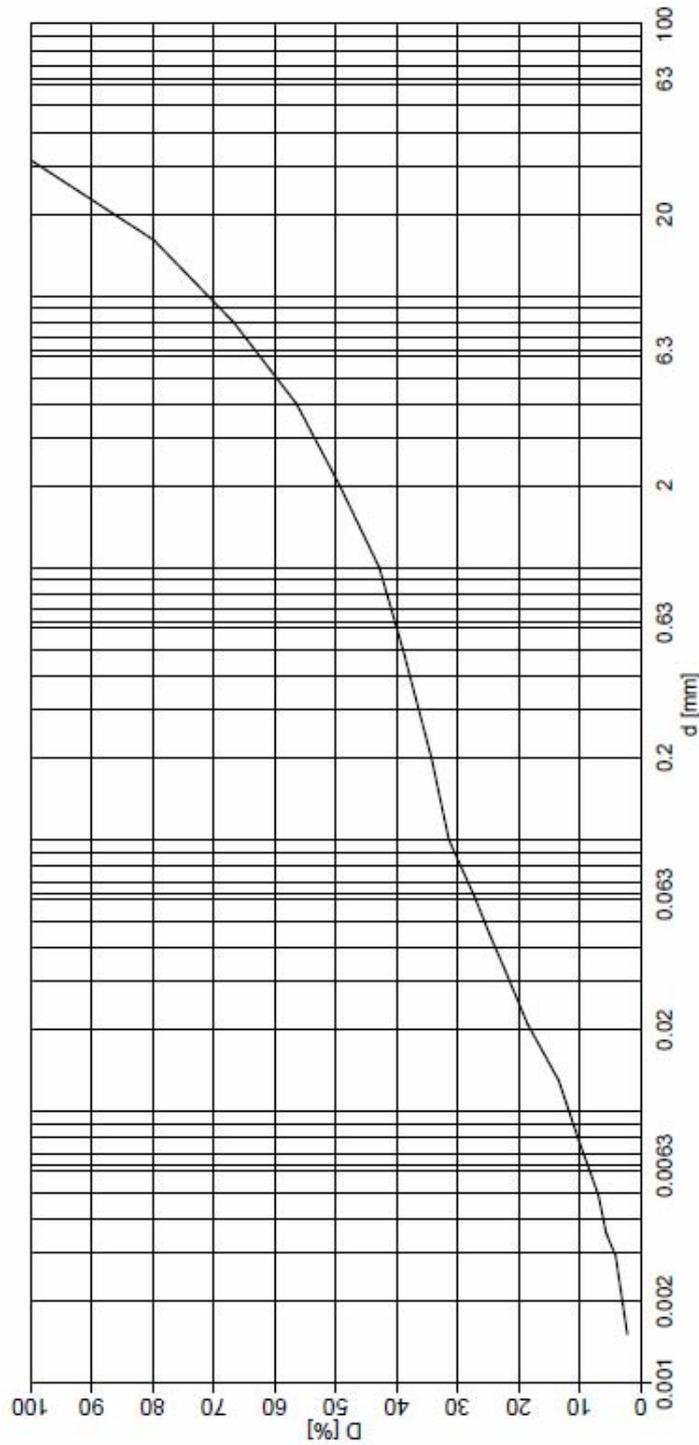
t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0.5	26.2	0.0700	15.70	24.61
1.0	26.2	0.0506	14.00	22.18
2.0	26.2	0.0369	11.40	18.45
5.0	26.2	0.0234	8.50	14.29
15.0	26.3	0.0140	5.30	9.74
45.0	26.3	0.0083	3.50	7.16
120.0	26.4	0.0051	2.20	5.34
240.0	26.4	0.0036	1.60	4.48
360.0	26.2	0.0030	0.80	3.26
1440.0	25.5	0.0015	0.10	1.99

**Objekt 5**

Projekt FO1940.00

**Kornverteilung**

Datensatz H492/01  
BPA 3, Wn=9,3%



Steine: 0.0 % Kies: 50.7 % Sand: 21.9 % Schluff-Fraktion: 24.4 % Tonfraktion: 3.0 %  
 $d_{max} = 31.5 \text{ mm}$   $U = 665.1$   $C = 0.2$   $d_{10} = 0.008 \text{ mm}$   $d_{50} = 2.132 \text{ mm}$

Bodenbezeichnung: G, s, u

Beauftragter: H55542  
Institut für Geotechnik

17.11.15  
11:59

Programmentwicklung: O.Prof. Dr. Suleip  
Sektion für geotechnische Grundlagenforschung, Universität für Bodenkultur Wien

### Kornverteilung

Datensatz H492/01  
BPA 3,  $W_n=9.3\%$

#### Siebversuch

Siebansatz N  
 $R_U = 0.0 \%$   
 $D_{max,U} = 31.500 \text{ mm}$   
 $m_s = 319.75 \text{ g}$   
 $d_{max} = 31.500 \text{ mm}$   
 $d_{min} = 0.100 \text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8.000 \text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0.500 \text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 92.30 \text{ g}$   
 $D'(d_{min,M}) = 3.45 \text{ g}$   
 $m_{s,F} = 60.00 \text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	31.50	0.00	100.00
	16.00	64.52	79.82
M	8.00	41.66	66.79
	4.00	33.07	56.45
	2.00	22.72	49.34
	1.00	20.68	42.88
F	0.50	12.38	39.01
	0.20	7.20	34.32
	0.10	4.39	31.47

#### Aräometerversuch

Aräometer 3  
 $\rho_s = 2.700 \text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 48.41 \text{ g}$   
 $K_M = 0.3 \text{ cm}$   
 $K_D = 1.752 \text{ g}$   
 $K_A = 1.4 \text{ g}$   
 $D(d_{0.02}) = 18.06 \%$

t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0.5	26.2	0.0608	24.90	27.15
1.0	26.2	0.0447	22.60	24.78
2.0	26.2	0.0329	20.10	22.20
5.0	26.2	0.0210	16.60	18.59
15.0	26.3	0.0130	11.60	13.46
45.0	26.3	0.0078	8.40	10.16
120.0	26.4	0.0050	5.30	6.99
240.0	26.4	0.0036	4.00	5.65
360.0	26.2	0.0030	2.60	4.15
1440.0	25.5	0.0015	0.90	2.21

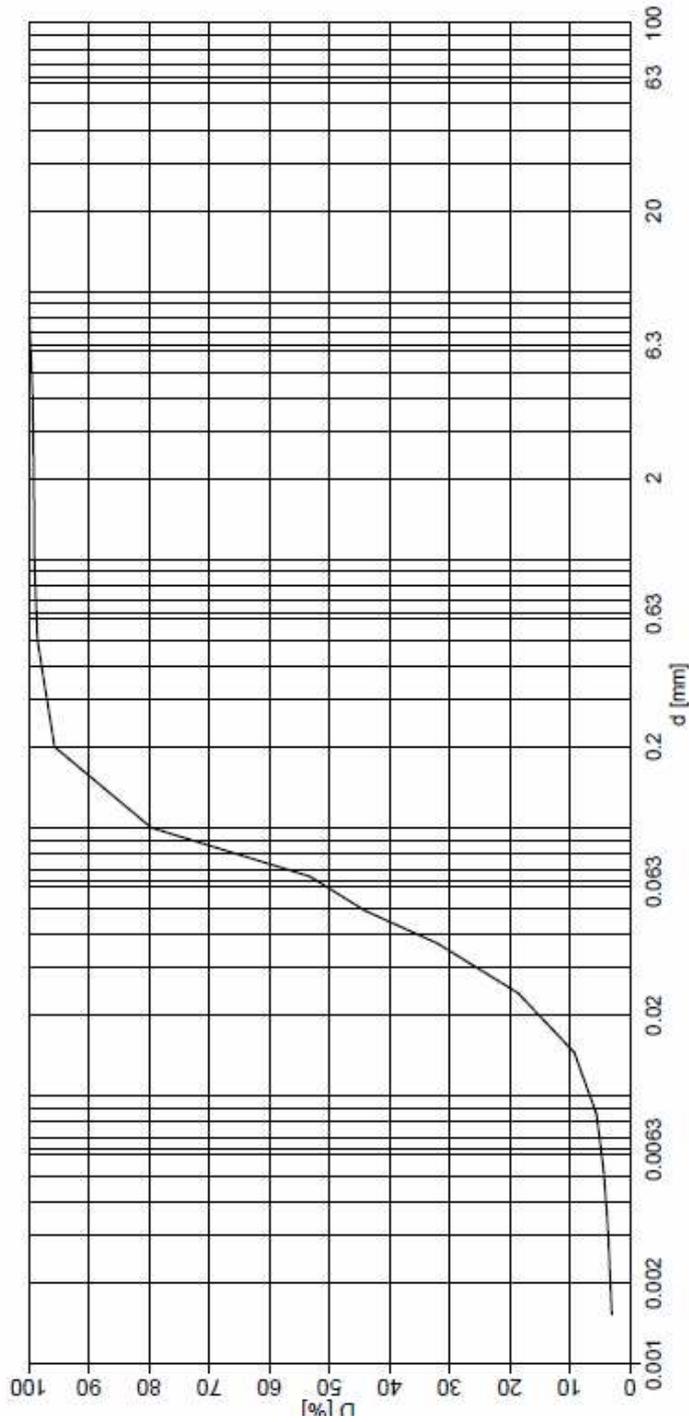
**Objekt 6**

Projekt FO1940.00

**Kornverteilung**

Datensatz H493/01

GRM 1, Wn=13.7, 8%



Steine: 0.0 % Kies: 0.8 % Sand: 47.3 % Schluff-Fraktion: 48.7 % Tonfraktion: 3.3 %  
 $f_{max}$  = 8.0 mm  $U$  = 4.9  $C$  = 1.1  $d_{10}$  = 0.015 mm  $d_{50}$  = 0.059 mm

Bodenbezeichnung: fS, mgU

Bearbeiter: H55/542  
 Institut für Geotechnik

17.11.15  
 12:00

Programmentwicklung: O. Prag, D. Sulup  
 Sektion für geotechnische Grundlagenforschung, Universität für Bodenkultur Wien

### Kornverteilung

Datensatz H493/01  
 GRM 1,  $W_h=13.7.8\%$

#### Siebversuch

Siebsetz P  
 $R_U = 0.0\%$   
 $D_{max,U} = 8.000\text{ mm}$   
 $m_s = 279.00\text{ g}$   
 $d_{max} = 8.000\text{ mm}$   
 $d_{min} = 0.100\text{ mm}$   
 $d_{min,G} = 8.000\text{ mm}$   
 $d_{min,M} = 0.500\text{ mm}$   
 $D'(d_{min,G}) = 7.60\text{ g}$   
 $D'(d_{min,M}) = 3.80\text{ g}$   
 $m_{s,F} = 63.15\text{ g}$

	d [mm]	R [g]	D [%]
G	8.00	0.00	100.00
M	4.00	1.66	99.41
	2.00	0.56	99.21
F	1.00	0.18	99.15
	0.50	1.46	98.63
	0.20	1.82	95.78
	0.10	10.30	79.70

#### Aräometerversuch

Aräometer 3  
 $\rho_s = 2.700\text{ g/cm}^3$   
 $m_{s,A} = 51.03\text{ g}$   
 $K_M = 0.3\text{ cm}$   
 $K_D = 1.66\text{ g}$   
 $K_A = 1.4\text{ g}$   
 $D(d_{0,02}) = 15.18\%$

t [min]	T [°C]	d [mm]	R' [-]	D [%]
0.5	26.2	0.0658	20.00	53.32
1.0	26.2	0.0491	16.30	44.15
2.0	26.2	0.0369	11.40	32.00
5.0	26.2	0.0241	6.00	18.62
15.0	26.3	0.0145	2.20	9.27
45.0	26.3	0.0085	0.70	5.55
120.0	26.4	0.0052	0.20	4.38
240.0	26.4	0.0037	0.00	3.89
360.0	26.2	0.0030	-0.05	3.63
1440.0	25.5	0.0015	-0.10	3.05

## Literaturverzeichnis

- ABRAMSON, L.W.; LEE, T.L.; SHARMA, S.; BOYCE, G.M. (1996): Slope Stability and Stabilisation Methods. Wiley, New York/Chichester/Brisbane/Toronto/Singapore.
- AHNERT, F. (2003): Einführung in die Geomorphologie. Auflage 3, UTB, Stuttgart.
- AUSWÄRTIGES AMT (2015): [http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/Nepal/Wirtschaft\\_node.html](http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/Nepal/Wirtschaft_node.html).  
Abruf am 18.11.2015.
- BÖHM, M. (1996): Massenbewegungen als landschaftsgestaltendes Element. Diplomarbeit an der Hauptuniversität Wien.
- BRUNDTSEN, D. (1979): Weathering, Mass movements. Kapitel 4 und 5 in: EMBLETON, C. und THORNES, J.: Process in geomorphology, S.73-186. Arnold, London.
- BUNZA, G. (1992): Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde. Forschungsbericht des deutschen Alpenvereins, Band 5, München.
- CEVIK, Y. (2008): Geomorphologische Analyse einer komplexen gravitativen Massenbewegung. Diplomarbeit an der Universität Wien.
- CLIMATE DATA (2015): <http://en.climate-data.org/location/1025367/>, Abruf am 2015-11-09.
- CORNFORTH, D.H. (2005): Landslides in practice - Investigation, Analysis, Remedial / Preventative Options in Soils. Wiley, USA.
- CRUDEN, D.M. (1991): A Simple Definition of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 43.
- CRUDEN D.M.; VARNES D.J. (1996): Landslides types and processes. In: Turner, A.K.; Schuster, R.L. (1996): Landslides. Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., S.36-75.

- DACHROTH, W.R. (2002): Handbuch der Baugeologie und Geotechnik. Auflage 3, Springer, Heidelberg/Berlin.
- DECKER, H.; WEBER, K. (1998): Ratgeber für den Tiefbau. Auflage 5, Werner, Düsseldorf.
- DEOJA, B.; DHITAL, M.; THAPA, B.; WAGNER, A. (1991): Mountain Risk Engineering Handbook – Part II. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu.
- DIJKSHOOM, K.; HUTING, J. (2009): Soil and Terrain Database for Nepal, Report. ISRIC - World soil information, Wageningen.
- DIKAU, R.; GLADE, T. (2001): Gravitative Massenbewegung - vom Naturereignis zur Naturkatastrophe. Petermanns Geographische Mitteilungen 145 (6).
- DIKAU, R.; GLADE, T. (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. Geographische Rundschau 54 (1), S. 38-45.
- DOR - Department of Roads (2009): Roadside Geotechnical Problems, A Practical Guide to Their Solution. Government of Nepal, Ministry of Physical Infrastructure & Transport, Kathmandu.
- DOR - Department of Roads (2014A): Guide to Road Slope Protection Works. Government of Nepal, Ministry of Physical Infrastructure & Transport, Kathmandu.
- DOR - Department of Roads (2014B): Statistics of Strategic Road Network 2013/2014, Road Network Data. Government of Nepal, Ministry of Physical Infrastructure & Transport, Kathmandu.
- ERTL, D. (2000): Slope Stabilization in Thankot, Nepal. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- FLORINETH, F. (2012): Pflanzen statt Beton. Platzer, Berlin/Hannover.
- GBA – Geologische Bundesanstalt (2015): <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/naturgefahren/massenbewegungen/>, Abruf am 2015-10-07.

- GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2015):  
<http://liportal.giz.de/nepal/wirtschaft-entwicklung/#c14426>, Abruf am 2015-09-03.
- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE (2015):  
<http://www.ingenieurbiologie.com/>, Abruf am 2015-10-30
- GOUDIE, A. (2002): Physische Geographie. Auflage 4, Spektrum, Heidelberg/Berlin.
- GUDEHUS, G (1981): Bodenmechanik. Enke, Stuttgart.
- HARTGE, K.-H.; HORN, R. (1999): Einführung in die Bodenphysik. Auflage 3, Enke, Stuttgart.
- HUTCHINSON, J.N. (1988): General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, Rotterdam.
- JUNG, G.F.W. (2015): Gabionen. Ulmer, Stuttgart.
- KOLYMBAS, D. (1998): Geotechnik - Tunnelbau und Tunnelmechanik. Springer, Innsbruck.
- KRAUTER, E. (2001): Phänomenologie natürlicher Böschungen und ihrer Massenbewegungen. In SMOLTCZYK, U.: Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, Auflage 6, Berlin, S.612-672.
- LA HISTORIA CON MAPAS (2015): <http://www.lahistoriaconmapas.com/atlas/nepal-maps/nepal-kantipur-map.htm>, Abruf am 2015-09-01.
- LAMMERANNER, W. (2002): Slope Stabilization with soil-bioengineering methods in the middle mountains of Nepal. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- LEXIKON DER GEOWISSENSCHAFTEN (2015):  
<http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/kohaesion/8529>, Abruf am 2015-10-02.  
<http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/schwimmsand/14621>, Abruf am 2015-10-23,

- MARAHATTA, S.; DANGOL, B.S.; GURUNG, G.B. (2009): Temporal and Spatial Variability of Climate Change over Nepal (1976 - 2005). Practical Action Nepal Office, Kathmandu.
- MÖLLER, G. (2006): Geotechnik, Grundbau, Bauingenieur-Praxis. Ernst&Sohn, Berlin.
- MULTILINGUAL LANDSLIDE GLOSSARY (1993): The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. The Canadian Geotechnical Society, BiTech Publishers Ltd.
- NARC – Nepal Agricultural Research Council (2015): <http://narc.gov.np/narc/index.php>, Abruf am 2015-09-02.
- NATIONAL POPULATION AND HOUSING CENSUS (2011): National Report. Auflage 1, Government of Nepal, National Planning Commission Secretariat, Central Bureau of Statistics, Kathmandu.
- NEPAL-INFORMATION (2015):  
<http://www.nepal-information.de/land-und-leute/gliederung-des-landes/>, Abruf am 2015-09-02.
- NODOUSHANI, M. (2004): Handbuch Gründungsschäden - Erkennen und Instandsetzen. Birkhäuser, Basel/Boston/Berlin.
- NOHLEN, D. (2000): Lexikon Dritte Welt. Rowohlt, Heidelberg.
- PECH, A.; WÜRGER, E. (2005): Gründungen. Springer, Wien/New York.
- POPESCU, M. (1994): A Suggested Method for Reporting Landslide Causes. In: Bulletin of the IAEG (50), Paris, S.71-74.
- POPULATION MONOGRAPH OF NEPAL - VOLUME I (2014): Population Dynamics. Government of Nepal, National Planning Commission Secretariat, Central Bureau of Statistics, Kathmandu.
- POPULATION MONOGRAPH OF NEPAL - VOLUME III (2014): Economic Demography. Government of Nepal, National Planning Commission Secretariat, Central Bureau of Statistics, Kathmandu.

- PRINZ, H.; STRAUSZ; R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. Auflage 4, Spektrum, München.
- RIL 836 (1999): Regelwerk 836, Erdbauwerke planen, bauen und instand halten. DB Netz AG.
- SCHMIDT, H.H. (2001): Phänomenologie natürlicher Böschungen und ihrer Massenbewegungen. In SMOLTCZYK, U.: Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Erdbau, Auflage 6, Berlin, S.612-672.
- SCHUPPNER, B. 2003: Geotechnische Bemessung von Böschungssicherungen mit Pflanzen. 4. Österreichische Geotechniktagung, österreichischer Ingenieur- und Architektenverein, Wien, S. 55-70.
- SCOTT, S.; NKARMI, G.B.; DONGOL, G.; DUVADI, A.K. (1986): Land resources mapping project, Geology report. Kathmandu
- SELBY, M. J. (1993): Hillslope materials and processes. Oxford University Press, Oxford.
- SHRESTHA, D.P.; ZINCK, J.A.; VAN RANST, E. (2003): Modelling land degradation in the Nepalese Himalaya. Enschede/Ghent.
- SHRESTHA, A.B.; ADHIKARY, R.B.; RAI, S.K. (2012): Resource Manual on Flash Flood Risk Management, Module 3: Structural Measures. ICIMOD - International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu.
- SOOS, P. (2001): Eigenschaften von Boden und Fels. In SMOLTCZYK, U.: Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, Auflage 6, Berlin, S.117-200.
- TERZAGHI, K. (1950): Mechanisms of landslides. In: BERKEY, V.: Application of Geology to Engineering Practice, Geological Society of America, S.83-123.
- TERZAGHI, K.; PECK, R.B. (1967): Soil Mechanics in engineering practice. Auflage 2, Wiley, New York/London/Sidney.
- USGS - U.S. Geological Survey (2015): <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>, Abruf am 2015-10-29.

- VARNES D.J. (1978): Slope movements: type and processes. In: Eckel, E.B.: Landslides Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy Press, Washington D.C., S. 11-33.
- WALTER, R. (2003): Erdgeschichte, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Auflage 5, de Gruyter, Aachen.
- ZEPP, H. (2014): Geomorphologie, Grundriss Allgemeine Geographie. Auflage 6, Schöningh, Paderborn