

Eidgenössisches Departement des Innern
Bundesamt für Strassenbau

Département fédéral de l'intérieur
Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'interno
Ufficio federale delle strade

Schutz gegen Steinschlag

Protection contre les chutes de pierres

Ingenieurbüro Heierli AG, Zürich
Dr. sc. techn. W. Heierli, dipl. Bauingenieur ETH
A. Merk, Ingenieur HTL
A. Temperli, Ingenieur HTL

Forschungsarbeit 6/80 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

Dezember 1981

BUNDESAMT FÜR STRASSENBAU	
Signatur	601 44
BIBLIOTHEK	

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel des Forschungsauftrages Nr. 6/80 "Schutz gegen Steinschlag" besteht in der Erarbeitung von Grundlagen für eine Empfehlung für den Schutz von Verkehrswegen gegen Steinschlag. Die Empfehlung soll Angaben über Planung und Projektierung von Steinschlagschutzmassnahmen enthalten.

Der vorliegende Bericht stellt die Grundlagen für diese Empfehlung zusammen.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
2. Geltungsbereich der Empfehlung	6
3. Gefährdungen	7
3.1 Ursachen und Anzeichen von Steinschlag	7
3.2 Beurteilung der Steinschlaggefahr	13
3.2.1 Beurteilung der Geologie	13
3.2.2 Bestandesaufnahme	14
4. Planung und Projektierung	15
4.1 Sicherheitskonzept, Verantwortung	15
4.2 Beurteilung des Risikos	16
4.2.1 Objektbezogenes Risiko	18
4.2.2 Streckenbezogenes Risiko	20
4.2.3 Folgerungen und Beispiel	22
4.2.4 Risikoverminderung	22
4.3 Belastungsannahmen	24
4.4 Flugbahnen	27
5. Schutzmassnahmen	34
5.1 Prinzipielle Möglichkeiten	34
5.2 Die Schutzmassnahmen im einzelnen	35
5.2.1 Abräumen	35
5.2.2 Bepflanzung, Berasung	36
5.2.3 Flachböschung	37

	Seite
5.2.4 Bermen	38
5.2.5 Eingraben, Unterbetonieren	39
5.2.6 Abstützungen	40
5.2.7 Felsanker	41
5.2.8 Scherbolzen	42
5.2.9 Verhängungen	42
5.2.10 Stützmauern	43
5.2.11 Felsverkleidungsmauern	44
5.2.12 Plombierungen, Versiegelungen	45
5.2.13 Drainagen	46
5.2.14 Steinschlaggeflechte	47
5.2.15 Schutzwände	48
5.2.16 Schutzgräben	50
5.2.17 Schutzwälle	50
5.2.18 Galerien	51
5.2.19 Ueberwachungsgeräte	51
5.3 Bemessung und Konstruktion von Schutzwänden	53
5.3.1 Bestimmung des Energieaufnahmevermögens	53
5.3.2 Bemessung der Schutzwandfläche	59
5.3.2.1 Schutzwandfläche aus Holz (Eisenbahnschwellen)	59
5.3.2.2 Schutzwandfläche aus Drahtgeflechten	61
5.3.2.3 Schutzwandfläche aus Drahtseilnetzen	67
5.3.2.4 Schutzwandfläche aus Beton	69
5.3.2.5 Konstruktive Angaben	69
5.3.3 Bemessung der Stützen	72
5.3.3.1 Eingespannte Stützen	75
5.3.3.2 Abgespannte Stützen	77

	Seite
5.3.3.3 Konstruktive Angaben	79
5.3.4 Bemessung der Stützenfundation	79
5.3.4.1 Eingespannte Stützen	80
5.3.4.2 Gelenkig gelagerte Stützen	87
5.3.5 Bemessung der Stützenabspannung	89
5.3.6 Bemessung von Verankerungen	95
5.4 Bemessung von Schutzgräben	109
5.5 Bemessung von Galerien	111
6. Ausschreibung	115
7. Ueberwachungs- und Unterhaltsarbeiten	118
8. Literaturverzeichnis	119
 Anhang 1	 Begriffe
Anhang 2	Beispiel einer Bestandes- aufnahme

1. EINLEITUNG

Steinschlag ist eine Gefahr, welcher Verkehrswege und Siedlungen in gebirgigen Gebieten seit jeher ausgesetzt waren. Je mehr die Zivilisation in die Berge vordringt, umso bedeutsamer wird diese Gefahr, da bisher gemiedene Gebiete für die häufige Durchfahrt oder den Aufenthalt von Menschen zugänglich gemacht werden.

Bisher bestehen über das Gebiet der Erkennung und des Schutzes gegen Steinschlag keine Normen, Vorschriften oder Richtlinien des Bundes, von einzelnen Kantonen, Bahnen oder anderen Betrieben. Die Schutzmassnahmen werden bisher derart angeordnet und ausgebildet, wie es den Erfahrungen einzelner Personen und noch häufiger dem Gefühl entspricht.

In der vorliegenden Empfehlung¹⁾ soll dadurch eine Verbesserung der Schutzmassnahmen erzielt werden, dass die Zusammenstellung und Auswertung eines grösseren Erfahrungsschatzes allen mit Steinschlagschutz-Aufgaben betrauten Kreisen zur Verfügung gestellt wird. Durch die Schaffung von Grundlagen für die Planung und Projektierung von Steinschlag-Schutzbauwerken soll deren Sicherheit und Kostenwirksamkeit wesentlich erhöht werden.

1) Dieser Bericht ist erst die Grundlage der Empfehlung, dh. er stellt das Material für eine solche Empfehlung zusammen.

2. GELTUNGSBEREICH DER EMPFEHLUNG

Die vorliegende Empfehlung ist anwendbar auf die Planung, Projektierung und den Unterhalt von Sicherungen gegen Steinschlag und Felssturz. Steinschlag ist das Herabfallen, -rollen oder -springen von Steinen und Blöcken bis 0.5 m³; Felssturz umfasst grössere Blöcke, aber eine Materialmasse von maximal 10'000 m³ pro Ereignis.

Die Normen des SIA und des VSS sind sinngemäss anzuwenden.

Die Empfehlung umfasst folgende Themen:

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| - | Gefährdung | Ursachen und Anzeichen von Steinschlag

Beurteilung der Steinschlaggefahr |
| - | Planung und Projektierung | Sicherheitskonzept

Beurteilung des Risikos

Darstellung der Belastungsannahmen und der Flugbahnen

Zusammenstellen der Grundlagen und Bedingungen für die Ausschreibung |
| - | Schutzmassnahmen | Erläuterung der aktiven und passiven Schutzmassnahmen

Behandlung der Auswahlkriterien

Angaben zur Bemessung und Konstruktion von Schutzmassnahmen |
| - | Ueberwachung und Unterhaltsarbeiten | Darstellung der Aufgaben, Umfang und Organisation der Ueberwachung und der Unterhaltsarbeiten |

3. GEFAEHRDUNGEN

3.1 Ursachen und Anzeichen von Steinschlag

Je nach Grösse und Umfang des Absturzes unterscheidet man zwischen

- Steinschlag
- Felssturz
- Bergsturz.

Die Abgrenzungen sind aus Abschnitt 2 ersichtlich. In diesem Bericht wird - sofern nicht speziell vermerkt - nicht zwischen "Steinschlag" und "Felssturz" unterschieden; es wird der Sammelbegriff "Steinschlag" verwendet.

Die Steinschlaghäufigkeit wird durch die Angabe der Wiederkehrperioden beschrieben. Sie ist weitgehend von der Verwitterungsanfälligkeit der anstehenden Gesteine sowie von der Grösse des Einzugsgebietes abhängig.

Bei "Felssturz" reichen die Instabilitäten in das Hanginnere hinein. Meist sind sie bereits im Gebirgsbau, in Form eines ungünstig orientierten Trennflächengefüges vorhanden.

Je nach den räumlichen Beziehungen der einzelnen Trennflächen zueinander bzw. zur freien Oberfläche, sind folgende Bruchmechanismen möglich (vgl. Fig. 1):

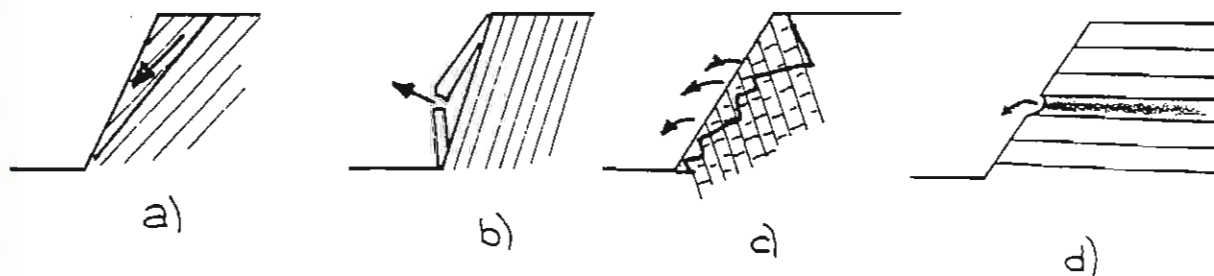


Fig. 1a - d Prinzipielle Bruchmechanismen im Fels
a) Gleiten, b) Beulen, c) Kippen, d) örtlicher Ausbruch

Ein Materialbruch dagegen tritt bevorzugt bei steilen hohen Böschungen bzw. bei geringer Materialfestigkeit auf (vgl. Fig. 2).



Fig. 2 Materialbruch

Zu "Felssturz" (Felsbewegungen grösseren Ausmasses) führt erst das Zusammenwirken mehrerer Ursachen.

Was als Einzelursache angesehen wird, ist meist nichts anderes als das letzte auslösende Moment.

Als Ursachen von "Felssturz" kommen dabei in Betracht:

- Wurzeldruck
- Spaltenfrost
- Kluftwasserschub
- Durchfeuchtung
- Feuchtigkeitsschwankungen
- Wärmeschwankungen
- Hydrostatischer Druck
- Strömungsdruck
- Abwitterung
- Auswaschungen
- Unterschneidungen
- Spannungsumlagerungen
- Kriecherscheinungen
- Erschütterungen

Einen grossen Anteil an der Entstehung von "Felsstürzen" hat der Kluftwasserschub, insbesondere bei Wegfall der natürlichen Drainagewirkung der Klüfte durch Eisbildung oder durch die Erstellung neuer Bauwerke. Während kleinere Stürze oft durch Frost und Wurzeldruck ausgelöst werden, dominieren bei grösseren Stürzen Unterschneidungen von Bruchflächen durch Erosion oder Aushub.

Der Uebergang einer Böschung vom labilen (oder stabilen) Gleichgewicht zum "Felssturz" erfolgt keineswegs plötzlich. In der Regel erstreckt sich der Vorgang über längere Zeiträume hinweg. Es finden allmähliche Spannungsumlagerungen innerhalb der späteren Bruchmasse statt. Diese sind mit Verformungen verbunden, deren Grösse bis zum endgültigen Bruch von verschiedenen Faktoren abhängt (Bruchmechanismen, Grösse der Bruchmasse, Verformbarkeit der Bruchmasse usw.).

Durch Beobachtung und Messungen erkennt man bereits Veränderungen, verursacht durch diese kleinen Verformungen, wie:

- steilstehende offene Klüfte, mehr oder weniger senkrecht zur Hauptbewegungsrichtung einer potentiellen Bruchmasse
- bogenförmige Risse im möglichen Abrissgebiet
- tiefgreifendes Hakenwerfen steilstehender Schichten
- gelegentliche Abwürfe und zunehmender Steinschlag
- treppenförmige Folgen flach einfallender Scherklüfte und steiler, offener Zugklüfte parallel zur möglichen Bewegungsrichtung
- Verschuppung und Rundung von Gesteinsbruchstücken in als Bruchfläche in Frage kommenden Bereichen
- Relativverschiebung von Kluftausbissen, welche mögliche Bruchflächen queren
- Rotationen von Kluftkörpern
- Rotationen der absoluten Raumlage des Trennflächengefüges relativ zu umgebenden Bereichen
- Vorkommen atektonischer Klüfte
- Ausbauchung der Böschungsoberfläche am Fuss, Einsenkung am Böschungskopf
- vermehrte oder versiegende Wasseraustritte

Die genannten Anzeichen sind jedoch nur selten so eindeutig, dass sie für eine zuverlässige Einschätzung des Böschungszustandes ausreichen. So kann im allgemeinen weder aus ihrem Vorliegen geschlossen werden, dass die betreffende Böschung sich akut bewegt, noch kann ihr Nichtvorhandensein als Nachweis der Standsicherheit betrachtet werden. Mit messtechnischen Mitteln kann dies schon eher erfolgen. Für deren Einsatz geben jedoch obige Anzeichen wertvolle Hinweise, insbesondere über die Grösse und Abgrenzung des betroffenen Bereiches. Mit diesen Hilfsmitteln kann nicht zuverlässig vorausgesagt werden, wann ein Absturz erfolgen wird. Dieser Umstand verunmöglicht, ein Schutzobjekt kurzfristig vor einem Felsabsturz zu sperren bzw. zu evakuieren.

Bei "Steinschlag" betreffen die Instabilitäten nur die Hangoberfläche. Es führen neben der verwitterungsbedingten Abnahme der Festigkeit noch andere Ursachen zum Ereignis:

- | | | |
|--|---|--------------------------------|
| - Frostschub | } | dauernde
Gefahren |
| - Wurzeldruck | | |
| - Umfallen von Bäumen | | |
| - Kluftwasserschub | | |
| - Ausspülung durch Oberflächenwasser | | |
| - Temperaturschwankungen | | |
| - Wild | | |
| | | |
| - Fussgänger | } | spontane, wiederholte Gefahren |
| - Vieh | | |
| - Tätigkeiten des Menschen (zB. Forstarbeiten, Verkehr usw.) | | |

- Bauarbeiten (Sprengen)
 - Erdbeben (Katastrophen)
- } einmalige Gefahren

"Steinschlag" erkennt man längs bestehender Böschungen am Schuttkegel beim Böschungsfuss. Dieser lässt wichtige Rückschlüsse auf das Korngrössenspektrum zu. An Felswänden und Bäumen sind teilweise Aufschlagsnarben zu erkennen, welche auf "Steinschlag" schliessen lassen. Auch herumliegende Steine deuten auf "Steinschlag" hin.

Der genaue Zeitpunkt, die Grösse sowie das Ausmass einzelner "Steinschläge" sind in der Regel kaum voraussehbar. Es kann lediglich die vom Einzugsgebiet ausgehende allgemeine Steinschlaggefahr abgeschätzt werden. Manchmal können einzelne klar definierte Bahnen (Runsen) ausgemacht werden, entlang derer sich der "Steinschlag" nach unten bewegt.

Bei künstlich geschaffenen Anschnitten wird das Steinschlagrisiko auch durch das Abtragsverfahren beeinflusst. Es hat sich gezeigt, dass bei herausgesprengten Böschungen "Steinschlag" früher und häufiger eintritt.

Die Häufigkeitsspitzen liegen im Frühjahr, beim Frostaufgang, in den Morgenstunden mit Beginn der Sonneneinstrahlung oberhalb der Nachtfrostgrenze sowie während und nach starken Niederschlägen.

Nebst diesen klimabedingten Ursachen unterscheidet man auch statische Ursachen. Diese treten aufgrund von Spannungskonzentrationen mit Ueberbeanspruchung der Gesteine an steilen Felswänden auf.

Nimmt ihre Intensität progressiv zu, kann dies - muss aber nicht - ein Anzeichen für nachfolgenden "Fels"- oder "Bergsturz" sein.

3.2 Beurteilung der Steinschlaggefahr

3.2.1 Beurteilung der Geologie

Das Verhalten des geologischen Materials ist komplex. Die verschiedenen Einflüsse überlagern sich vielfältig. Die Schwierigkeit liegt im Abwägen der einzelnen Einflüsse und in der grossen Zahl von Parametern.

Diese schwierige Bewertung der geologischen Daten ist Aufgabe erfahrener Geologen.

Berücksichtigt man die Zeitspanne geologischer Abläufe, so ergeben sich - auch bei noch so kompetenter Beurteilung einer Felswand - Resultate, welche für die "kurze" Benützungsdauer von Bauwerken oft zu wenig präzise sind.

Gewisse Gesteine neigen eher zu Steinschlaggefahr als andere (zB. Kalk, Kreideschichten, Bündnerschiefer). Harte, spröde Gesteine sind kritisch für Grossereignisse.

Beurteilt man Steinschlaggefahren zu pessimistisch, führt dies zu Verbauungen von volkswirtschaftlich untragbarem Ausmass.

Die geologischen Ueberlegungen sind deshalb durch zusätzliche Beobachtungen (Bestandesaufnahme) zu ergänzen. Die Aussagekraft einer Bestandesaufnahme ist der geologischen Bewertung gleichwertig.

3.2.2 Bestandesaufnahme

Aufgrund bereits abgestürzter Gesteinsmassen ist es möglich, sich ein Bild über das zu erwartende Korngrössenspektrum zu machen.

Längs bestehender Strassen sind durch spezielle Steinschlagprotokolle laufend alle Abstürze zu erfassen; bei Bedarf erlauben diese, genauere Angaben über Gesteinsgrösse, Wiederkehrperioden, Ort usw. zu machen. Die Detaillierung richtet sich nach der Bedeutung des Schutzobjektes.

Als Ergänzung für spätere Vergleiche sind einfache Fotos abgestürzter Blöcke, der Ausbruchsstelle, gefährlicher Hangzonen usw. sehr nützlich.

Für die Gewinnung weiterer Erkenntnisse auf dem Gebiete des Steinschlagschutzes ist es von grossem Interesse, möglichst viele Angaben über Flugbahnen zu sammeln. Zu diesem Zweck sind die Steinschlagprotokolle durch Querprofile mit eingetragenen Flugbahnspuren zu ergänzen.

Im Anhang 2 zu diesem Bericht ist ein Beispiel einer Bestandesaufnahme zusammengestellt.

4. PLANUNG UND PROJEKTIERUNG

4.1 Sicherheitskonzept, Verantwortung

Durch die Anordnung von Steinschlagsicherungen soll der Gefährdung von Menschen, Tieren und Sachwerten durch Steinschlag begegnet werden. Ein absoluter Schutz gegen Steinschlag lässt sich - dies ist eine in der gesamten Technik anerkannte Tatsache - nicht erzielen. Die Aufgabe besteht darin, einen bestimmten Schutz auf möglichst wirtschaftliche Weise zu erreichen. Sie erfordert ein wesentliches Mass an spezifischer Erfahrung und Kenntnissen.

Diese Aufgabe ist für den beauftragten Ingenieur nur lösbar, wenn er in Zusammenarbeit mit dem Bauherrn festlegt, welches Risiko, dh. welches Ausmass an Schäden infolge Steinschlag, noch in Kauf genommen werden darf. Dabei ist zu definieren, welches Gebiet (zB. welcher Verkehrsweg) durch die Steinschlagsicherung zu schützen ist, für welche Zeitspanne ein Schutz vorzusehen ist und welche Unterhalts- und Ueberwachungsmassnahmen möglich sind. Jedes dieser Planungselemente hat einen Einfluss auf die Lösung, welche je nach deren Wahl zwischen einem Umgehungstunnel bzw. einer Galerie und der Anordnung eines leichten Steinschlagnetzes oder nur der Durchführung weniger gezielter Unterstützungen von Blöcken im Einzugsgebiet liegen kann. Sehr oft sind auch Kombinationen von Massnahmen optimal.

Der Bauherr entscheidet sich aufgrund der vom beauftragten Ingenieur ausgearbeiteten Lösungsvarianten, unter Berücksichtigung der vom Ingenieur aufzuzeigenden Restrisiken der Auswirkungen auf die Umwelt und der Kosten. Er legt die Kompetenzen aller mit der Planung, Projektierung, Ausführung, Ueberwachung und dem Unterhalt betrauten Stellen fest.

Der Projektverfasser liefert rechtzeitig die Grundlagen für die vom Bauherrn zu treffenden Entscheidungen. Insbesondere hat er dem Bauherrn den Beizug weiterer Fachleute vorzuschlagen, sobald die Lösung der gestellten Aufgabe dies erfordert.

Die auszuführenden Schutzmassnahmen unterscheiden sich von andern üblichen Bauaufgaben (wie etwa aus dem Hoch- und Tiefbau). Es ist vielfach äusserst schwierig die räumlichen Schutzmassnahmen planlich genau festzulegen. Dies führt dazu, dass der Projektverfasser die Darstellung des Projektes mit Prinzipskizzen erläutern darf und muss, und dass durch die Bauleitung eine Reihe örtlicher Anpassungen vorzusehen sind.

4.2 Beurteilung des Risikos (vgl. Lit. 7)

Der Sprachgebrauch meint mit Risiko die mögliche, aber ungewisse Veränderung zum Schlechten. Risiko bezeichnet also die Möglichkeit des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses. Im vorliegenden Bericht beschreibt der Begriff "Risiko" den möglichen, aber ungewissen Eintritt von Schäden infolge Steinschlag. Unter Schäden sind dabei nachteilige Auswirkungen auf Personen, Tiere und Güter zu verstehen. Die Grösse des Risikos hängt ab von der Wahrscheinlichkeit des Schadens und dessen Ausmass.

Unter Gefahr versteht man einen Zustand, bei welchem Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmass der zu erwartenden Schäden ein zumutbares Risiko übersteigen.

Die nachstehenden Ueberlegungen können nicht das im Einzelfall zumutbare Risiko festlegen. Es kann nicht Aufgabe der zu schaffenden Empfehlungen sein, die Grösse der vertretbaren Schäden zu definieren. Die Empfehlung soll jedoch die Problematik ausleuchten.

Entscheidend für das Steinschlagrisiko ist die mittlere Zeitspanne zwischen zwei (gefährlichen) Abstürzen, die sogenannte Wiederkehrperiode; je kleiner die Wiederkehrperiode, desto grösser das Risiko.

Bei den Wiederkehrperioden unterscheidet man zwischen

- intensiv : Wiederkehrperioden < 1 Monat
- regelmässig : Wiederkehrperioden $1 \text{ Monat} \div 1 \text{ Jahr}$
- periodisch : Wiederkehrperioden $1 \div 20$ Jahre
- selten : Wiederkehrperioden $20 \div 100$ Jahre
- äusserst selten : Wiederkehrperioden > 100 Jahre
- möglich : Steinschlag nach topografischen, geologischen und klimatischen Gegebenheiten nicht auszuschliessen.
- unmöglich : Steinschlag nach menschlichem Ermessen ausserordentlich unwahrscheinlich (aber nicht völlig unmöglich).

Bei der Beurteilung des Steinschlagrisikos unterscheidet man zwischen

- objektbezogenem Risiko (Risiko für ein Objekt, zB. für ein Auto beim Befahren einer Strecke)
- streckenbezogenem Risiko (Risiko für eine bestimmte Strecke beim Befahren durch Objekte).

Das Steinschlagrisiko ist als zusätzliches Risiko zu den ohnehin vorhandenen Risiken des Verkehrs zu verstehen. Der Umstand, dass auf Gebirgsstrassen, wo in der Regel ein Steinschlagrisiko vorhanden ist, ein grösseres Risiko zutunbar ist, als auf Talstrassen, rechtfertigt die Grundgedanken der folgenden zwei Abschnitte.

4.2.1 Objektbezogenes Risiko

Grundgedanke: Das Risiko durch Steinschlag zu Schaden zu kommen, soll nicht wesentlich grösser sein, als das Risiko in einen vom Steinschlag unabhängigen Verkehrsunfall verwickelt zu werden.

In Abhängigkeit der Strassenkategorie ergeben sich dadurch die in Fig. 3 dargestellten kritischen Wiederkehrperioden.

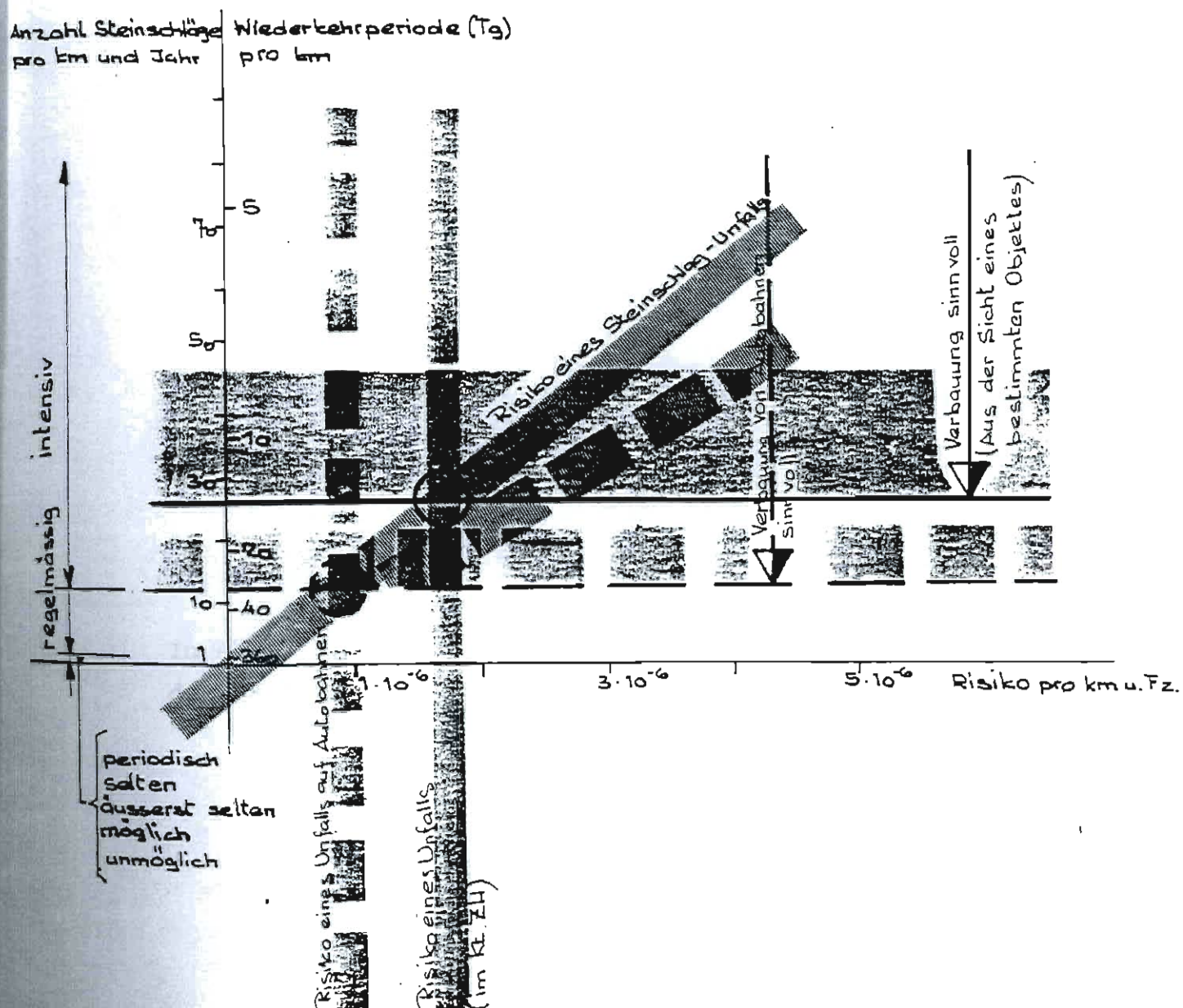


Fig. 3

Kritische Wiederkehrperioden für die objektbezogene Risikobeurteilung.

Man kann folgern:

- Schutzmassnahmen sind nur bei intensivem Steinschlag (Wiederkehrperioden < 1 Monat) anzuordnen.
- Bei Autobahnen sind Wiederkehrperioden um ≤ 1 Monat (pro km) genauer zu untersuchen.
- Bei Haupt- und Nebenstrassen sind Wiederkehrperioden ≤ 0.5 Monate (pro km) genauer zu untersuchen.

4.2.2 Streckenbezogenes Risiko

Grundgedanke: Das Risiko, dass sich auf einem Streckenabschnitt durch Steinschlag ein Unfall ereignet, soll nicht wesentlich grösser sein, als das Risiko, dass sich ein vom Steinschlag unabhängiger Verkehrsunfall ereignet.

In Abhängigkeit der Strassenkategorie ergeben sich dadurch die in Fig. 4 dargestellten kritischen Wiederkehrperioden.

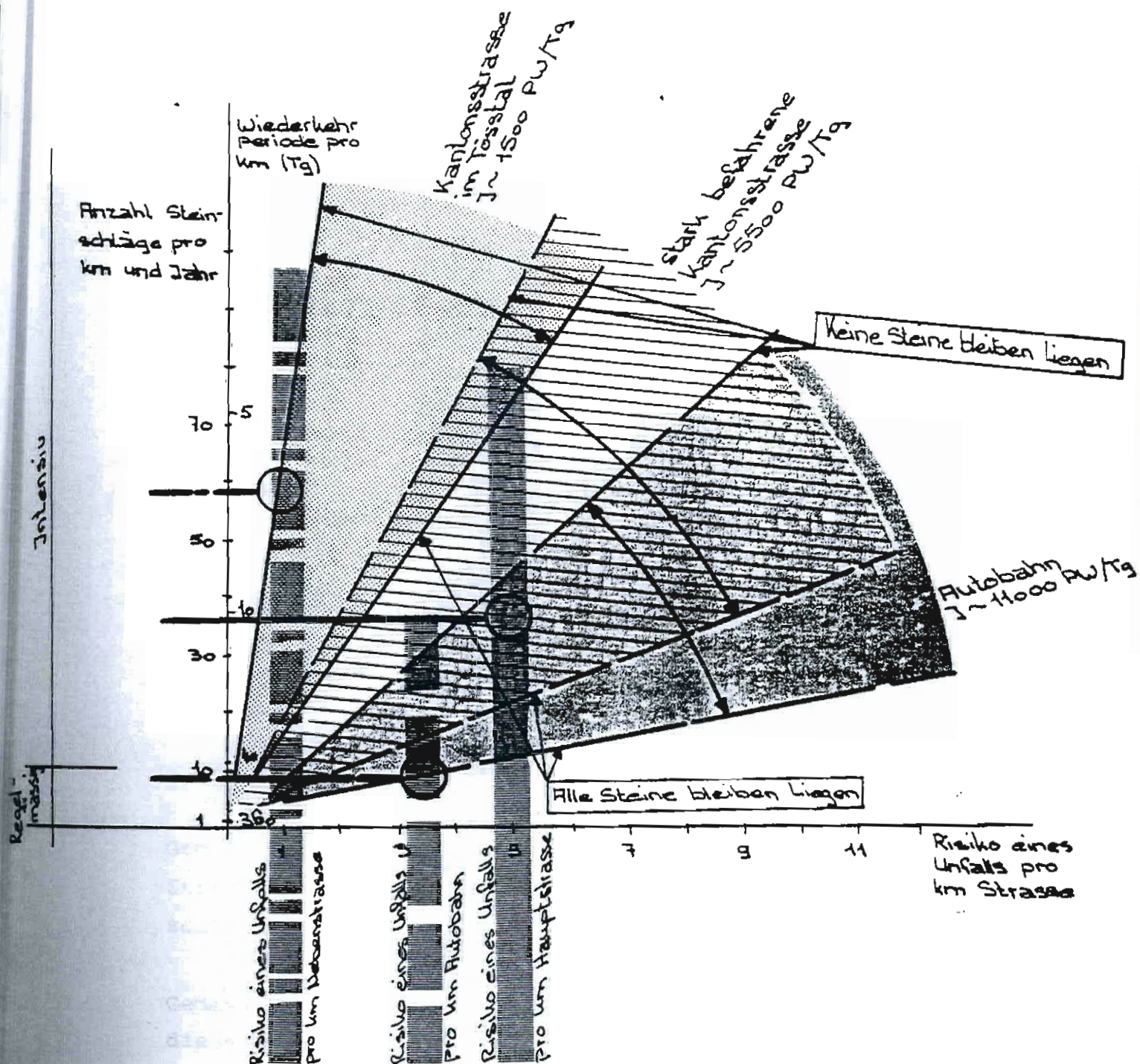


Fig. 4

Kritische Wiederkehrperioden für die streckenbezogene Risikobeurteilung.

Man kann folgern:

- Schutzmassnahmen sind nur gegen regelmässigen und intensiven Steinschlag anzuordnen (Wiederkehrperioden (pro km) kleiner als 1 Jahr), dh.

- . bei Autobahnen sind Wiederkehrperioden ≤ 1.5 Monaten (pro km)
- . bei Hauptstrassen sind Wiederkehrperioden ≤ 0.5 Monaten (pro km)
- . bei Nebenstrassen sind Wiederkehrperioden ≤ 0.25 Monaten (pro km)

genauer zu untersuchen.

4.2.3 Folgerungen und Beispiel

Der Vergleich der beiden Risikobeurteilungen zeigt, dass die kritischen Wiederkehrperioden verschieden sind.

Beispiel:

Zufahrt zu einem abgelegenen Dorfteil: 300 m
 Anzahl beobachtete Steinschläge pro Jahr: 12 Stk. } $\rightarrow$ pro km und Jahr:
 $\frac{1000 \text{ m}}{300 \text{ m}} \times 12 \approx 40 \text{ Stk.}$

$\rightarrow$ Wiederkehrperiode 0,3 Monate $\left(\frac{12}{40}\right)$

Gemäss Fig. 4 ist das Risiko irgend eines Unfalls pro km Streckenlänge grösser, als das Risiko, dass sich infolge Steinschlag auf diesem Streckenabschnitt ein Unfall ereignet.

Gemäss Fig. 3 ist jedoch für die einzelnen Bewohner, welche diese Strecke befahren, das Risiko durch Steinschlag zu verunfallen grösser, als das Risiko (auf einer Nebenstrasse) in einen Unfall verwickelt zu werden.

4.2.4 Risikoverminderung

Sofern die Beurteilung des Risikos dazu führt, dass das Ereignis "Steinschlag" ein zu grosses Risiko darstellt, bedeutet dies noch nicht, dass längs einer gesamten Strecke Schutzmassnahmen angeordnet werden müssen.

Der Vergleich der Risikoverminderung der Streckenabschnitte in Funktion ihrer dazu erforderlichen Aufwendungen kann dazu führen, dass nur örtlich (auf einzelnen Streckenabschnitten) verbaut werden soll.

Nachstehend sind die wichtigsten Eigenschaften solcher Kosten-Risiko-Kurven aufgeführt. Dabei geht man davon aus, dass das vorhandene Risiko nicht restlos eliminiert, sondern optimal reduziert werden soll.

Beispiel:

Eine Strecke weist die drei Streckenabschnitte A, B und C auf. Sie unterscheiden sich in ihren Wiederkehrperioden (je kleiner die Wiederkehrperioden, desto grösser wird das Steinschlagrisiko und je abgelegener das Einzugsgebiet, desto teurer die Schutzmassnahmen).

Für die Sanierung der einzelnen Abschnitte sind unterschiedliche Aufwendungen erforderlich. Für jeden Abschnitt lassen sich die charakteristischen Kosten-Risiko-Kurven (vgl. Fig. 5) darstellen.

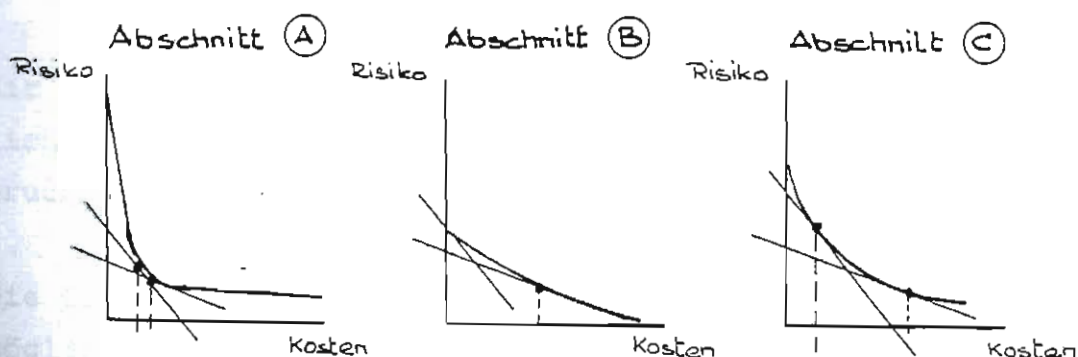


Fig. 5

Kosten-Risiko-Kurven verschiedener Streckenabschnitte

Die vorhandenen Mittel zur Sanierung der ganzen Strecke sind dann optimal verteilt, wenn die Tangenten an die einzelnen Kurven parallel sind, dh. alle die gleiche Steigung aufweisen.

Es wäre somit falsch (nicht optimal), die ganzen zur Verfügung stehenden Mittel in den Abschnitt (A) (Abschnitt mit dem grössten Risiko) zu investieren.

Durch den Einsatz grösserer finanzieller Mittel, kann das Risiko weiter reduziert werden (die Tangenten werden flacher). Ein absoluter Schutz ist jedoch, wie bereits erwähnt, nicht zu erreichen.

4.3 Belastungsannahmen

Bei der Belastung von Schutzbauwerken durch Steinschlag unterscheidet man (vgl. Anhang 1)

- die Gebrauchsbelastung
und
- die Grenzbelastung.

Mit der Gebrauchsbelastung wird die erwartete und wahrscheinliche Belastung bezeichnet. Die erforderliche Sicherheit gegen Bruch ist entsprechend den SIA-Normen einzuhalten.

Die Grenzbelastung berücksichtigt unwahrscheinliche, aber noch mögliche Belastungen. Hiefür ist grundsätzlich die Sicherheit 1 gegen Versagen einzusetzen. Grössere Steine/Blöcke werden nicht mehr aufgehalten. Beide Belastungen sind im Rahmen des Sicherheitskonzeptes (vgl. Abschnitt 4.1) zu definieren.

Bei den aktiven Schutzmassnahmen (zB. Eingrabung von Blöcken, Abstützung gefährlicher Partien) wird die Belastung durch die Blockgrösse und die Art der Schutzmassnahmen bestimmt (Gleichgewichtsproblem).

Bei den passiven Schutzmassnahmen ist die Belastung neben der Blockgrösse von der Flugbahn und damit von der Geschwindigkeit abhängig. Die Bestimmung der Belastung wird zu einem dynamischen Problem.

- Bestimmung der Blockgrösse

Angaben über die Grösse der Blöcke erhält man

- . durch die Bestandesaufnahmen
- . Begehung des Einzugs- und Schutzgebietes
- . geologische Beurteilung
- . Aussprachen mit ortskundigen Personen.

Die Blockgrössen sind für Gebrauchs- und Grenzbelastungen zu bestimmen.

- Aufprallenergie

Die Aufprallenergie bestimmt sich aus

Aufprallenergie $\leq$ Blockgewicht x Fallhöhe

Die maximale Aufprallenergie wird beim Extremfall von senkrechten Felswänden erreicht (vgl. Fig. 6).

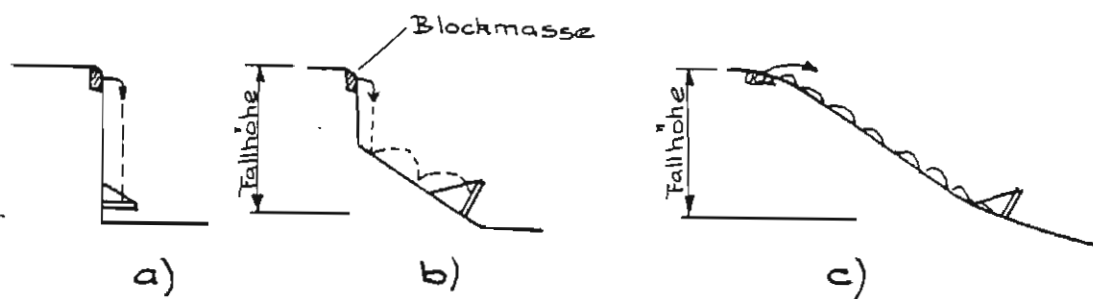


Fig. 6 Energievergleich a) freier Fall, b) Fall
auf Böschung, c) Rollen auf Böschung

Bei andern Böschungsformen wird bei jedem Bodenkontakt ein Teil der Energie vernichtet. Die Energievernichtung ist dabei stark von der jeweiligen Untergrundbeschaffenheit abhängig.

Bei der Dimensionierung von Schutzmassnahmen (Schutzwänden, Galerien) ist somit neben der Bestimmung der Korngrösse und der zurückzulegenden Fallhöhe auch die richtige Interpretation des Untergrundes und der Flugbahn von Bedeutung.

Schutzbauwerke müssen in vielen Fällen in der Lage sein, nebst den dynamischen Belastungen aus Steinschlag auch statische Belastungen aufzunehmen. Je nach System und Standort sind diese Belastungen sehr verschieden. Schutzwände können zB. durch Schnee (Lawinen), Murgang, Bachgeschiebe, Erdrutsche usw. belastet werden. Bei der Festlegung solcher Belastungen hält man sich mit Vorteil an die Beobachtungen ortskundiger Personen (Förster, Jäger, Landwirte, Strassenmeister usw.). Angaben über Schneelasten sind vom Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos erhältlich.

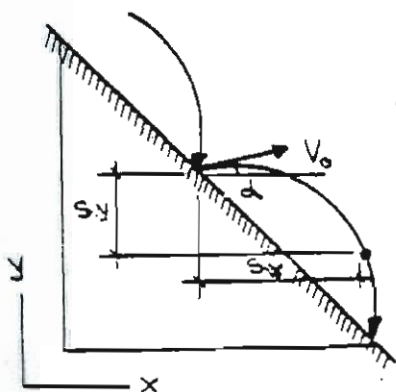
Murgang und Bachgeschiebe übersteigen in der Regel die Widerstandsfähigkeit von Steinschlagverbauungen. Dies bedeutet, dass Steinschlagverbauungen so anzuordnen sind, dass diese Belastungen gar nicht erst auftreten können. Kann dieser Forderung nicht entsprochen werden, so sind die Verbauungen in einzelne Abschnitte zu unterteilen. Bei örtlicher Ueberbelastung wird dann nur ein voraussehbarer, kleiner Abschnitt zerstört.

4.4 Flugbahnen

Die zu erwartenden Flugbahnen sind sehr von den örtlichen Verhältnissen abhängig.

Die Flugbahnen (Höhe und Geschwindigkeit) bestimmen die Verbauungshöhe sowie, neben der Blockgrösse, die Gebrauchs- und Grenzbelastungen.

Die kinematischen Grundgleichungen für die Flugbahnen lauten (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes):



$$\begin{aligned} S_x &= V_0 \cdot t \cdot \cos d \\ S_y &= V_0 \cdot t \cdot \sin d + \frac{gt^2}{2} \\ V_r &= \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot S_x} \end{aligned}$$

Fig. 7

Flugparabelgleichungen

Beim Aufprall eines Blockes auf eine Böschung unterscheidet man, je nach Hangneigung, zwischen den Bewegungstypen gemäss Fig. 8.

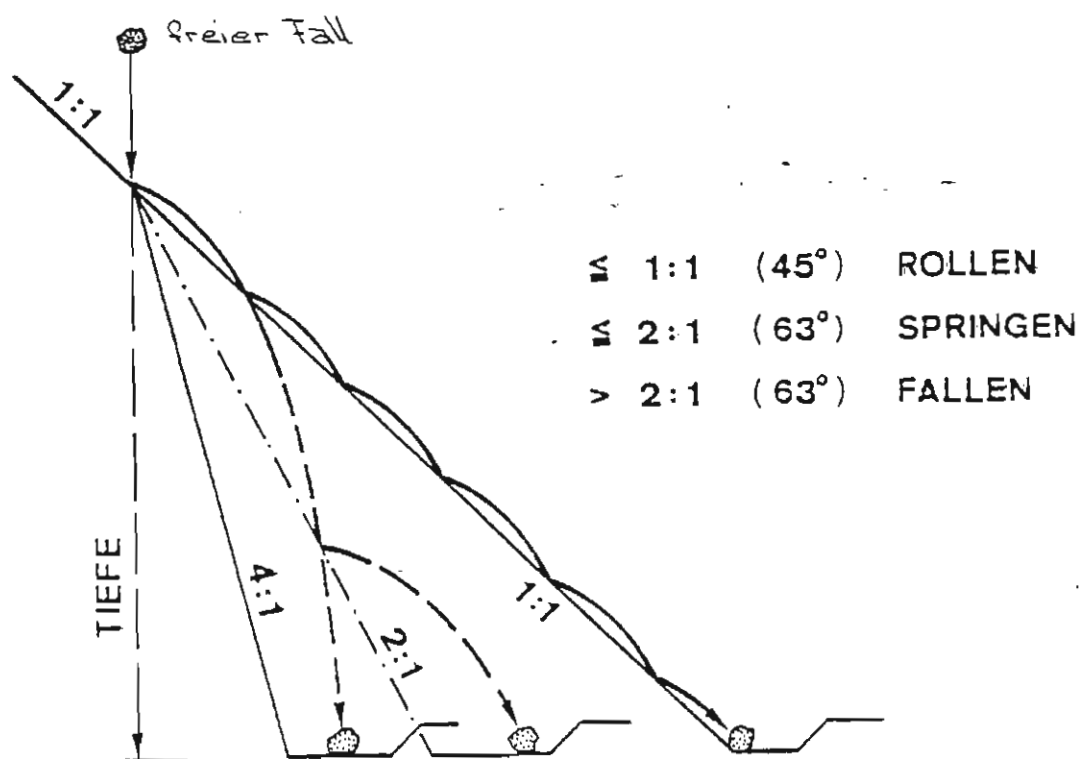


Fig. 8 Bewegungstypen

Bei Böschungsneigungen flacher als 1:2 ist aus dem Hang kein Steinschlag zu erwarten. Künstlich losgelöste Blöcke erfahren beim Rollen keine wesentliche Beschleunigung. Auf die Böschung abgestürzte Blöcke werden sich rollend nach unten bewegen. Kleinere, durch örtliche Geländeabsätze bedingte Sprünge, sind möglich und bei der Festlegung der Verbauungshöhen zu berücksichtigen. Bei Böschungsneigungen steiler als 1:1 bewegen sich die Steine springend oder fallend. Dabei gelten die Grundgleichungen der Kinematik.

Wie im Abschnitt 4.3 erwähnt, wird beim Aufprall eines Blockes ein Teil der Energie im Untergrund vernichtet. Die Flugbahnen erfahren dadurch eine flachere, gedämpfte Form. Zur Zeit sind noch wenige Zahlenwerte über das Dämpfungsverhalten bei verschiedenen Untergrundarten vorhanden. Die genauesten Angaben gewinnt man durch Rückrechnung der Angaben aus vorhandenen Bestandesaufnahmen. Sofern keine solchen Unterlagen vorliegen, können den Flugbahnberechnungen die Werte der Tabelle 1 zugrundegelegt werden. Bei den Werten des Geschwindigkeitsverlustes handelt es sich um Werte des auf die Böschung senkrechten Anteiles des Aufpralles (vgl. Fig. 9). Die Werte sind noch wenig bestätigt. Bei Flugbahnberechnungen mit diesen Werten sind Sensitivitätsbetrachtungen durchzuführen.

Bodenart	Energieverlust bei senkrechtem Aufprall	Geschwindigkeitsverlust von $\vec{V}_N$
auf Fels	~ 10%	~ 5%
auf 35 cm Kies	~ 70%	~ 45%
auf 70 cm Kies	~ 80%	~ 55%
in Geröllhalde	~ 80%	~ 55%

Tabelle 1 Verluste bei senkrechtem Aufprall

Beispiel zu Tabelle 1:

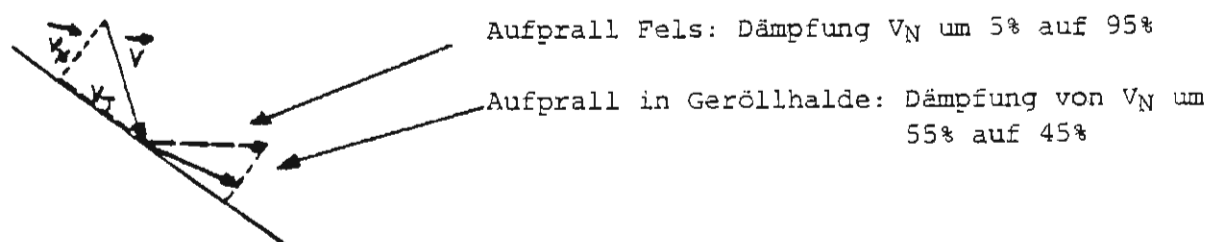


Fig. 9

Geschwindigkeitskomponenten beim Aufprall auf Böschungen

Die Geschwindigkeitskomponente $\vec{V}_T$ wird nur wenig verringert
 Sie versetzt den Körper in Rotation.

Die Rotation bewirkt, dass

- die Flugbahnen weiter abgeflacht werden.
- die Schutzwände durch die rotierenden Blöcke überrollt werden können.

Die Blöcke erfahren beim Bodenkontakt nicht nur eine Verzögerung, sondern, je nach Blockform, auch eine Auslenkung. Die Flugbahnen können dadurch im Grundriss abgelenkt werden (vgl. Fig. 10).

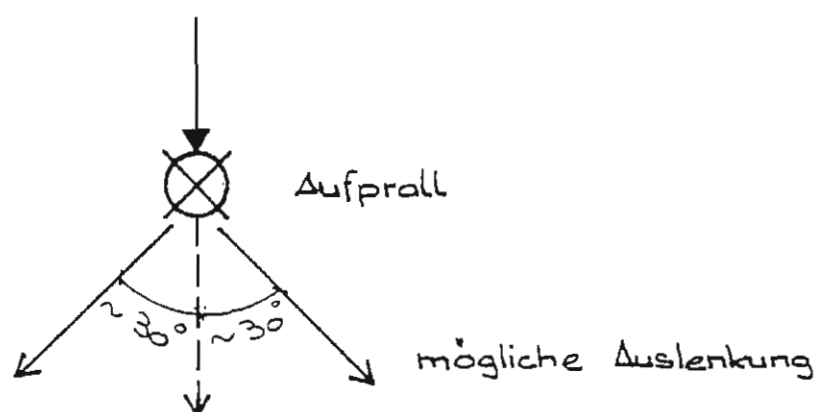


Fig. 10

Auslenkung im Grundriss

Bei grösseren Einzugsgebieten (lange Hänge) lohnt es sich, die Flugbahnen mit Computerprogrammen zu berechnen (vgl. Fig. 11 - 13). Die örtliche Variation einzelner Dämpfungswerte ist dadurch leicht zu berücksichtigen.

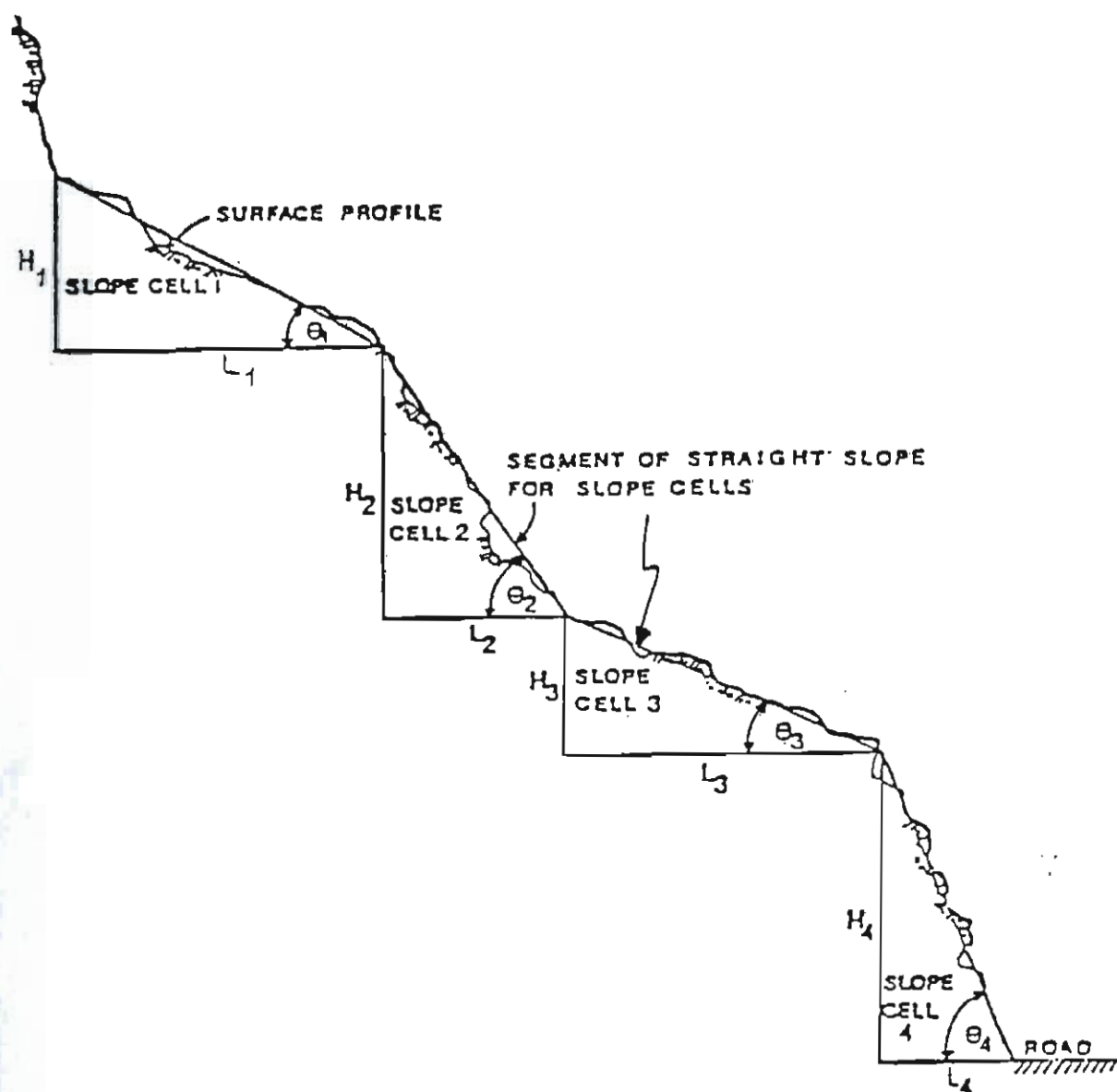


Fig. 11

Anpassung des vorhandenen Böschungsverlaufes bei Flugbahnberechnungen mit dem Computer

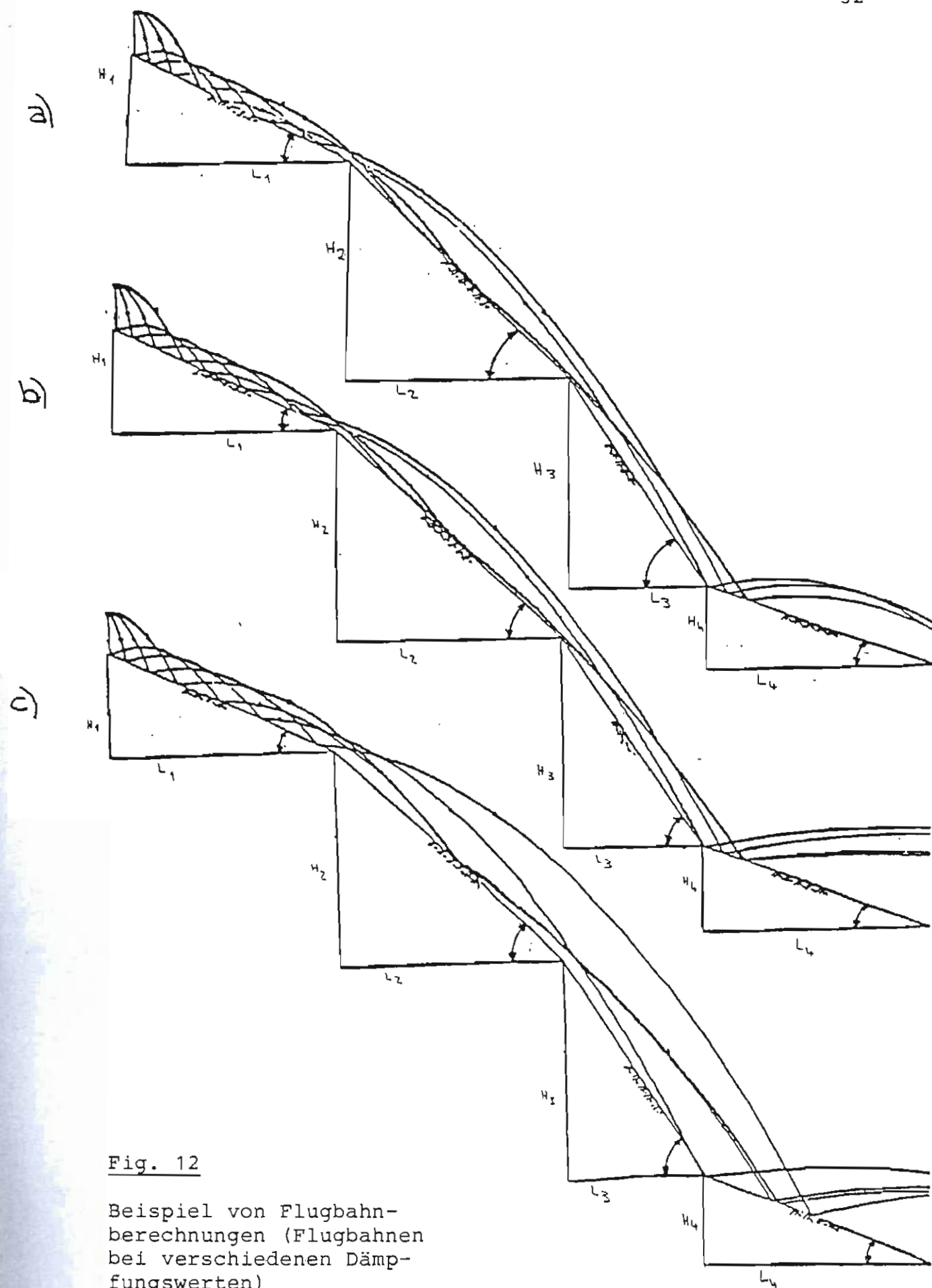


Fig. 12

Beispiel von Flugbahn-
berechnungen (Flugbahnen
bei verschiedenen Dämp-
fungswerten)

- a) Ausgangsberechnung, b) Dämpfungsreduktion in Abschnitt 4,
c) Dämpfungsreduktion in Abschnitt 1

Ueberlagerung aller Berechnungen

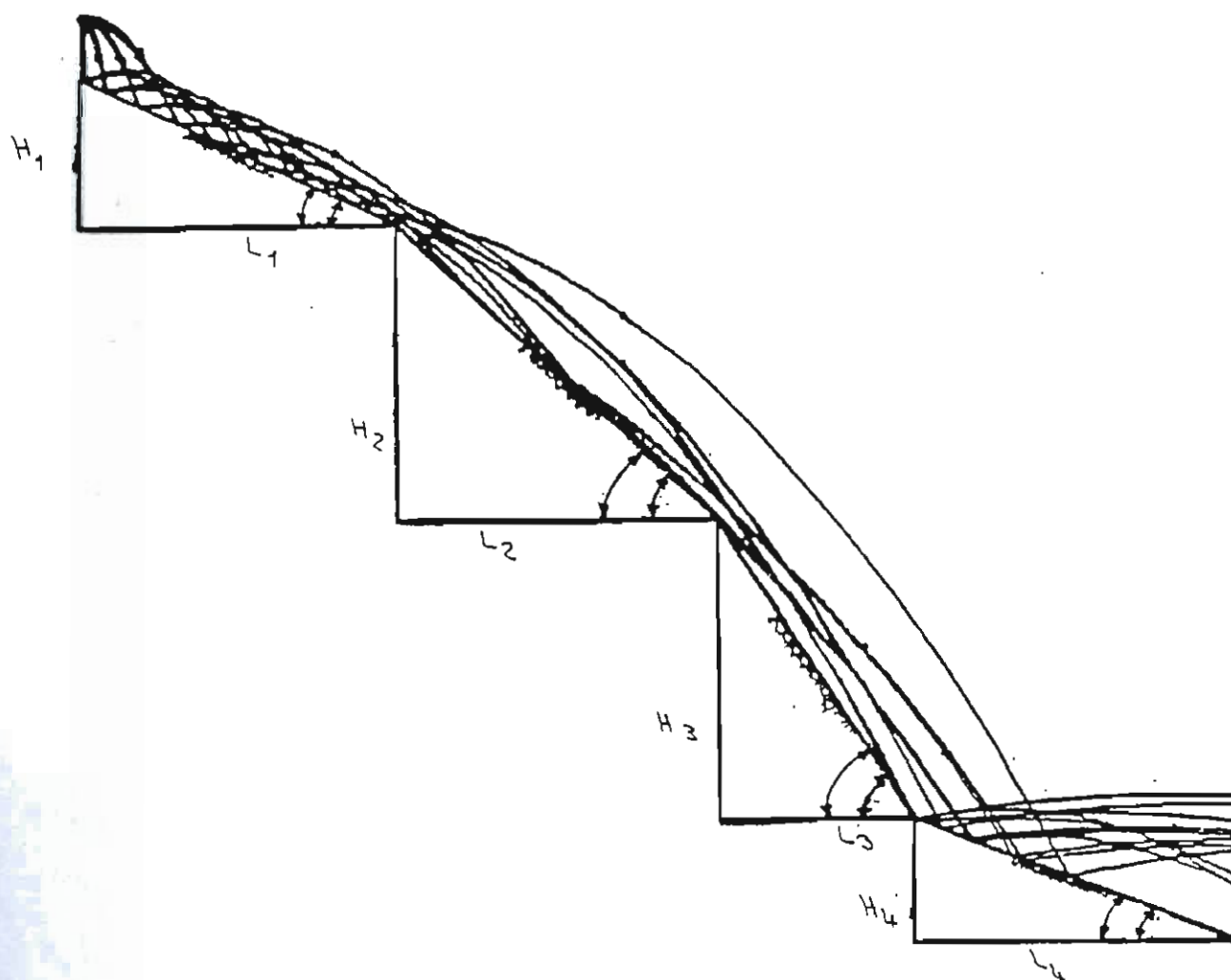


Fig. 13

Beispiel von Flugbahnberechnungen (Ueberlagerte Flugbahnen der Fig. 12a - c)

Bei noch so detaillierter theoretischer Bestimmung von Flugbahnen ist zu bedenken, dass dabei nicht jede Geländeunebenheit erfasst und berücksichtigt werden kann. Zudem muss man sich auf einzelne, ausgewählte Profile beschränken. Die räumlichen Unregelmässigkeiten können nicht mit einbezogen werden (Auslenkungen).

5. SCHUTZMASSNAHMEN

5.1 Prinzipielle Möglichkeiten

Man unterscheidet zwischen:

Aktiven Schutzmassnahmen

und

Passiven Schutzmassnahmen

Die Schutzmassnahmen erfolgen im Einzugsgebiet durch Verhindern des Loslössens gefährdeter Blöcke (am Ort der Blöcke).

Die Schutzmassnahmen erfolgen oberhalb des Schutzgebietes durch Umleiten oder Auffangen von abgestürzten Blöcken (auf der Flugbahn der Blöcke).

Die wichtigsten Schutzmassnahmen sind (Kombinationen sind möglich):

Abräumen

Begrünen

Flachböschungen

Eingrabung von Steinen/Blöcken

Abstützung von Steinen/Blöcken

Felsanker

Scherbolzen

Verhängungen

Stützmauern

Futtermauern

Plombierungen, Versiegelungen

Drainagen

Steinschlaggeflechte

Schutzwände

Schutzgräben

Bermen

Schutzwälle

Galerien

Ueberwachungsgeräte

Die Anwendung der einzelnen Schutzmassnahmen ist sehr von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Die Zugangsmöglichkeit für Geräte und Personal ist mitentscheidend bei der Auswahl einer Massnahme.

Die Sicherungsmassnahmen stellen auch sichtbare Eingriffe in die Landschaft dar. Die Forderungen des Landschaftsschutzes sind in die Entscheidung miteinzubeziehen.

5.2 Die Schutzmassnahmen im einzelnen

In den nachstehenden Abschnitten werden jeweils das Prinzip, die Wirkung und die Anwendungsbereiche der einzelnen Schutzmassnahmen dargestellt. Die statischen Nachweise bestimmter Schutzmassnahmen werden im Abschnitt 5.3 behandelt.

5.2.1 Abräumen

Unter Abräumen versteht man das Entfernen von absturzgefährdeten Steinen und Blöcken im Einzugsgebiet.

Die Wirkungskdauer dieser Massnahme ist in der Regel beschränkt, da die Verwitterung weiter einwirkt. Je nach Gesteinsbeschaffenheit und Abtragart wird der alte Zustand früher oder später wieder erreicht. Die Oberfläche ist nach Möglichkeit, sofern es sich nicht um einen temporären Schutz (zB. von Bauarbeiten) handelt, gegen weitere Verwitterungseinflüsse zu schützen (Plombierung, Begrünung, Drainage) und periodisch zu kontrollieren.

Während der Durchführung der periodischen Abräumarbeiten sind zusätzliche organisatorische Massnahmen anzuordnen. Tieferliegende Verkehrsträger sind für die Dauer der Arbeiten zu sperren oder zusätzlich zu schützen.

Das Entfernen bzw. der Abtrag gefährlicher Stellen verlangt ein gebirgsschonendes Vorgehen. Dieser Forderung wird oft nur der Handabtrag gerecht. Es muss darauf geachtet werden, dass beim Abräumen das darunterliegende Gestein nicht einer rascheren Verwitterung ausgesetzt wird.

5.2.2 Bepflanzung, Berasung

Durch die Bepflanzung und/oder Berasung soll die Oberfläche vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Ferner wird dadurch ein teilweises Abbremsen oder Aufhalten von rollenden und springenden Steinen erreicht.

Zur Erhaltung und Verstärkung der Schutzwirkung sind folgende waldbauliche Grundsätze zu befolgen:

- Verbot von Kahlschlägen und kahlschlagähnlicher Nutzung.
- Standortgemässe Baumartenmischung (auch Buschwerk).
- Ungleichaltrige Bestandesstruktur.
- Wo immer möglich, natürliche Verjüngung.
- Aufforstung (Weisstannen sind widerstandsfähiger gegen Steinschlag als Rottannen).
- Unverzögliche Pflanzung in verlichteten Wäldern.
- Verbieten von jeglichem Weidgang.
- Lenkung und Begrenzung des Wildbestandes.

Nach Möglichkeit sind auch Felsböschungen zu bepflanzen. Dabei dürfen nur Sträucher und Bäume geduldet werden, die keine mächtigen Wurzeln bilden. Diese würden durch Ausdehnen den Fels aufsprengen, indem sie in Klüften grosse Keilkräfte bewirken.

Die Bepflanzungsmassnahmen sind in Absprache mit dem zuständigen Forstdienst anzuordnen. Sie sind den örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Es ist wichtig, dass diese Schutzmassnahmen planlich festgehalten werden. Die zugeordnete Schutzfunktion kann dadurch jederzeit überprüft werden.

Bei zeitlicher Veränderung der vorausgesetzten waldbaulichen Grundsätze sind weitere Schutzmassnahmen anzuordnen. In die Projektierung ist die Art der Bewirtschaftung und des Unterhaltes miteinzubeziehen (Zugänglichkeit, Zufahrt).

5.2.3 Flachböschung

Das Abräumen kleiner Felsböschungen kann soweit gehen, dass Flachböschungen entstehen (Böschungswinkel $< 40^\circ$). Bei der Wahl der Abtragungsart ist zu bedenken, dass herausgesprengte Böschungen wegen der Zerstörung ihres Oberflächengefüges stärker verwittern. Durch entsprechend flachere Böschungsneigung kann diesem Umstand begegnet werden.

Im Fels finden die Böschungsbrüche, im Unterschied zu Böschungen im Lockergestein, nicht längs stetig gekrümmter Flächen, sondern längs Bruchnischen statt.

Durchhängende Böschungen, denen im Lockermaterial eine besonders hohe Stabilität eigen ist, weisen diesen Vorteil im Fels im allgemeinen nicht auf. Aus dem gleichen Grund müssen bauchige Böschungen nicht grundsätzlich von geringerer Standicherheit sein als ebene.

Am Böschungsfuss ist konstruktiv gegen herunterrollende Steine eine kleine Mauer bzw. ein Zaun zu erstellen. Dabei muss der Abfluss des Oberflächenwassers der Böschung gewährleistet bleiben (vgl. Fig. 14). Oft werden solche Schutzkonstruktionen auch zur Aufnahme lokaler Rutschungen dimensioniert.

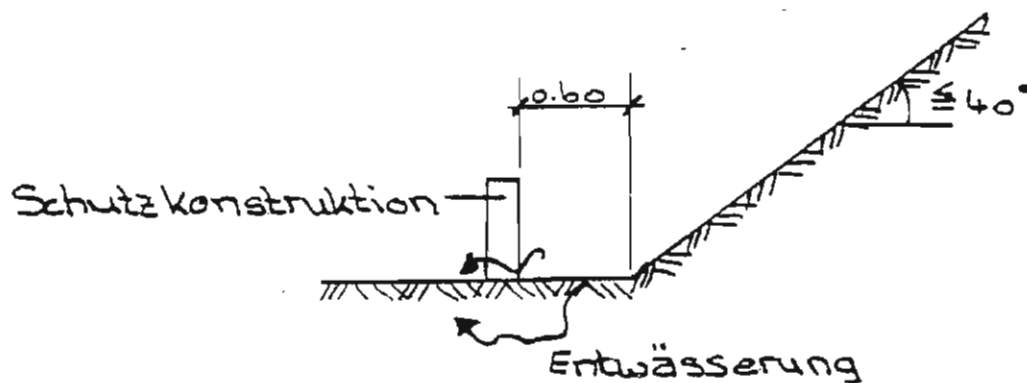


Fig. 14 Ausbildung Böschungsfuss einer Flachböschung

5.2.4 Bermen

Durch die Anordnung von Bermen soll die freie Böschungshöhe reduziert (unterteilt) werden. Dabei erhöht sich die Standsicherheit einer Felsböschung nicht grundsätzlich.

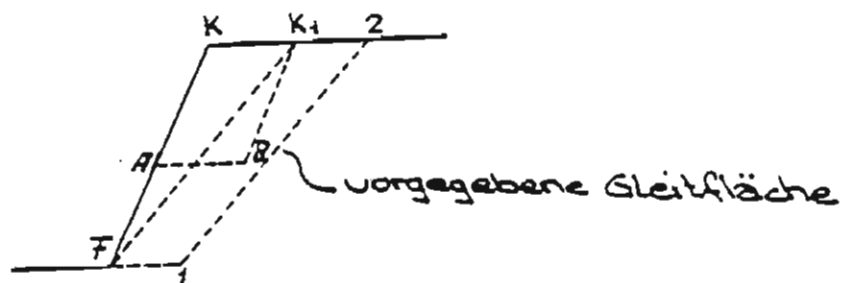


Fig. 15 Mögliche Böschungsformen

Eine Berme A B (vgl. Fig. 15), welche den Böschungskopf von K auf K₁ zurückverlegt, kann gegenüber einer geradlinig zurückgelegten Böschung F - K₁ eine Einbusse an Standsicherheit bringen.

Die Anordnung von Bermen erlaubt

- die Befahrbarkeit der Böschungen zu Kontroll- und Unterhaltszwecken
- die Reduktion der Fallhöhen bei Steinschlag (Fallboden)
- das Aufhalten von Blöcken
- die Anordnung von Auffangbauwerken (Schutzwände)
- die Anordnung von Drainagen.

Bermen sollen eine minimale Breite von ca. 3.00 m aufweisen, werden sie schmaler ausgeführt, so sind sie eher nachteilig.

5.2.5 Eingraben, Unterbetonieren

Sofern sich einzelne gefährliche Blöcke im Einzugsgebiet befinden, ist es sinnvoll, diese labilen Massen dort zu belassen und lediglich ihre Standsicherheit zu erhöhen.

Bei kleineren Blöcken besteht die Möglichkeit diese einzugraben (vgl. Fig. 16) und/oder gegen den Hang zu kippen.

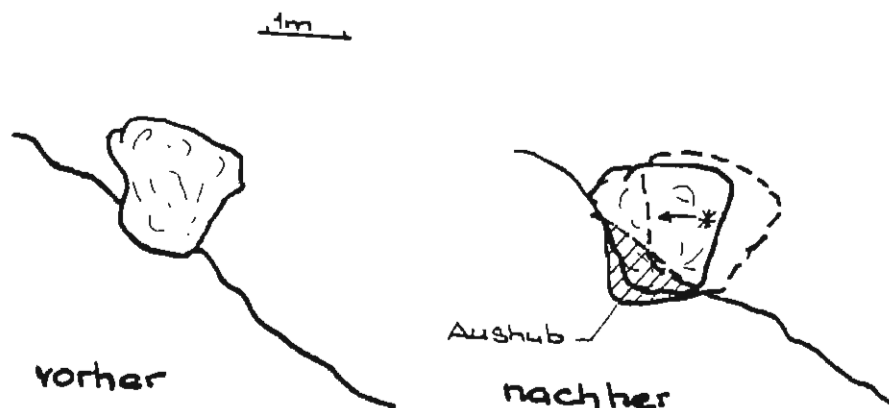


Fig. 16

Eingraben einzelner Blöcke

Bei grösseren Blöcken ist es wirtschaftlicher, diese zur Erhöhung ihrer Kippsicherheit zu unterbetonieren (vgl. auch Abschnitt 5.2.6). Fallweise sind überschlägige, statische Abschätzungen der aufzunehmenden Kräfte angezeigt.



Fig. 17

Unterstützen einzelner Blöcke

Die Schwierigkeit bei dieser Massnahme liegt in der Beurteilung der Standsicherheit eines Blockes. Die Abmessungen unterhalb des Terrains sind nicht ersichtlich. Bergseitige Spalten zwischen Block und Terrain lassen auf Verschiebungen schliessen.

Auch jahrelang ruhende Blöcke können durch äussere Einwirkungen, wie Erdbeben, Bauarbeiten, Ausspülungen, Wurzeldruck, Grabtätigkeit von Tieren usw. gefährdet werden.

5.2.6 Abstützungen

Zur Erhöhung der Standsicherheit können überhängende oder unterschnittene Felsmassen durch Beton- oder Stahlpfeiler zusätzlich abgestützt werden.

Bei der Anordnung mehrerer Pfeiler empfiehlt es sich, einen horizontalen Betonriegel als kopfseitiges Widerlager auszubilden. Zur Verhinderung des Ausknickens einzelner Stützen kann eine zusätzliche Verankerung senkrecht zur Stützenachse erforderlich sein. Diese konstruktive Verankerung soll mindestens 2% der zugehörigen Stützenlast übernehmen können und das Ausknicken in beiden Richtungen verhindern.

Zur Bestimmung der erforderlichen Stützenkraft ist das Felsvolumen aufgrund geschätzter möglicher Bruchflächen zu bestimmen.

Die Felsoberfläche ist vor dem Betonieren von Betonpfeilern sorgfältig zu reinigen (Einleitung der Normal- und Querkräfte oben und unten am Pfeiler).

5.2.7 Felsanker

Die Standsicherheit einzelner Blöcke oder Böschungsabschnitte kann durch Felsanker (zusätzlich aufgebraachte Kräfte) erhöht werden.

Es sollen, wenn immer möglich, vorgespannte Anker verwendet werden. Dadurch werden Verschiebungen der kritischen Felspartien bis zum vollen Wirken der Anker vermieden.

Bei permanenten Verankerungen ist dem Korrosionsschutz grösste Aufmerksamkeit zu schenken (vgl. SIA-Norm 191, Boden- und Felsanker).

Ankerlöcher bis Durchmesser 32 mm und Längen bis ca. 3.00 m können von "Hand" gebohrt werden. Grössere Dimensionen erfordern schwerere Bohrgeräte.

Vorgängig der Bohrarbeiten ist die Böschung in der Regel zur Sicherung der Arbeiter abzuräumen. Der Herstellungsvorgang ist sorgfältig zu überwachen.

5.2.8 Scherbolzen

Die Uebernahme von Schubkräften in möglichen Trennflächen kann auch durch den Scherwiderstand von Nägeln oder Bolzen erfolgen. Dies eignet sich nur bei geringen Neigungen der Trennflächen.

Bei grösserer Neigung werden die erforderlichen Haltekräfte sehr gross. Dabei werden die Bolzen auf Biegung und das Gestein auf Lochleibungsdruck beansprucht. Da die meisten Gesteine auf Lochleibungsdruck empfindlich sind, werden diese Beanspruchungen, und meist nicht der Scherwiderstand der Bolzen, massgebend.

Zulässige Werte für den Lochleibungsdruck sind durch Versuche zu bestimmen.

5.2.9 Verhängungen

Einzelne gefährdete Felspartien werden mit dem benachbarten, standsicheren Gebirge, mittels Stahlseilen, verbunden. Diese Verhängungen können horizontal oder vertikal verlaufen. Ihr wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die labilen Blöcke keine weiteren Erschütterungen erfahren, welche einen Absturz während der Bauzeit begünstigen könnten. Diese Sicherungsmassnahmen sind wohl relativ billig, haben aber folgende Nachteile:

- sehr schwieriger Korrosionsschutz
- bis zur Wirkung der Sicherung tritt eine relativ grosse Deformation ein (elastische Stahlseile, flache Umschliessungswinkel).

Die Verhängungen werden vor allem für Provisorien verwendet. Für die Ausbildung der provisorischen Verankerungen sei auf Fig. 18 verwiesen.

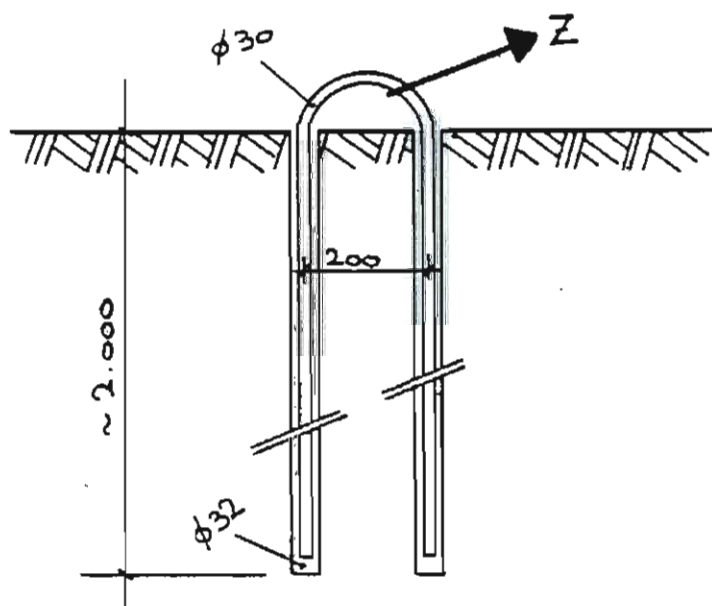


Fig. 18

Provisorische Verankerungen

5.2.10 Stützmauern

Zur Sicherung niedriger bis mittelhoher, meist nahezu senkrechter Böschungen können Stützmauern verschiedener Art angeordnet werden. Sie dienen zur Erhöhung von Gleit- und Kippsicherheit oder zur Verminderung der Verwitterungsanfälligkeit.

Lit. [1] gibt einen Ueberblick über die verschiedensten Ausführungsvarianten von Stützmauern im Fels.

Wichtig ist, dass die Mauerrückseiten hinreichende Entwässerungsmöglichkeiten besitzen. Der rechnerische Ansatz eines Wasserdruckes, bei fehlender bzw. mangelhafter Drainage, führt zu unwirtschaftlichen Bauwerksabmessungen.

Die Versinterungsanfälligkeit der Drainage durch das anstehende Gestein (Kalk) ist bei der Projektierung zu berücksichtigen. Entsprechende Unterhaltungsmöglichkeiten sind vorzusehen. Für den Extremfall, Versagen der Drainage, muss die Stützmauer gegen Gleiten, Kippen, Bruch usw. noch eine knapp über 1 liegende Sicherheit (Grenzbelastung) aufweisen.

Beim Stützmauerkopf ist eine kleine Berme oder ein Mauer Vorsprung als Schutz gegen herunterrollende Steine der aufgehenden Böschung, vorzusehen (vgl. Fig. 19).

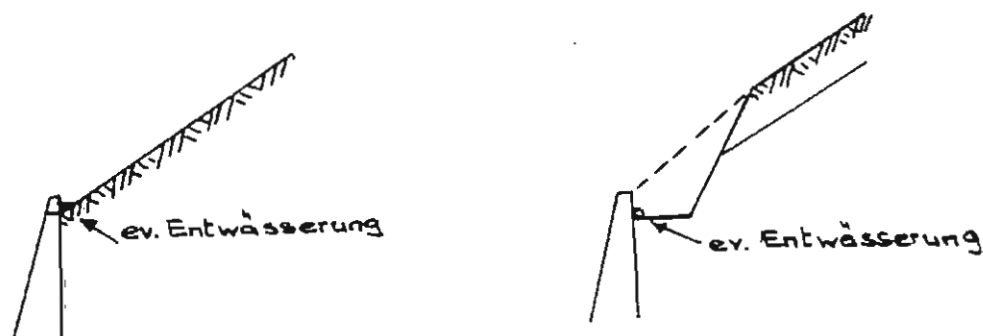


Fig. 19

Ausbildung der Mauerkrone

5.2.11 Felsverkleidungsmauern

Felsverkleidungsmauern schützen die Böschungen, stützen sie jedoch nicht. Ihre Konstruktion und ihre Berechnung unterscheiden sich von Stützmauern gänzlich. Sie werden durch die Belastungen aus

- Auflockerung
- Abwitterung
- Frostschub
- Nachlockerung

beansprucht.

In Lit. [1] sind die verschiedenen Mauerarten wie

- vorgesetzte Mauer
- angemauerte Mauer
- angeheftete Mauer

detailliert beschrieben.

Bei allen Typen ist die Gewährleistung einer funktionierenden Drainage sowie die Verhinderung der Eisbildung hinter der Mauer von grösster Wichtigkeit.

5.2.12 Plombierungen, Versiegelungen

Plombierungen oder Versiegelungen bilden auf der Oberfläche eine zusammenhängende Haut. Diese dient sowohl dem Schutz weicher Gesteinsschichten gegen Erosion, als auch zum Abdichten der Flächen gegen eindringendes Oberflächenwasser. Es ist wichtig diese Sicherung möglichst rasch nach dem Freilegen der Böschung aufzubringen (keine Nachlockerung). Wesentlich ist aber, dass die Durchtrittsmöglichkeiten des Bergwassers gesichert bleiben.

Frostschutz gewähren die Versiegelungen nicht. Deshalb sind sie an Orten mit Frostgefahr nur für Provisorien geeignet.

Gute Wirkung zeigen sie, wenn sie schwächeres Gebirge mit anstehenden Rippen und/oder Bänken grösserer Standfestigkeit verspannen können.

5.2.13 Drainagen

Die Drainagen sollen sowohl das Eindringen von Oberflächenwasser in die Böschung verhindern, als auch das Gebirge tiefgründig entwässern. Das Fassen des Oberflächenwassers kann in offenen, möglichst ausgekleideten Gräben erfolgen.

Die Entwässerung des Gebirges erfolgt durch Drainagebohrungen, in seltenen Fällen durch Brunnen oder Stollen.

Die Tiefe des zu entwässernden Gebirgsbereiches soll etwa die Hälfte der Böschungshöhe betragen. Die Bohrungen sollen so angeordnet werden, dass sie möglichst viele wasserführende Trennflächen anschneiden. Ihr Abstand variiert je nach Durchlässigkeit des Gebirges. In stark geklüftetem Gebirge darf er die Grösse der Bohrlänge erreichen. Wo oberflächlich Vernässungszonen sichtbar werden, sind Drainagen bevorzugt anzuordnen. In standfestem Fels sind sie nicht zu verrohren.

Horizontale Bohrungen sollten um ca. 5° nach oben geneigt sein. Ihr Durchmesser soll 60 mm nicht unterschreiten.

Je nach Gebirgsbeschaffenheit können durch Feinteile bzw. Ausfällungen die Leitungen in wenigen Jahren verschlossen werden.

Sofern aus der Zusammensetzung der Bergwässer solche Risiken aufgezeigt sind, müssen

- Spülmöglichkeiten geschaffen
- die Wasserspiegel überwacht
- die Kluftwasserdrücke für die Dimensionierung berücksichtigt werden.

Bei stark rieselnden Drainagen besteht keine Gefahr der Vereisung, da immer genügend Wärme aus dem Gebirge zugeführt wird. Schwachrinnende Adern sind frostfrei anzuordnen, um Rückstauungen zu verhindern.

5.2.14 Steinschlaggeflechte

Durch Steinschlaggeflechte werden einzelne, sich ablösende Steine aufgefangen, am Springen gehindert und kontrolliert nach unten (zum Böschungsfuss) abgegeben.

Als Material werden Netze aus 2 - 3 mm dicken, verzinkten, mehrfach verdrehten Drähten oder verknotete Kunststoffnetze verwendet.

Die Netze werden in einem Abstand von 0.30 - 0.40 m zur Felsoberfläche montiert. Dadurch wird verhindert, dass sich abgelöste Steine verfangen und sich Säcke ausbilden, welche die Netze zerstören. Am Fuss muss das Herausrollen gewährleistet sein. Die Problematik dieser Konstruktion liegt in der Gewährleistung einer ausreichenden Lebensdauer. Bei Drahtnetzen sollte die Lebensdauer 15 - 25 Jahre betragen. Es ist aber, bei zunehmender Luftverschmutzung, besonders durch schwefelige Abgase, vorgekommen, dass die Korrosionsschutzschicht bereits nach 2 Jahren abgebaut war.

Bei Kunststoffnetzen ist besonders die UV-Beständigkeit zu beachten. Bei mangelnder Resistenz werden die Netze bald brüchig.

Je nach Standort sind die Steinschlaggeflechte zusätzlich abzusperren, um die Benützung als Kletterhilfen zu verhindern.

5.2.15 Schutzwände

Die Aufgabe von Schutzwänden besteht im Fassen, Abbremsen und Halten von abgestürzten Blöcken.

Man unterscheidet verschiedene Konstruktionsarten:

- Verbauung mit Eisenbahnschwellen
- Stahlverbauungen
- Betonmauern
- Netze, Geflechte

Die grösste Wirkung erreichen die Schutzwände in Verbindung mit einem bergseitigen Fangraum (Fallboden). Dies bedeutet, dass Schutzwände (sofern möglich) mit einer Waldstrasse kombiniert werden. Die Ueberwachung sowie der Unterhalt wird dadurch zusätzlich wesentlich erleichtert. Topografisch schwieriges Berggebiet setzt aber dem Waldstrassenbau technische und finanzielle Grenzen.

Aufgrund ihrer Wirkungsweise unterscheiden wir:

- starre Systeme (zB. Schwergewichtsmauern)
- elastische Systeme (zB. Auffangnetze).

Starre Systeme:

Bei den starren Systemen wird die auftreffende Energie auf einer kurzen Brems-Strecke (Grössenordnung cm) aufgenommen. Es ergeben sich dadurch sehr grosse Bremskräfte, die von den Schutzbauwerken und ihrer Foundation aufgenommen werden müssen. Dies führt oft zu sehr massiven Konstruktionen.

Ihre Vorteile sind:

- technisch einfache Konstruktionen
- Konstruktionsmaterial billig zu beziehen (zB. Kies aus der näheren Umgebung oder Eisenbahnschienen als Ausschussmaterial)
- praktisch durch jeden Unternehmer ausführbar
- gute psychologische Schutzwirkung
- einfacher Unterhalt.

Ihre Nachteile sind:

- grosser Baumaterialverbrauch (eventuell Transportschwierigkeiten), dadurch oft hohe Kosten
- die Foundation wird durch sehr grosse Reaktionskräfte beansprucht
- bei Zerstörung eines starren Schutzbauwerkes kann ein zusätzlicher Steinschlag (zB. Teile der Schutzmauern) ausgelöst werden, sofern kein genügender Zusammenhalt der Bauteile vorhanden ist (Mauerwerk).

Elastische Systeme:

Bei den elastischen Systemen wird die auftreffende Energie auf einer langen Strecke (Grössenordnung m) abgebremst. Es ergeben sich dadurch relativ kleine Bremskräfte, die vom Schutzbauwerk aufgenommen und an die Foundation weitergeleitet werden müssen. Dies führt zu leichten Konstruktionen.

Ihre Vorteile sind:

- kleines Transportgewicht
- kleine Fundationskräfte, daher oft wirtschaftliche Lösung
- Aufnahme von grossen Grenzbelastungen möglich.

Ihre Nachteile sind:

- technisch kompliziertere Konstruktion
- Beschränkung auf bestimmte Produkte bzw. Systeme.

5.2.16 Schutzgräben

Schutzgräben haben die selbe Aufgabe wie Schutzwände. Bei grossen freien Fallhöhen, bei massigen Blöcken oder bei Lockergestein ist es oft nicht möglich die grossen Aufprallenergien durch Schutzwände allein aufzunehmen. Zur Energievernichtung sind Schutzgräben und Fallböden anzuordnen. Diese haben den Nachteil, dass sie relativ viel Platz benötigen. Die erforderlichen Abmessungen in Funktion der Böschungshöhen sind in Kapitel 5.4 beschrieben.

5.2.17 Schutzwälle

Die Funktion der Schutzwälle ist das Ablenken von "Steinschlag" (insbesondere "Felssturz") von einem Schutzobjekt. Der notwendige Platzbedarf ist gross.

Bei der Anordnung von Schutzwällen ist der Einfluss der Umlenkung auf tiefer liegende Anlagen genau zu untersuchen.

Nicht gefährdete Gebiete können durch unsachgemäss ausgeführte Wälle einer neuen Steinschlaggefahr ausgesetzt werden.

5.2.18 Galerien

Galerien leiten Steinschläge (auch Lawinen) über die Verkehrsträger.

Durch die Anordnung von Galerien können tieferliegende Anlagen gefährdet werden (vgl. Abschnitt 5.2.17).

Galerien eignen sich längs Abschnitten mit sehr kurzen Wiederkehrperioden.

5.2.19 Ueberwachungsgeräte

Die Ueberwachung, meistens mit speziellen Geräten, gehört zu den passiven Schutzmassnahmen.

Sie sollen Bewegungen im Fels feststellen und Gefahr anzeigen, aber nicht verhindern. Auf dem Markt sind verschiedene Geräte erhältlich.

Die Gerätetypen sind nach der Gefährdung auszuwählen. Verschiedene Gerätetypen lösen beim Erreichen kritischer Verformungswerte optischen oder akustischen Alarm aus. Diese Gerätetypen eignen sich für die Ueberwachung einzelner Felsblöcke. Ihre Anwendung ist aber mit einigen Problemen behaftet:

"Die als kritisch betrachteten Verformungen müssen vorgegeben und eingestellt werden. Die Standorte der Messpunkte müssen repräsentativ liegen.

Bei Alarmauslösung, dh. bei Erreichen der vorgegebenen kritischen Verformung, ist es noch nicht sicher, dass der Absturz unmittelbar bevorsteht und nur kurzfristig Strassen gesperrt oder Häuser evakuiert werden müssen. Die Geräte müssen intensiv kontrolliert und überwacht werden."

Die Anordnung von Ueberwachungsgeräten kann aber trotzdem sinnvoll sein. Die Interpretation der Verformungen (zunehmend, beschleunigt, abklingend) ergibt zusätzliche Erkenntnisse über den Zustand einzelner Felspartien.

Es besteht auch die Möglichkeit Geräte einzubauen, welche nach erfolgtem Felsabsturz den gefährdeten Strassenabschnitt mittels Lichtsignalanlagen sofort sperren (bei Bahnen: zB. Unterbrechung der Stromzufuhr). Diese Art ist geeignet, wenn zwischen dem Auslösen des Alarms im Einzugsgebiet und dem Erreichen der Strasse eine genügend lange Zeitspanne verstreicht. Sie können zur Ueberwachung ausgedehnter Einzugsgebiete verwendet werden.

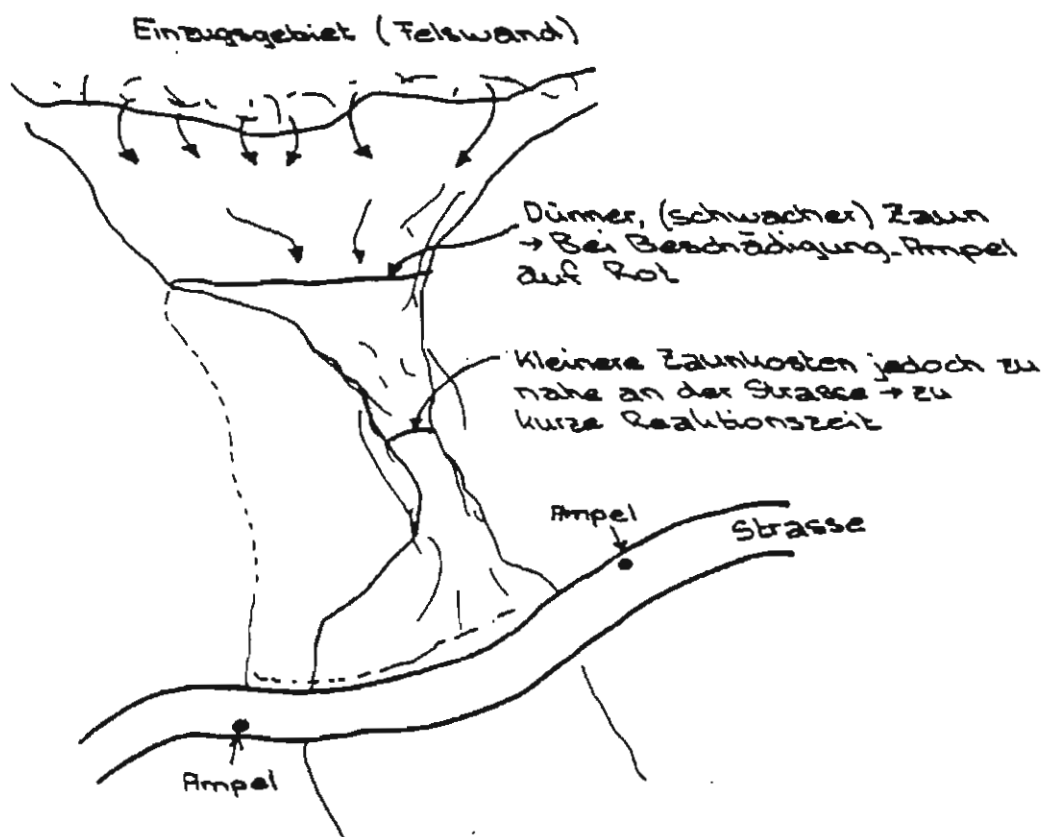


Fig. 20

Beispiel für Anordnung eines Ueberwachungs-
zaunes

5.3 Bemessung und Konstruktion von Schutzwänden

5.3.1 Bestimmung des Energieaufnahmevermögens

Bei der im Bauingenieurwesen üblichen Statik wird auch die mit der Zeit veränderliche Belastung, zB. die Nutzlast, als eine Kraft angesehen, die in jedem Zeitpunkt mit dem inneren Widerstand des Tragwerks im Gleichgewicht steht. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, dass die Belastung so langsam aufgebracht und abgebaut werde, dass bei auftretenden (kleinen) Bauwerksbewegungen keine Trägheitskräfte entstehen. In der Dynamik werden nun diese Massenträgheitskräfte mitberücksichtigt.

Die von der Schutzkonstruktion elastisch und plastisch aufnehmbare Verformungsenergie bestimmt die Grösse des aufnehmbaren kurzfristigen Belastungsstosses.

Bei den Schutzwänden handelt es sich um zusammengesetzte Tragsysteme, bestehend aus Schutzwandfläche, Stützen, Foundation usw. (vgl. Fig. 21). Das Energieaufnahmevermögen ist von den einzelnen Konstruktionsteilen sowie von deren Zusammenwirken abhängig.

Für die näherungsweise Bestimmung der Belastbarkeit von Schutzwänden sind Vereinfachungen zu treffen:

- Vernachlässigung der Masse der (leichten) Schutzwand
- Aufteilung der Schutzwand in die einzelnen Konstruktionsteile
- Idealisierung der Kraft-Weg-Diagramme

Diese Vereinfachungen sind zulässig, da bei Schutzwänden die vorgängige Festlegung der zu erwartenden Blockgrössen und Flugbahnen, zur Bestimmung der Auftreffenergie weit weniger genau erfolgen kann.

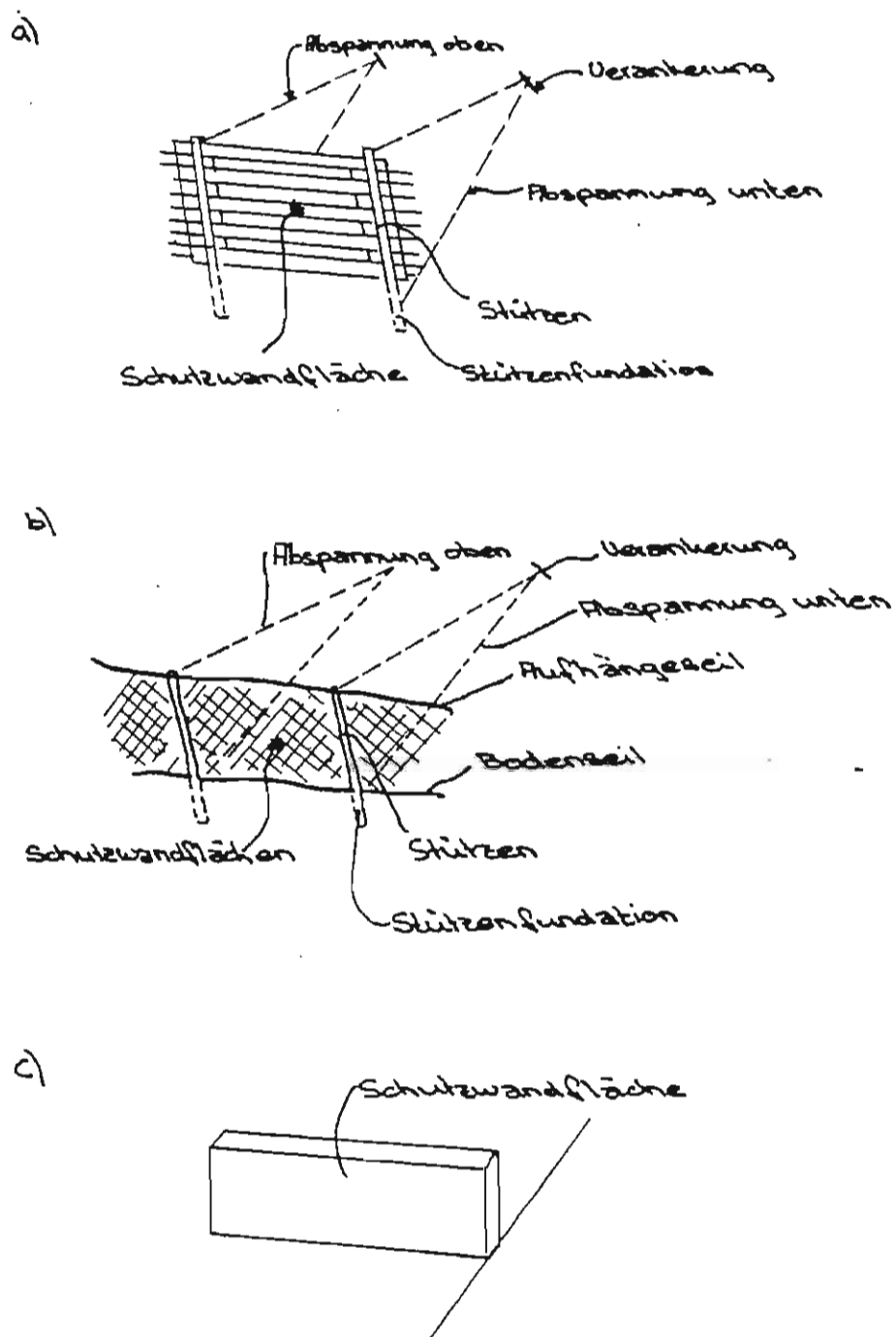


Fig. 21

Schutzwände aus a) Eisenbahnschwellen
b) Netzen
c) Beton

Das Energieaufnahmevermögen wird mit einer Energiebetrachtung ermittelt. Die Auftreffenergie des Blockes mit der Masse m und der Geschwindigkeit v beträgt:

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

Die Absorbierung der Auftreffenergie erfolgt durch die elastisch-plastische Deformierbarkeit des Systems (innere Verformungsarbeit).

Die Bemessungsbedingung lautet:

Auftreffenergie $\leq$ innere Verformungsenergie

Die Auftreffenergie ist durch die gewählten Blockgrößen und Flugbahnen gegeben.

Das Energieaufnahmevermögen der Schutzwand wird durch das Kraft-Weg-System bestimmt.

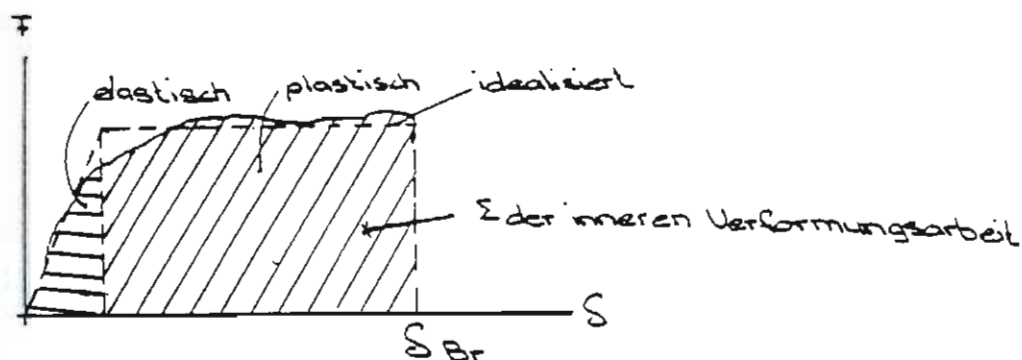


Fig. 22

Kraft-Weg-Diagramm des Systems

Die schraffierte Fläche unter der Kurve (Integral) entspricht der möglichen aufnehmbaren inneren Verformungsarbeit. Je nach Aufprallort weist diese Kurve einen anderen Verlauf auf.

Entsprechend der getroffenen Vereinfachung, die verschiedenen Konstruktionsteile einzeln zu untersuchen, kann für jeden Konstruktionsteil das Kraft-Weg-Diagramm einzeln bestimmt werden.

Der Anteil der elastischen Verformungsarbeit ist im Vergleich zur plastischen Verformungsarbeit sehr klein (vgl. Fig. 22). Dieser Umstand führt dazu, dass aus wirtschaftlichen Ueberlegungen nicht streng nach Definition zwischen "Gebrauchs"- und "Grenzbelastung" unterschieden werden kann. Für die Auftreffenergie (Gebrauchslast) ist daher eine theoretische Sicherheit von 2.0 einzuhalten.

Die teilweise Zulassung plastischer Deformationen, auch unter Gebrauchslast, führt bei Schutzwänden dazu, dass sie zu unterhalten und regelmässig auf Beschädigungen zu überprüfen sind.

Die getroffenen Vereinfachungen erlauben nur in einfachen Fällen (einfache statische Teil-Systeme) die innere Verformungsarbeit genügend genau zu bestimmen. Genauere und zuverlässigere Werte erhält man bei der Durchführung von Versuchen am Teil- oder Gesamtsystem.

In Fig. 23 ist die aus Versuchen bestimmte innere Verformungsarbeit für Eisenbahnschwellen aus Holz, Drahtgeflecht oder Drahtseilen in Funktion von Fallhöhe und Blockmasse dargestellt (starre Lagerung).

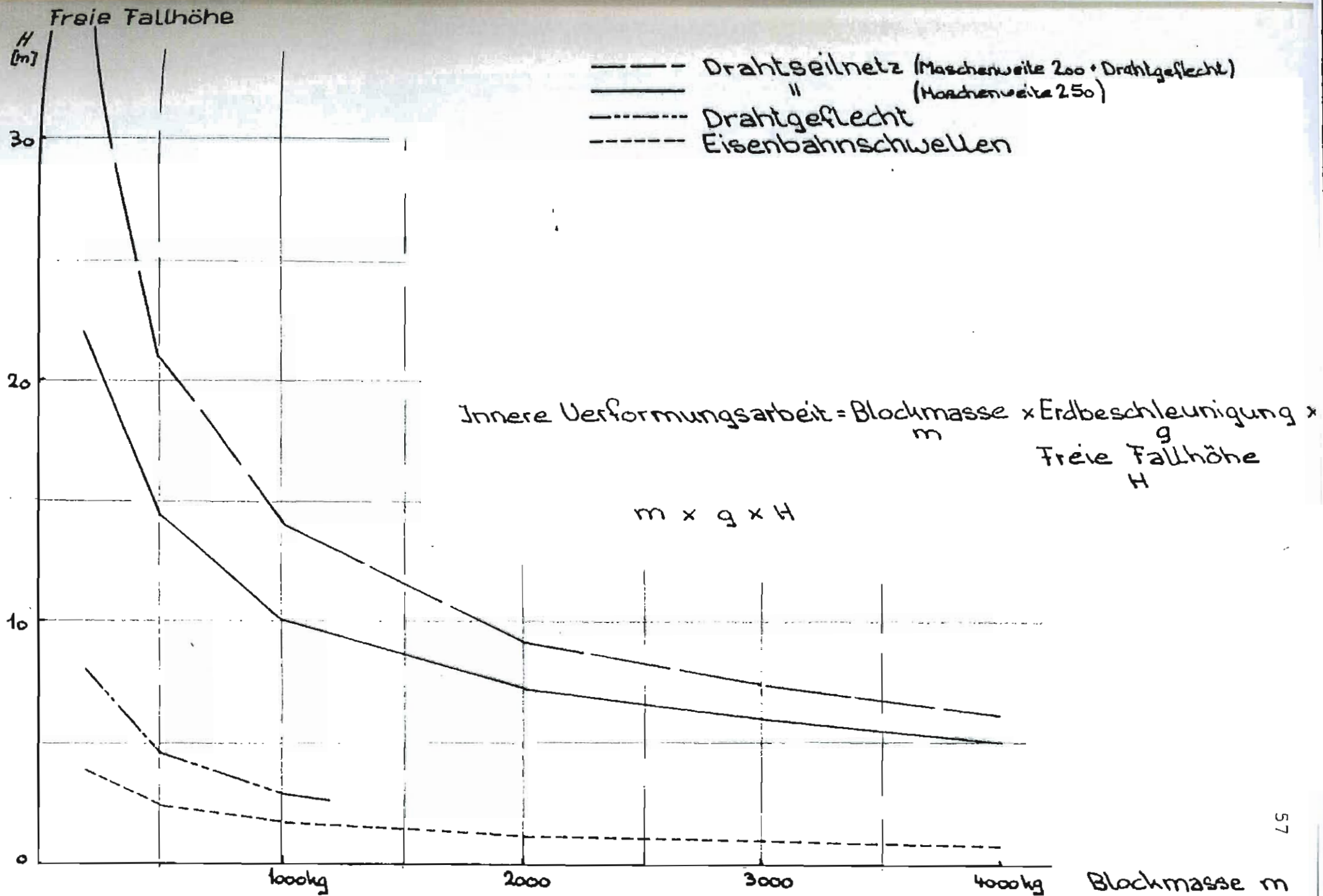


Fig. 23 Innere Verformungsarbeit bei starrer Lagerung (Grundlage: Fallversuche)

Für das Aufbauen eines Energieaufnahmevermögens ist es nicht zwingend, dass die Auftreffenergie in der Schutzwandfläche allein absorbiert wird. Es darf irgendwo in der Schutzwand ein "Dämpfungselement" angeordnet werden, welches durch innere Verformungsarbeit diese Aufgabe erfüllen kann (vgl. Fig. 24).

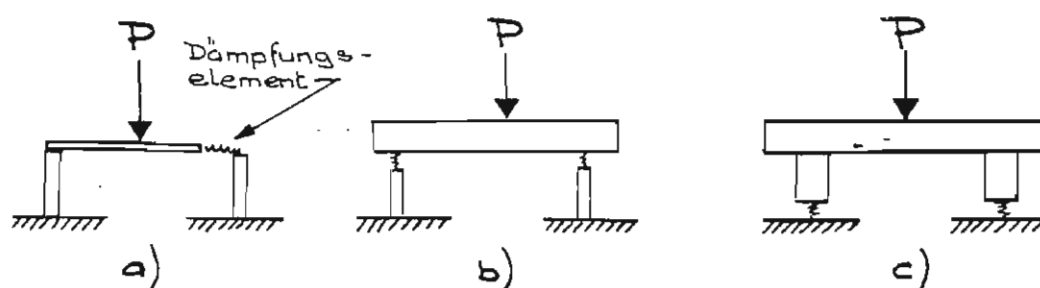


Fig. 24

Unterschiedliche Anordnung des Dämpfungselementes

- a) Dämpfungselement in der Schutzwandfläche
- b) Dämpfungselement in der Abstützung
- c) Dämpfungselement in der Foundation

Wichtig ist, dass die wirkenden Reaktionskräfte auf andere Bauteile übertragen und in die Foundation abgeleitet werden können.

Die Schutzwand ist so zu bemessen, dass die ganze Konstruktion ausgewogen ist. Die Auftreffenergie soll an irgend einer möglichen Stelle der Schutzwand aufgenommen und absorbiert werden können. Stützen, Abspannungen usw. müssen also nicht nur die Reaktionskräfte bei Treffern auf die Schutzwandfläche in den Boden weiterleiten, sondern sie müssen auch bei Direkttreffern die Auftreffenergie alleine aufnehmen, oder alleine ausfallen können.

5.3.2 Bemessung der Schutzwandfläche

Die Hauptaufgabe der Schutzwandfläche besteht darin, die abstürzenden Blöcke aufzufangen und die entstehenden Reaktionskräfte an die Stützen und Abspannungen weiterzuleiten.

5.3.2.1 Schutzwandfläche aus Holz (Eisenbahnschwellen)

Bei Schutzwandflächen aus Holz (Eisenbahnschwellen, Rundholz, Kantholz) handelt es sich um die gebräuchlichste Art von Schutzmassnahmen gegen Steinschlag (vgl. Fig. 25).

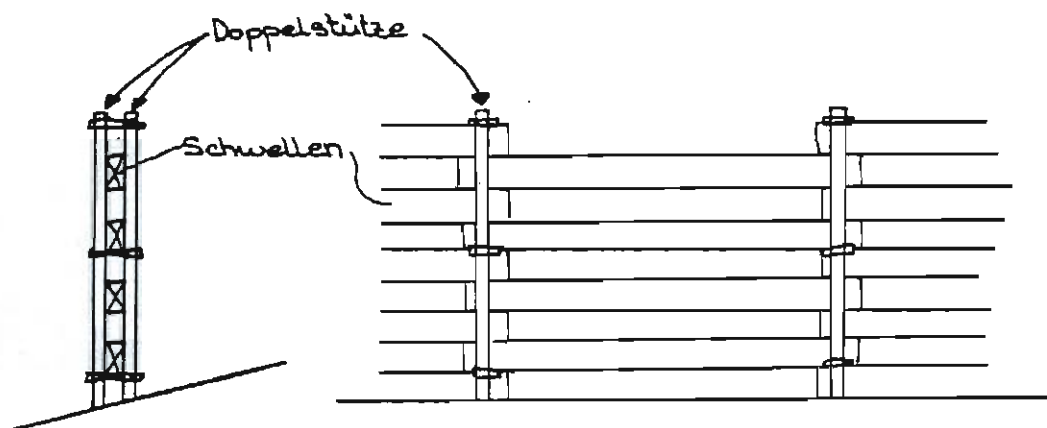


Fig. 25 Schutzwandfläche aus Holz (Eisenbahnschwellen)

Die innere Verformungsarbeit für Eisenbahnschwellen aus Holz ist aus Fig. 26 ersichtlich.

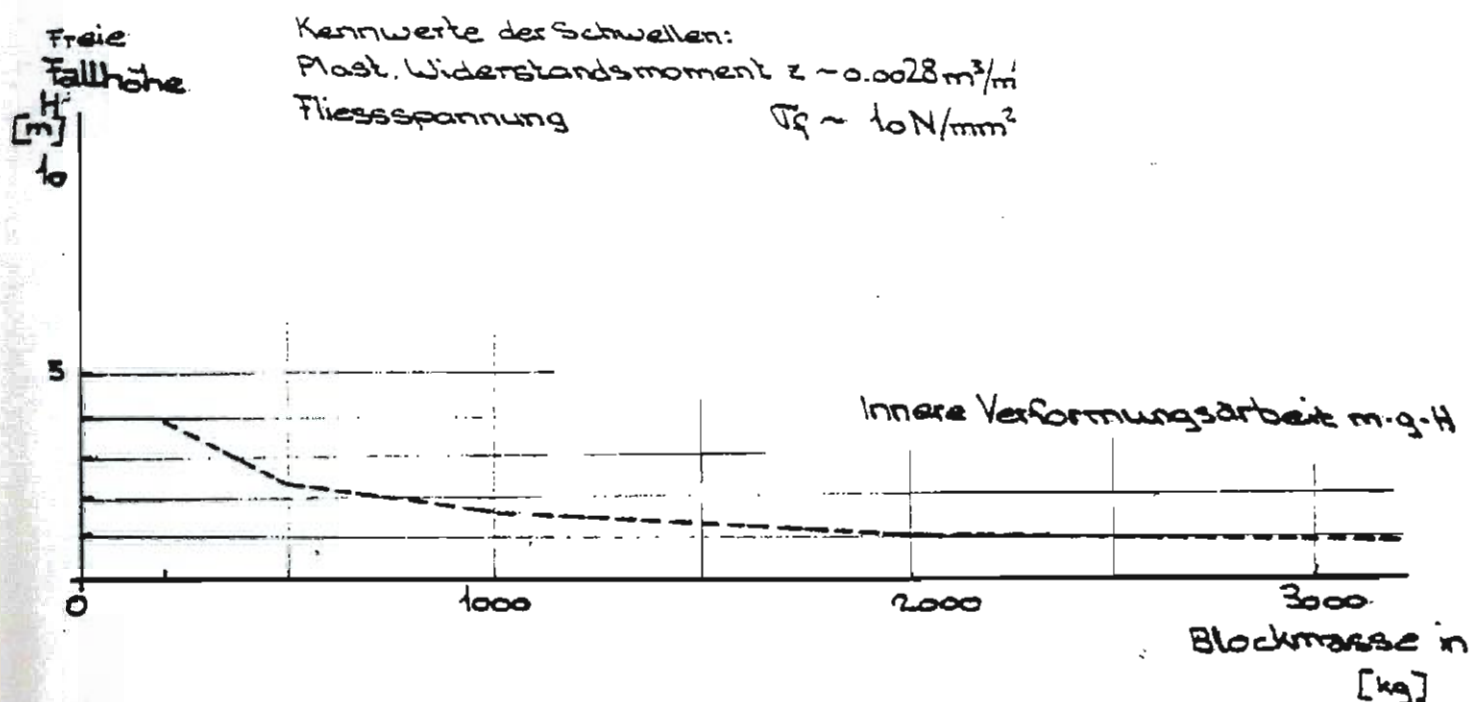


Fig. 26

Innere Verformungsarbeit von Eisenbahnschwellen bei starrer Lagerung

Die innere Verformungsarbeit ist relativ bescheiden, jedoch - wie die Praxis zeigt - vielfach ausreichend. Bedingt durch die Schwellenlänge, sind viele Stützen und Foundationen erforderlich.

Umrechnung für andere Holzquerschnitte:

Die innere Verformungsarbeit darf für andere Holzquerschnitte im Verhältnis der plastischen Widerstandsmomente und der Fließspannung umgerechnet werden.

Beispiel:

Gegeben: Blockmasse max. 500 kg

Eisenbahnschwellen liegend angeordnet

Holzschwellen mit Abmessungen 150/250 mm

Gesucht: Zulässige freie Fallhöhe, Auftreffenergie

$$Z \sim \frac{3 \cdot 0.15 \cdot 0.25^2}{4} = 0.0070 \text{ m}^3 \text{ (plast. Widerstandsmoment)}$$

$$\sigma_f = 10 \text{ N/mm}^2 \text{ (keine Veränderung)}$$

$$\rightarrow H_{\text{neu}} \sim H \cdot \frac{0.007}{0.0028} = 2.5 \cdot H$$

$$H = 2.4 \text{ m (siehe Fig. 26)}$$

$$H_{\text{neu}} = 2.5 \cdot 2.4 \text{ m} = 6.00 \text{ m}$$

=====

Zulässige Auftreffenergie bei liegenden Schwellen

$$= 6.00 \cdot 0.5 \cdot 9.81 = 30 \text{ kNm}$$

=====

5.3.2.2 Schutzwandfläche aus Drahtgeflechten

Drahtgeflechte werden zur Fixierung durch Aufhänge- und Bodenseile ergänzt. Diese werden an die Stützen montiert (vgl. Fig. 27).

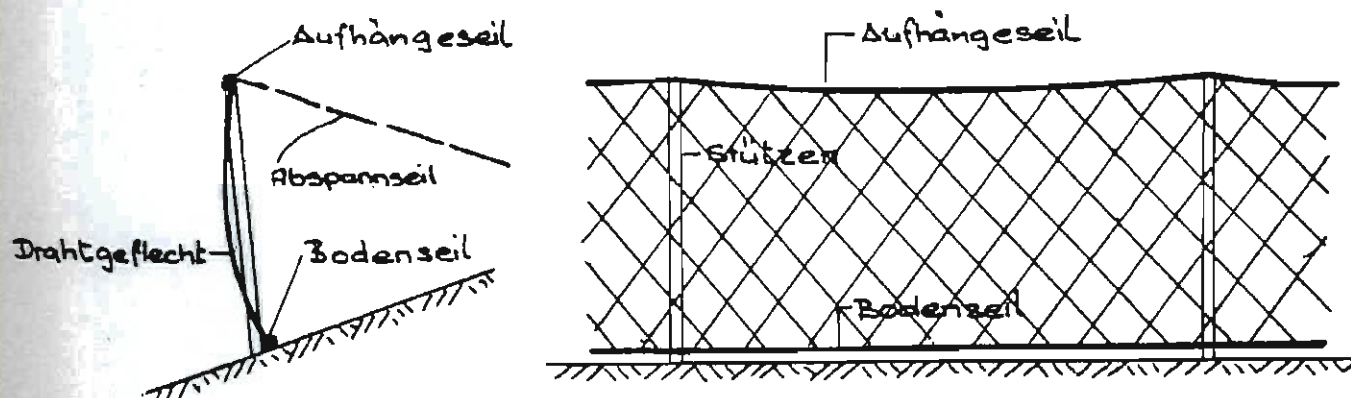


Fig. 27

Drahtgeflecht mit Aufhänge- und Bodenseilen

Im Gegensatz zu den Schwellensicherungen können die Stützenabstände je nach Verwendungszweck (temporär, permanent) und Terrainverlauf variiert werden.

Die innere Verformungsarbeit geht aus Fig. 28 hervor.

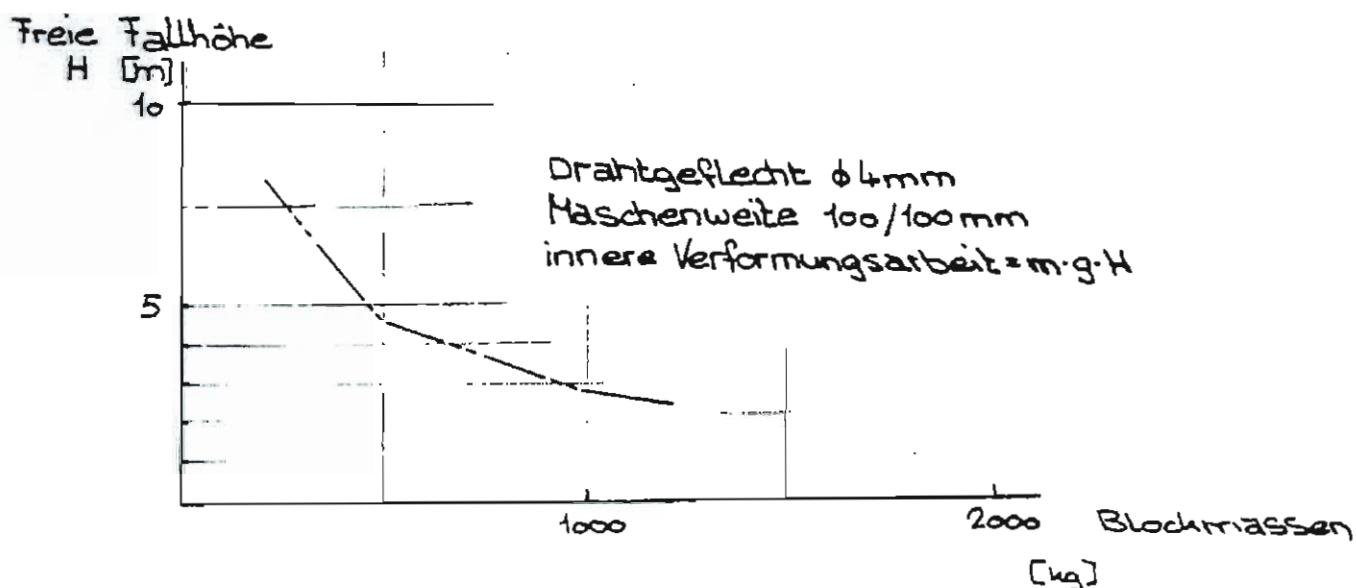


Fig. 28 Innere Verformungsarbeit von Drahtgeflechtem bei starrer Lagerung

Der Anteil der elastischen Verformungsarbeit ist bei Schutzwänden aus Drahtgeflechtem gering. Durch die plastischen Verformungen bilden sich bald Säcke (vgl. Fig. 29).

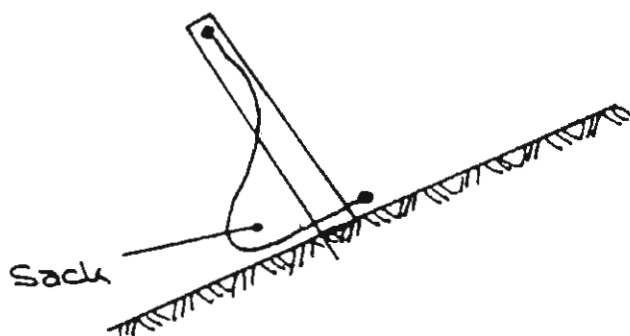


Fig. 29 Sackbildung bei Drahtgeflechtem

Aus Gründen der Ausgewogenheit soll bei Treffern direkt auf das Aufhängeseil etwa dieselbe Auftreffenergie absorbiert werden können, wie bei Treffern in die anschliessende Schutzwandfläche aus Drahtgeflecht. Die Aufhängeseile müssen somit in der Lage sein, die Auftreffenergie selber zu absorbieren oder die Energie an die Stützen und Abspannseile weiterzuleiten.

Absorption der Auftreffenergie im Aufhängeseil

Damit die Energieaufnahme längs dem Seil gewährleistet ist, sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Seillänge L für die Bestimmung der inneren Verformungsarbeit darf nicht länger als der Stützenabstand sein (vgl. Fig. 30).

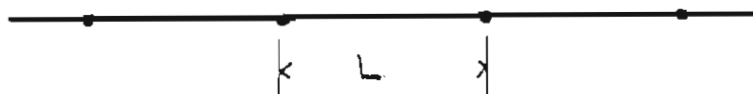


Fig. 30 Seillänge L

- Die erforderliche Bruchkraft im Aufhängeseil muss der Fig. 31 genügen.

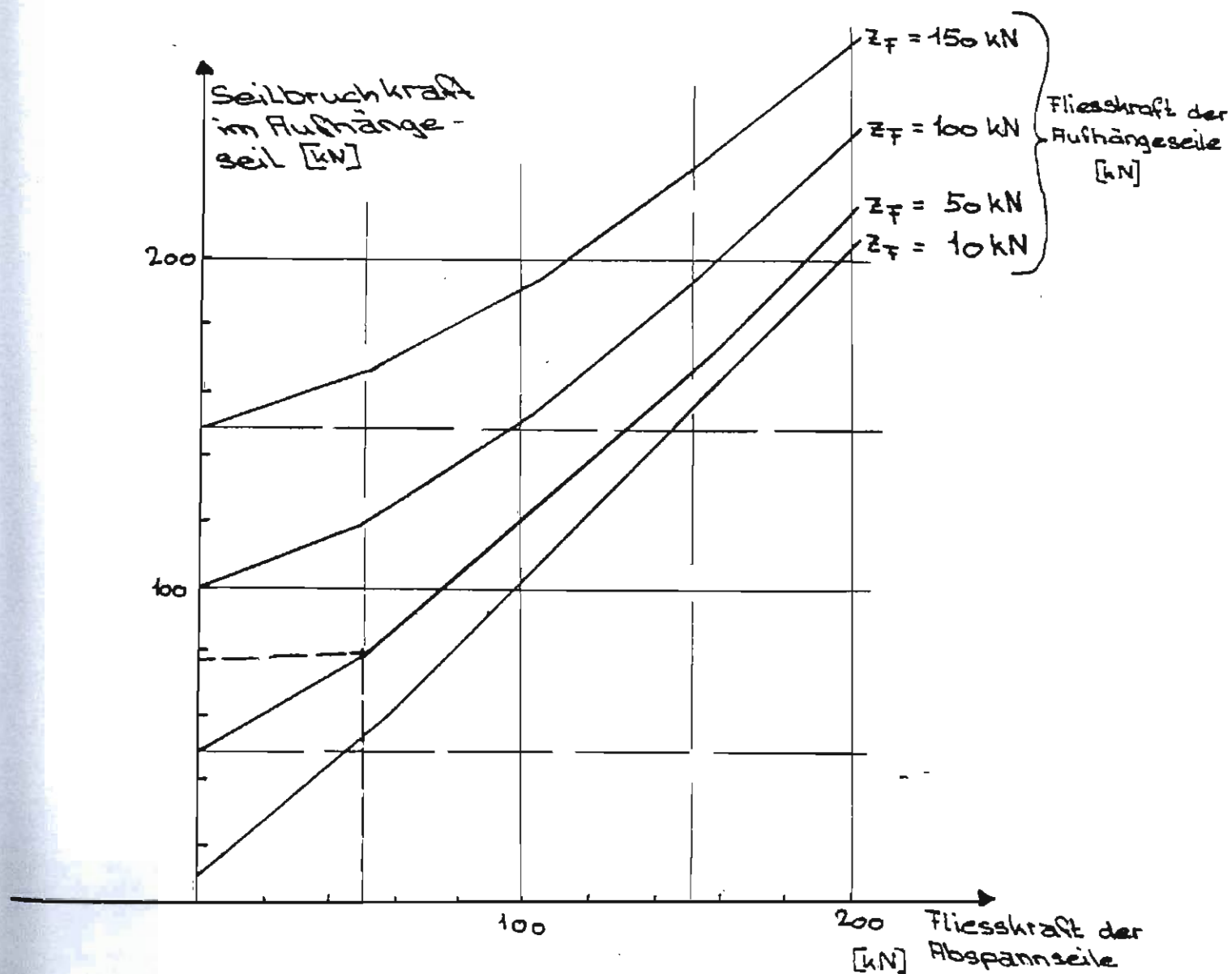


Fig. 31

Dimensionierung Aufhängeseil bei Absorption der Auftreffenergie

Die innere Verformungsarbeit des Aufhängeseiles, mit der Seillänge L , kann analog dem Abschnitt 5.3.5 (Stützenabspannung) bemessen werden.

Weiterleitung der Auftreffenergie an die Stützen und Ab-
spannseile

Zur Weiterleitung der Auftreffenergie müssen die Aufhängeseile
die Bruchkräfte gemäss Fig. 32 aufweisen.

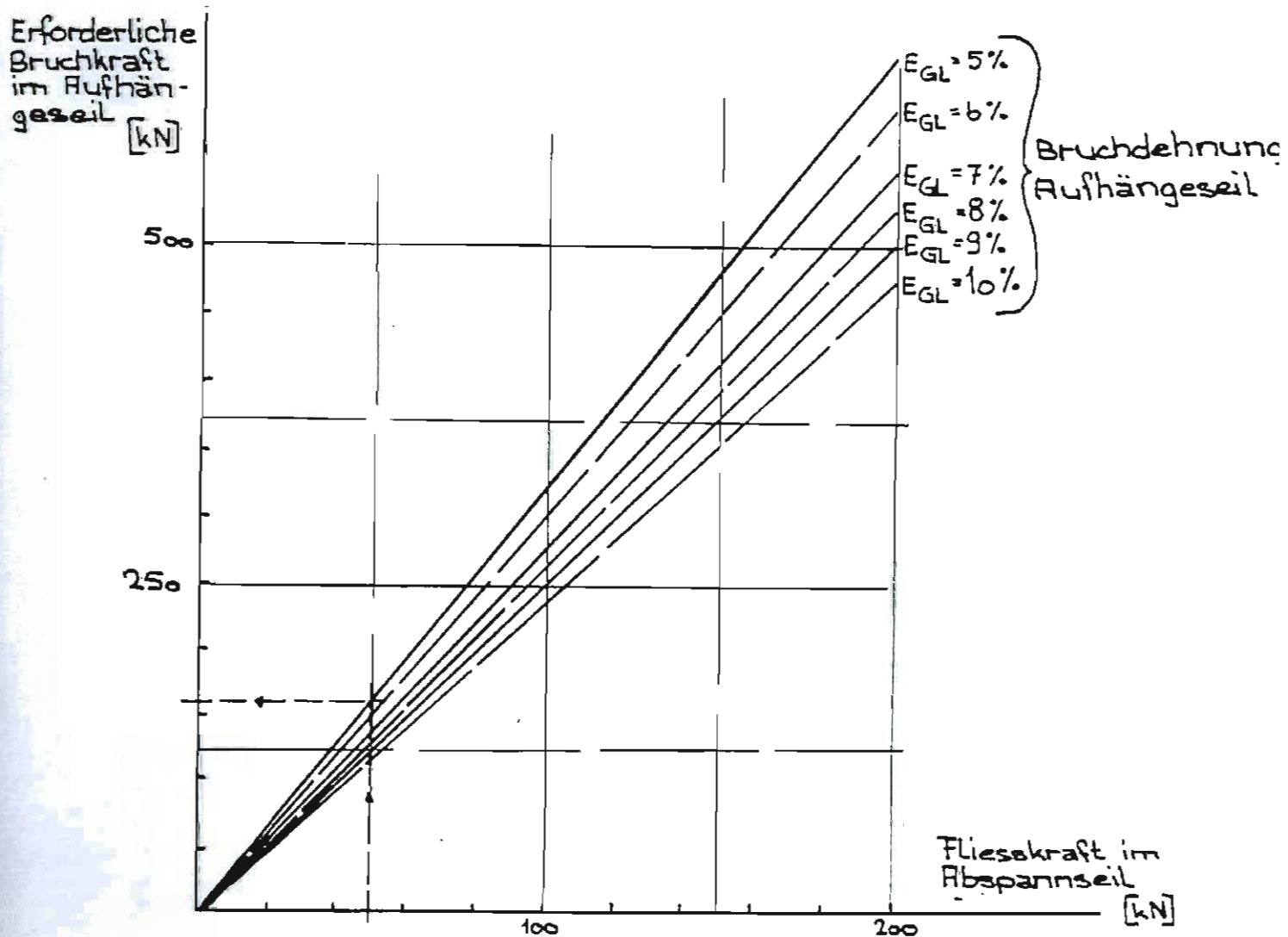


Fig. 32

Dimensionierung Aufhängeseil bei Weiterleitung
der Auftreffenergie

In Funktion der vorhandenen Spannung im Aufhängeseil und dem gewählten Stützenabstand, bildet sich ein Seildurchhang. Die erforderliche Seilkraft bestimmt sich zu:

$$\text{Seilkraft} = \frac{\text{Moment}^{1)}}{\text{Seildurchhang}}$$

Die für die Reduzierung des Seildurchhanges aufgebraachte Zugkraft darf bei der Bestimmung der inneren Verformungsarbeit des Aufhängeseils nicht mehr berücksichtigt werden.

Bodenseile

Die Bemessung der Bodenseile entspricht der Bemessung der Aufhängeseile. Das Bodenseil wird je nach Fundationsart der Stützen beim, vor oder hinter dem Stützenfuss verlegt. Das Bodenseil muss den Terrainunebenheiten folgen können, damit Blöcke die Sicherung nicht unterfahren. Das Bodenseil darf deshalb nicht zu stark gespannt werden. Bei kleineren Mulden ist es mittels Bodennadeln in den Boden zu verankern (vgl. Fig. 33).

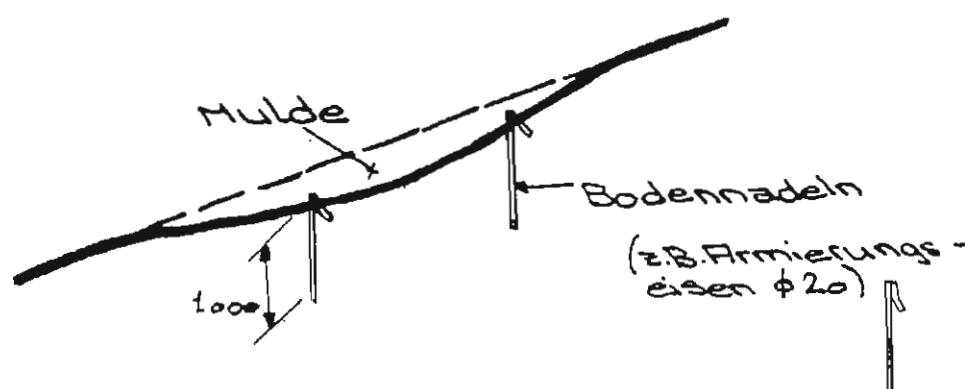


Fig. 33

Anordnung von Bodennadeln

1) aus Seileigengewicht

5.3.2.3 Schutzwandfläche aus Drahtseilnetzen

Prinzipiell entsprechen Schutzwandflächen aus Drahtseilnetzen den Schutzwandflächen aus Drahtgeflecht. Ihre innere Verformungsarbeit ist jedoch bedeutend grösser (vgl. Fig. 34).

Freie
Fallhöhe H

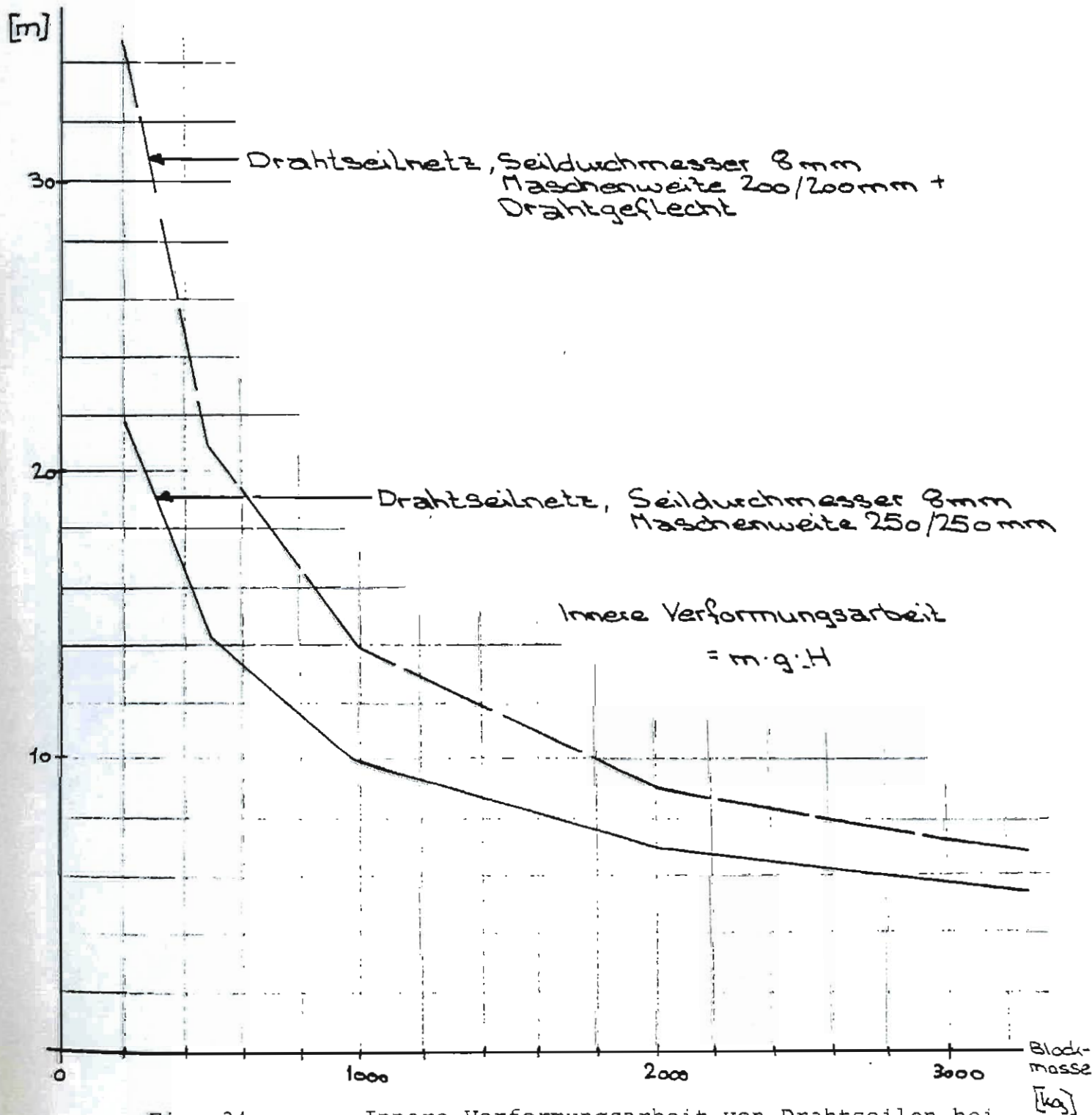


Fig. 34

Innere Verformungsarbeit von Drahtseilen bei
starrer Lagerung

Einzelne Netze werden durch Verbindung mit Schäkeln oder Nahtseilen zu beliebigen Flächen zusammengefügt (vgl. Fig. 35).

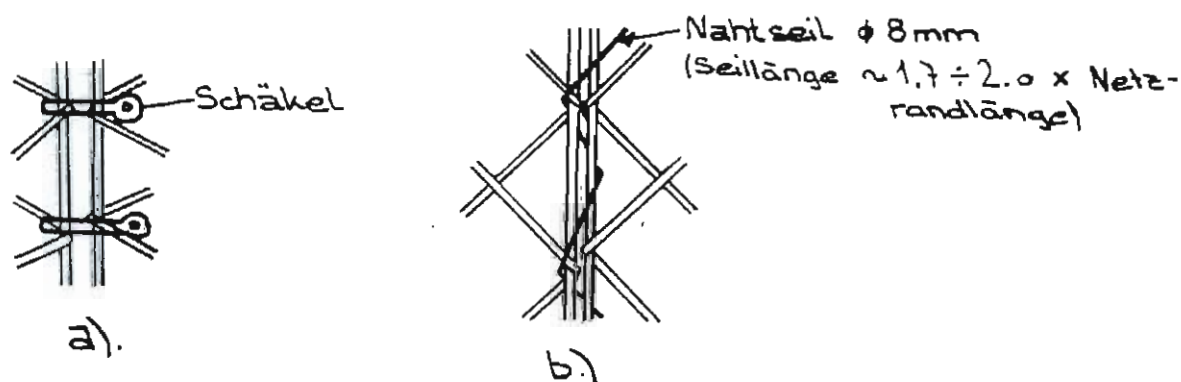


Fig. 35 Netzverbindungen a) mit Schäkeln, b) mit Nahtseil

Drahtseilnetze weisen im Gegensatz zu den Drahtgeflechten keine extreme Sackbildung auf. Sie können auch bei kurzen Wiederkehrperioden angeordnet werden.

Die kritische Stelle liegt bei den Netzen bei der Ausbildung ihrer Knotenverbindungen. Beim Aufschlag einzelner Blöcke können diese weggeschlagen oder verschoben werden. Der auftreffende Block wird dann nicht aufgehalten, sondern er schlüpft durch (vergrösserte Maschenweite). Durch das Anbringen eines Drahtgeflechtes (zB. $\phi 2 \text{ mm}$, MW 50/50) wird diese Schwachstelle verbessert. Auch zum Schutz gegen kleine Steine ist ein zusätzliches Drahtgeflecht zu empfehlen. Das Drahtgeflecht muss mit dem Netz ausreichend verbunden werden.

Die Bemessung der Aufhänge- und Bodenseile entspricht dem Abschnitt 5.3.2.2.

5.3.2.4 Schutzwandfläche aus Beton

Schutzwandflächen aus Beton sind sehr starr. Die innere Verformungsarbeit, verbunden mit grossen Reaktionskräften, ist bescheiden.

Unter Benützung von Dämpfungselementen (Polster usw.) können Schutzwände aus Beton jedoch auch gegen grosse Auftreffenergien konstruiert werden.

Ueblicherweise werden solche Konstruktionen nur zum Aufhalten von abrollenden Steinen bzw. als Bestandteil von Schutzwällen angeordnet.

5.3.2.5 Konstruktive Angaben

- Staffellung: Lange Schutzwände sind in einzelne Abschnitte zu unterteilen. Sie sind, sofern es die Örtlichkeiten erlauben, gegeneinander zu versetzen (vgl. Fig. 36).

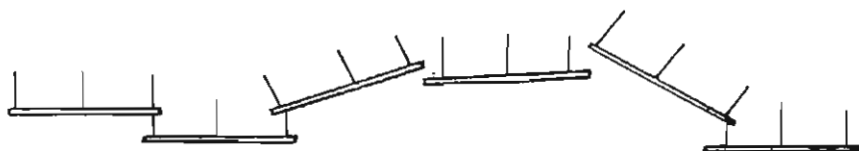


Fig. 36 Auflösung, Staffellung der Schutzwände

Dadurch wird die Begehrbarkeit nicht eingeschränkt und vorhandene Wildwechsel nicht unterbunden.

- Ueberlappung: Damit die Blöcke die einzelnen Sicherungsabschnitte nicht umrollen können, bedingt die Staffelung eine Ueberlappung der einzelnen Abschnitte. Die Ueberlappung ist gemäss Fig. 37 auszubilden.

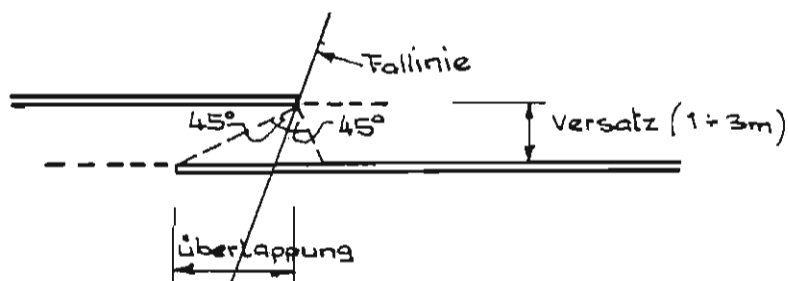


Fig. 37 Ueberlappung der Schutzwandflächen

- Unterfahren: Damit die Schutzwände nicht unterfahren werden, sind sie entsprechend Fig. 38 auszubilden.

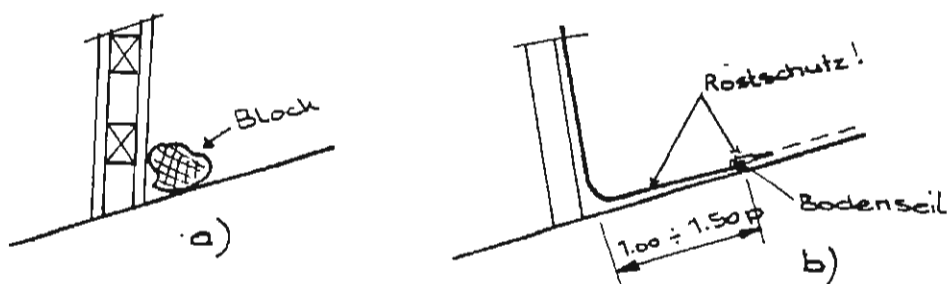


Fig. 38 Fussausbildung von Schutzwänden bei
a) Schwellenverbauung
b) Netzverbauungen

Bei Schutzwänden aus Schwellen, sind vorhandene grosse Oeffnungen im Bereich des Fusses mit einzelnen Blöcken zu schliessen.

Netze und Geflechte sollen mit dem Terrain überlappen. Bei coupiertter Oberfläche ist die Ueberlappung zu vergrössern, damit auch in Mulden eine minimale Ueberlappung vorhanden bleibt.

- Steinpolster: Der bergseitige Aufbau einer Steinpolsterung (vor die Schutzwand) erhöht die zulässige Auftreffenergie der Schutzwand.

Die Beschränkung dieser Massnahme auf die Schwachstellen (Stützen) ist angebracht, da der Aufbau der Steinpolster arbeitsintensiv ist. Zu beachten ist, dass durch die Steinpolster - bei Bruch - zusätzlicher Steinschlag ausgelöst werden kann.

- Aufhänge- und Bodenseile: Die Drahtseile sind vor kantigen Auflagern zu schützen, damit sie bei Belastung nicht beschädigt werden. Beim Anschluss an Stahlstützen sind sie mit Kauschen zu versehen oder die Stützen sind entsprechend auszubilden.

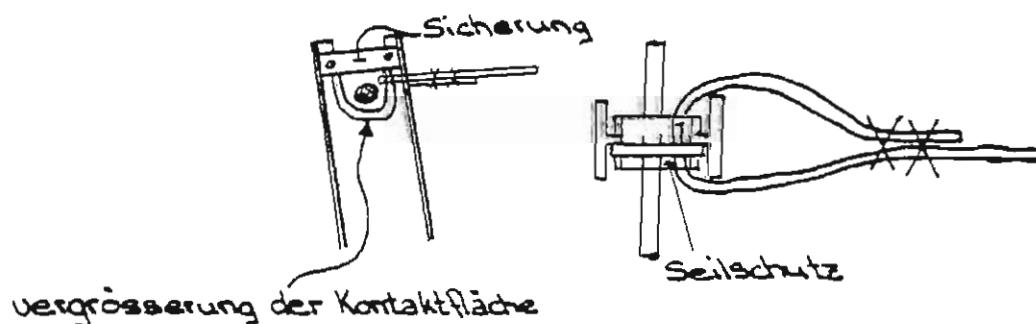


Fig. 39 Seilschutz

Die Seilverbindungen sind gemäss den Angaben im Abschnitt 5.3.5 auszubilden.

- Netzstellung: Die Schutzwände aus Netzen sollen nicht genau vertikal angeordnet werden. Eine geringe Neigung nach aussen bietet Gewähr, dass die Netze und Geflechte gleichmässig (schöner) an den Aufhängeseilen hängen.
- Verbindung Netz-Geflecht: Die Drahtgeflechte sind mit den Drahtseilnetzen mittels Bindedrähten bei jeder Masche zu verbinden. Bei permanenten Schutzwänden müssen diese verzinkt sein.

5.3.3 Bemessung der Stützen

Die Stützen haben folgende Aufgabe:

- Halten der Schutzwandfläche in der vorgesehenen Lage.
- Ableitung der aus der Schutzwandfläche resultierenden Kräfte auf die Foundation und/oder Abspannung.

Die Ausbildung der Stützen hängt vom Baugrund ab. Man unterscheidet

- eingespannte
- oben abgespannte
- oben und unten abgespannte

Stützen (vgl. Fig. 40).

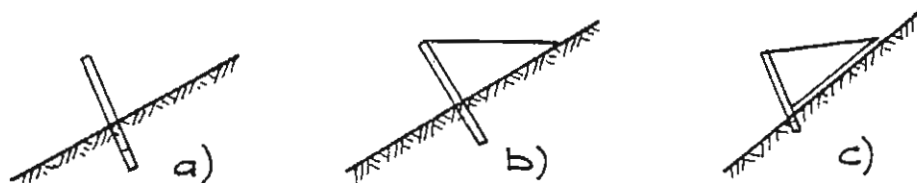


Fig. 40

Stützensysteme a) eingespannt

b) oben abgespannt

c) oben und unten abgespannt

Eingespannte Stützen sind nur bei Fundation in gutem Fels oder in Betonmauern möglich. Die Tragfähigkeit von in Lockergestein eingespannten Stützen wird vielfach überschätzt.

An Böschungskanten kann bei zusätzlicher Rückverankerung (Fig. 41) auf die obere Abspannung verzichtet werden.

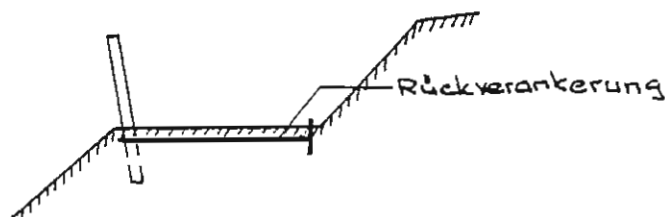


Fig. 41

Fundament-Abspannung an Böschungskanten

Die Stellung der Stützen im Raum ist von verschiedenen Randbedingungen abhängig:

- Stellung rechtwinklig zur Terrainoberfläche:
 - . Bei gegebener Stützenlänge deckt diese Stellung den grössten Flugbereich ab (vgl. Fig. 42).
 - . Rotierende Blöcke können die Sicherung überrollen.

- Stellung vertikal:

- . Ueberrollgefahr sehr gering
- . Anpassung an die Umgebung besser möglich (Wald, Gebäude)
- . Zur Abdeckung eines gegebenen Flugbereiches werden, besonders in steilem Gelände, die Stützen relativ lang (vgl. Fig. 42).

- Optimale Stellung:

- . Die optimale Stellung ist von der Bewertung der einzelnen Randbedingungen abhängig und von Schutzwand zu Schutzwand verschieden. Sie soll aber innerhalb der beiden oben erwähnten Extremstellungen liegen (vgl. Fig. 42).

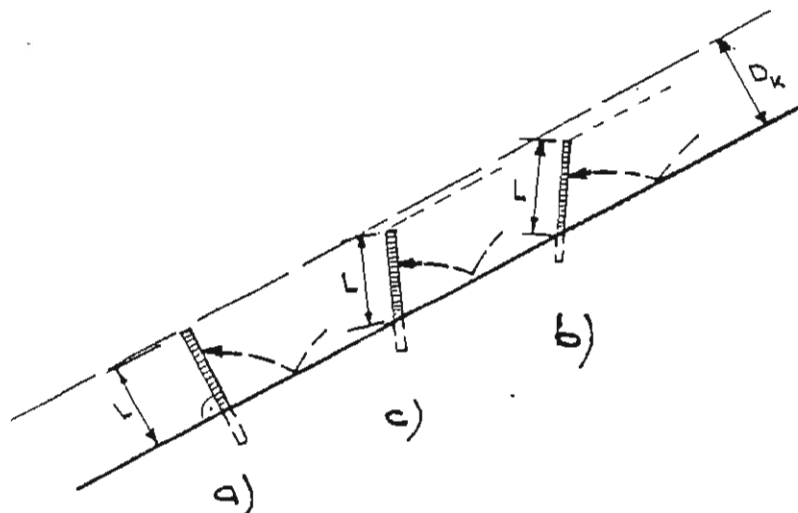


Fig. 42

Verschiedene Stützenstellungen a) rechtwinklig
b) vertikal
c) optimal

Aus Gründen der Ausgewogenheit müssen Stützen auch bei Direkttreffern die Auftreffenergie aufnehmen können (sofern solche möglich sind). Die Stützen müssen aber auch die Reaktionskräfte der Schutzwandfläche infolge statischer Belastung an die Foundation übertragen können.

Bei Schutzwandflächen aus Netzen ist die Knicksicherheit der Stützen (in Querrichtung) bei teilweiser Füllung der Netze durch Steine nachzuweisen.

5.3.3.1 Eingespannte Stützen

Die innere Verformungsarbeit für eingespannte Stahlstützen ist aus Fig. 43 ersichtlich.

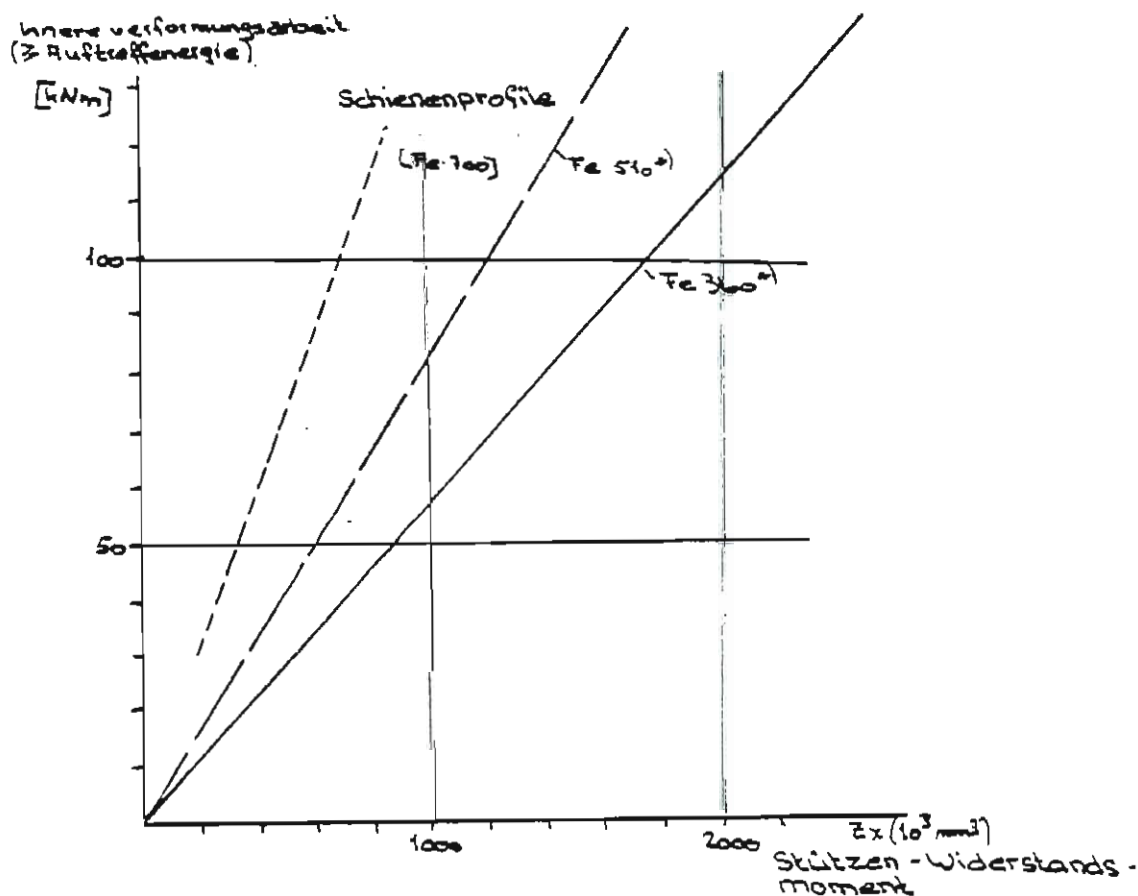


Fig. 43

Dimensionierung eingespannter Stützen

*) Bei Fe 360 und 510 ist die Erhöhung der Fließspannung um 20% infolge dynamischer Belastung berücksichtigt.

Die Werte der Fig. 43 setzen die vollständige Einleitung der Bruchmomente in die Foundation bzw. in den Baugrund voraus.

Die bei Schutzwänden aus Eisenbahnschwellen üblichen Doppelstützen dürfen bei der Bestimmung des Widerstandsmomentes nur als Doppelstützen berücksichtigt werden, wenn die bergseitige Stütze schubfest mit der talseitigen verbunden wird.

Sofern ein Aufprall im Bereich des Stützenfusses erfolgt, werden die Werte der Fig. 43 reduziert. Es stellt sich ein Schubbruch ein. Je nach Profil beträgt die Länge dieser Zone mit reduzierter innerer Verformungsarbeit:

$$\left. \begin{array}{l} \text{HEA/HEB 100: } r \sim 0.30 \text{ m} \\ \text{HEA/HEB 200: } r \sim 0.55 \text{ m} \end{array} \right\} \text{ vgl. Fig. 44}$$

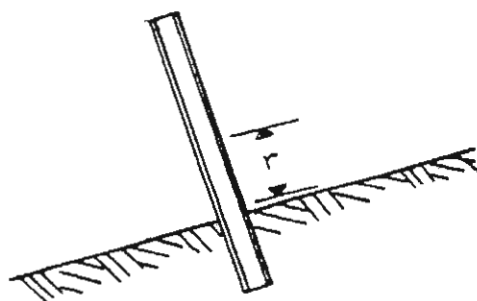


Fig. 44

Stützenbereich mit reduzierter innerer Verformbarkeit

Diese örtliche Reduktion ist zugelassen, da der Flächenanteil des Stützenfusses an der ganzen Schutzwandfläche klein ist. Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers direkt auf den Stützenfuss, bei gleichzeitiger maximaler Auftreffenergie, ist sehr klein.

Durch ein Steinpolster vor dem Stützenfuss, kann diese Energieeinbusse reduziert werden (vgl. Fig. 45).

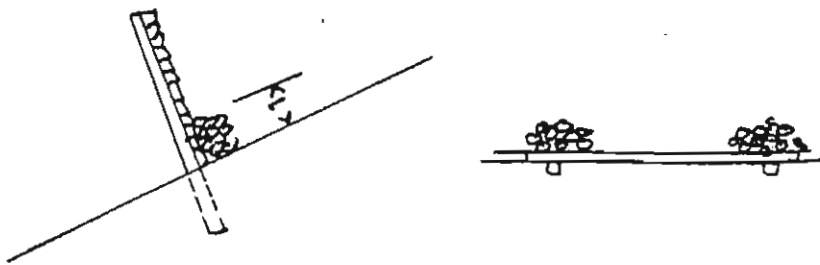


Fig. 45

Steinpolster vor Stützenfuss

5.3.3.2 Abgespannte Stützen

Bei abgespannten Stützen ist es nicht sinnvoll die allfällige Auftreffenergie mit der Stütze selber aufzunehmen. Sie sollen lediglich die Auftreffenergie an die Abspannseile weiterleiten können.

In Fig. 46 sind je nach Stützhöhe und Bruchlast im Abspannseil die erforderlichen Stützen-Widerstandsmomente aufgetragen.

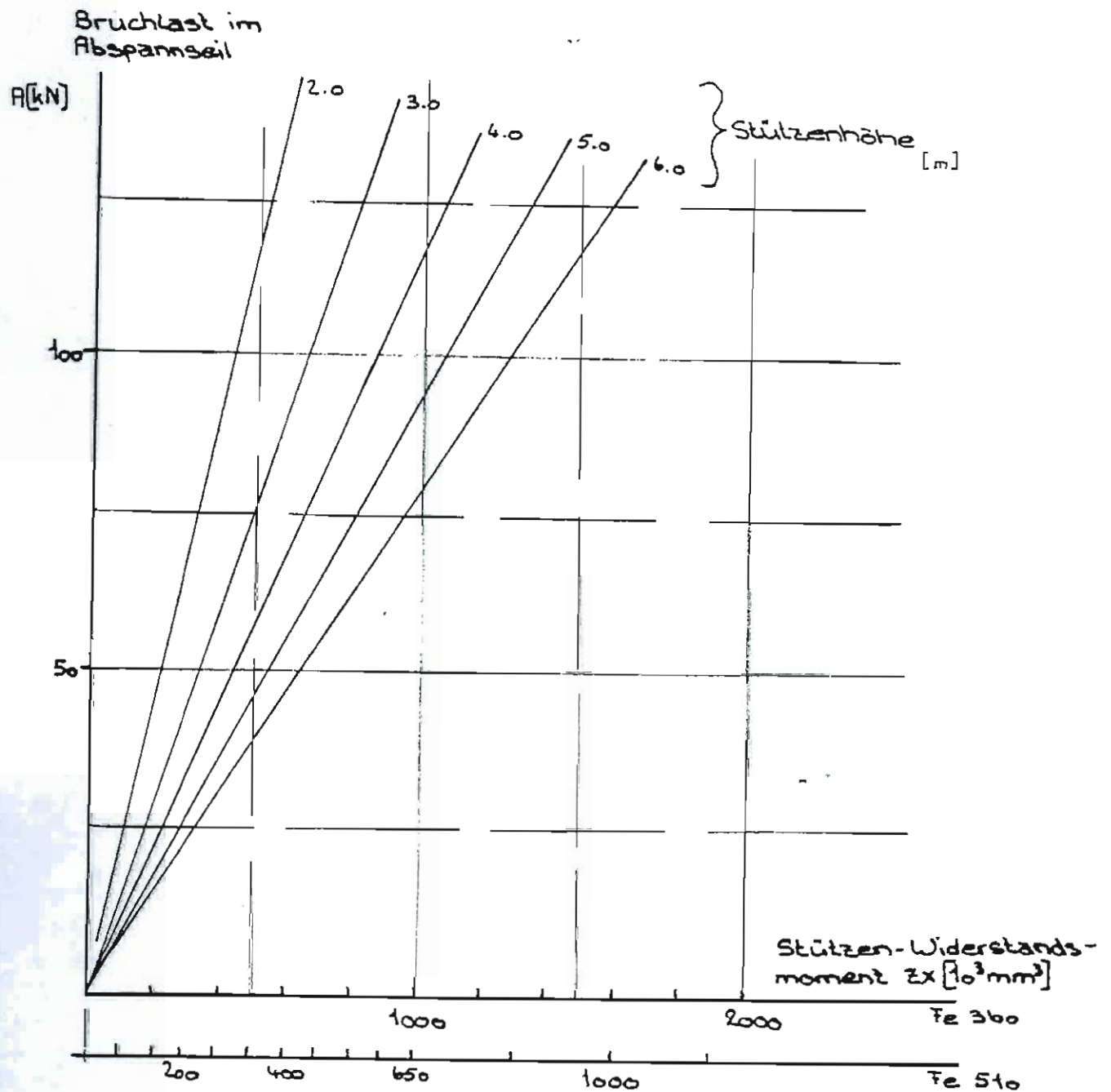


Fig. 46

Dimensionierung abgespannter Stützen

Die Fig. 46 berücksichtigt den Einfluss einer konstruktiven Einspannung des Stützenfusses nicht. Für Doppelstützen und Direkttreffer gelten die Hinweise des Abschnittes 5.3.3.1.

5.3.3.3 Konstruktive Angaben

Die Verwendung der Stahlqualität Fe 510 erlaubt den Gebrauch von leichteren Profilen. Die Gewichtseinsparung bringt Vorteile beim Transport zu den meist schwer zugänglichen Einbauorten.

Bei der Verwendung von Eisenbahnschienen ist darauf zu achten, dass diese nicht mit Schweissungen zusammengesetzt werden. Die Profile würden verspröden und unter schlagartiger Belastung brechen.

Bei permanenten Schutzwänden sind die Stützen zu verzinken und zusätzlich zu streichen.

5.3.4 Bemessung der Stützenfundation

Die Stützenfundation hat die Kräfte, welche aus den Stützen anfallen, in den Baugrund abzutragen. Die Ausbildung der Stützenfundation ist in vielen Fällen für eine Schutzkonstruktion kostenbestimmend.

Die Berechnungen der Stützenfundation sind problematisch und approximativ. Bei Schutzwänden mit vielen Stützenfundamenten lohnen sich Grossversuche im Massstab 1:1.

Die Stützenfundamente sollen so dimensioniert werden, dass bei Ueberbelastung die Stahlstützen und nicht die Fundation zerstört wird.

5.3.4.1 Eingespannte Stützen

- Einspannung in Fels

Die Einbindetiefen für verschiedene Profile gehen aus Fig. 47 hervor.

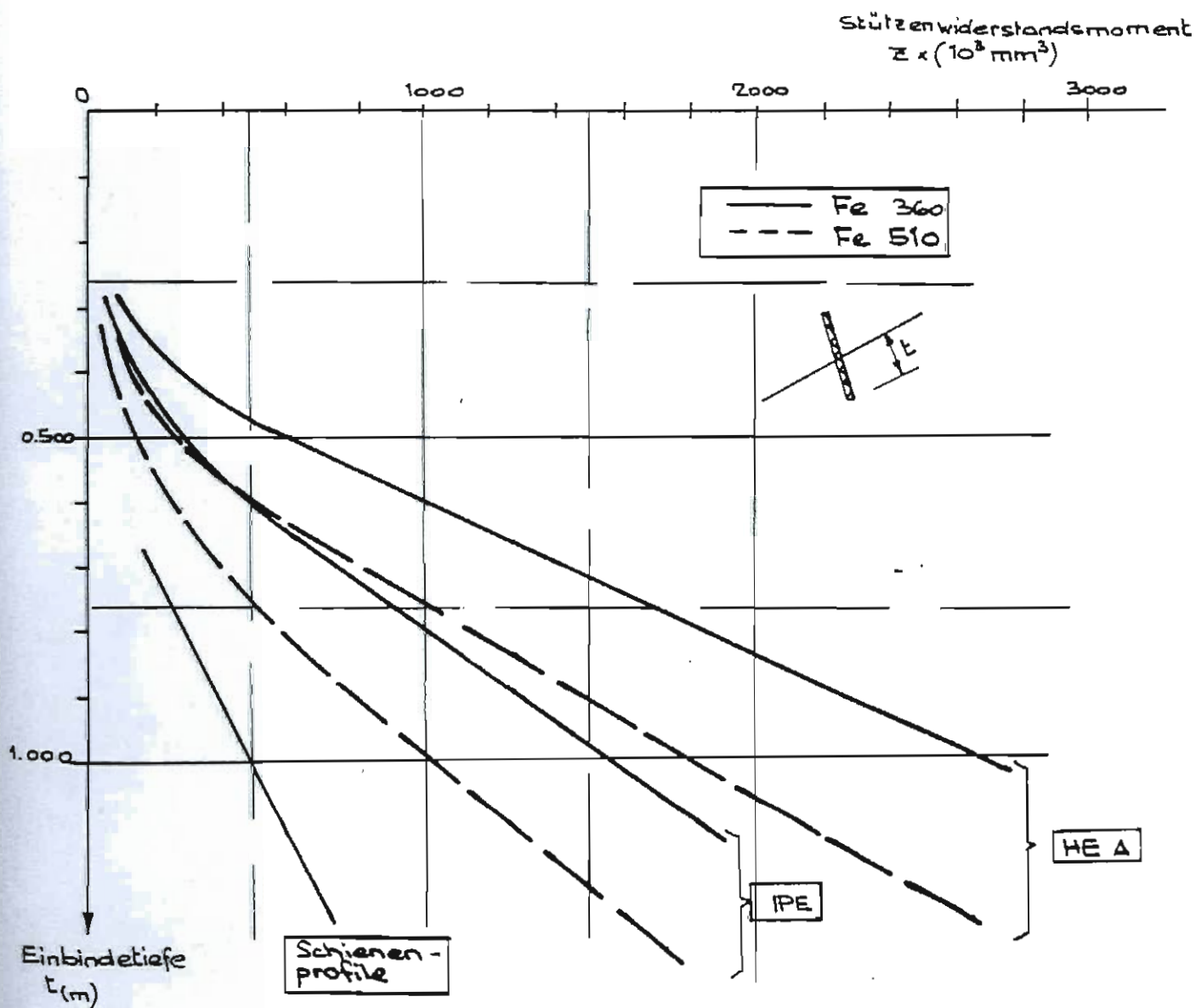


Fig. 47

Erforderliche Einbindetiefe im Fels bei eingespannten Stützen

Die Profile sind in gesundem Fels einzubinden (vgl. Fig. 48). Die verwitterte Felsoberfläche darf nicht mitberücksichtigt werden. Klüfte im unmittelbaren Fundationsbereich sind kraftschlüssig auszugiessen.

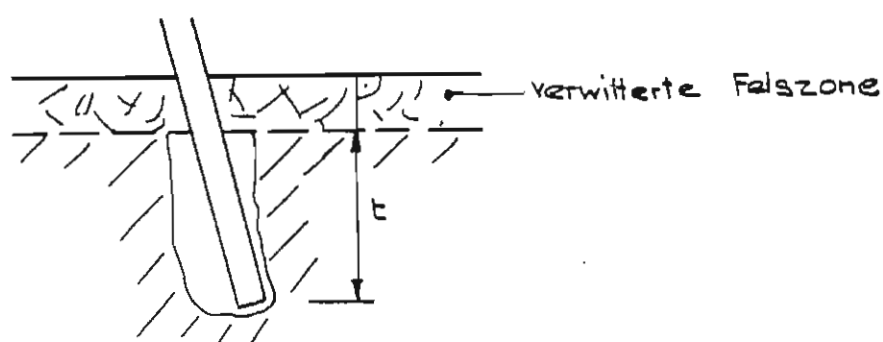


Fig. 48 Massgebende Fundamenteinbindetiefe t

- Einspannung in Beton

In Beton (zB. Stützmauern) sind die Stützen gemäss Fig. 49 einzubinden. Die Zone der Krafteinleitung ist sorgfältig auszuarmieren (siehe auch Lit. [2]).

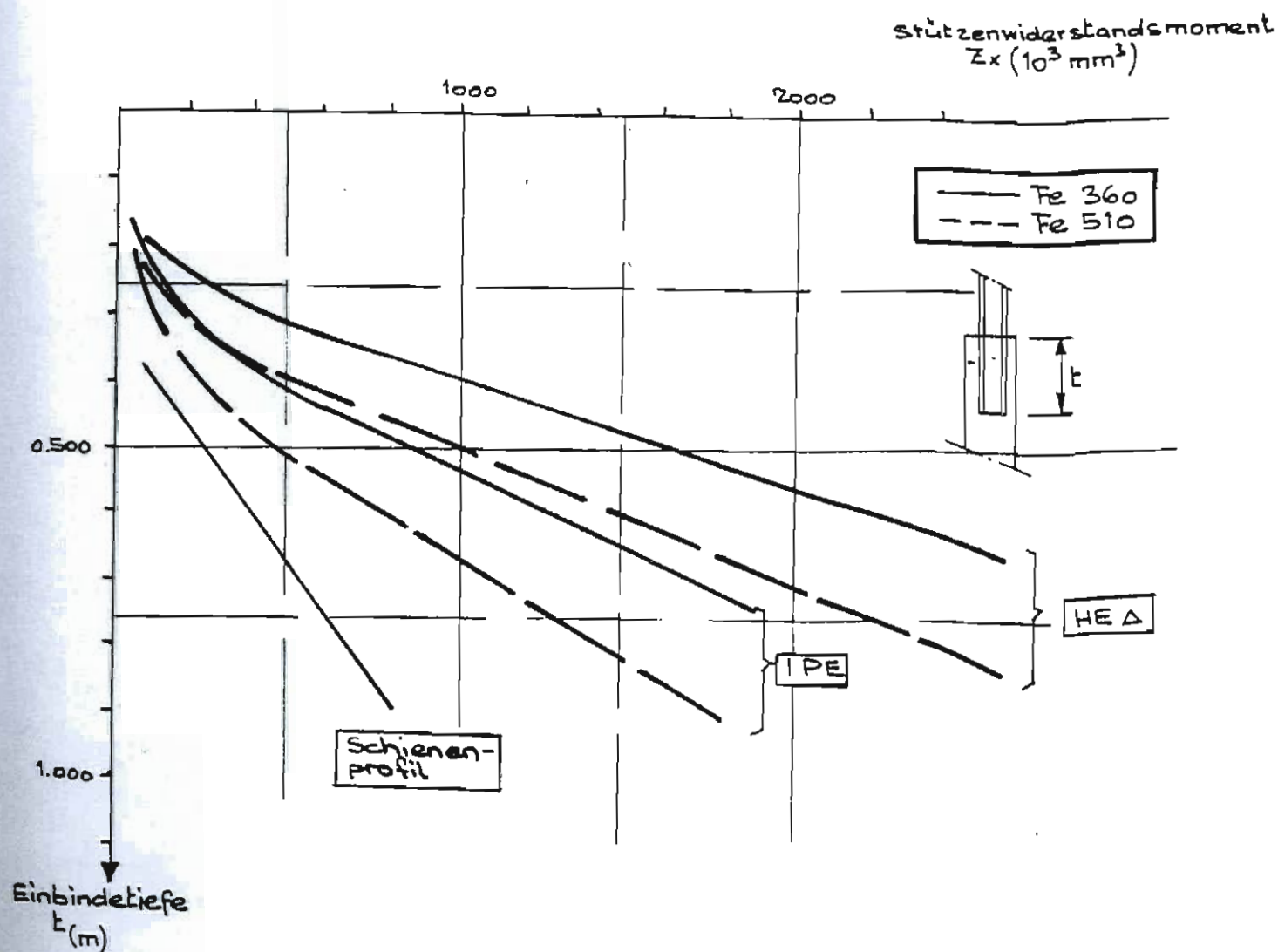


Fig. 49

Erforderliche Einbindetiefe in Beton

- Einspannung in Lockergestein

In Böschungen aus Lockergestein können Stützen nicht ausreichend eingespannt werden. Sie sind durch Abspannungen zu ergänzen. Ist diese Anordnung nicht möglich, so ist die Tragfähigkeit der Fundamenteinspannung durch ein Versuche im Massstab 1:1 zu ermitteln..

- Einspannung an Böschungskanten

An Böschungskanten ist die Einspannung von Stützen in Lockermaterial nur möglich, wenn diese auf Höhe der Böschungskanten bzw. Bermen, zurückverankert werden. Für Fundamentbreiten von 0.50 m können die erforderlichen Einbindetiefen für verschiedene Reibungswinkel der Fig. 50 entnommen werden.

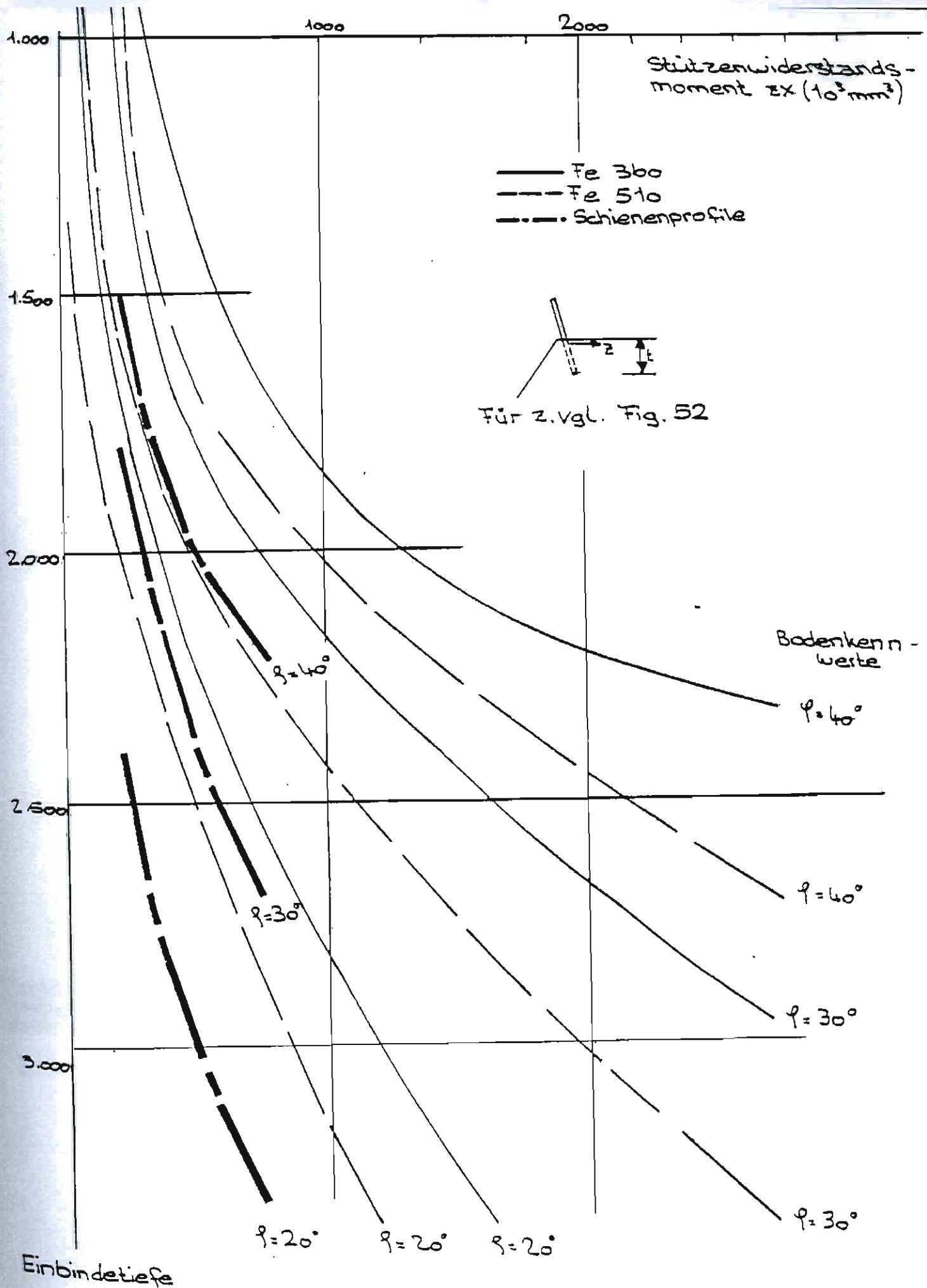


Fig. 50

Erforderliche Fundamenteinbindetiefe bei
 Böschungskanten und Lockermaterial

Bei Abweichung von der in Fig. 50 vorausgesetzten Fundamentbreite von 0.50 m, ist die erforderliche Fundamenteinbindetiefe nach Fig. 51 umzurechnen.

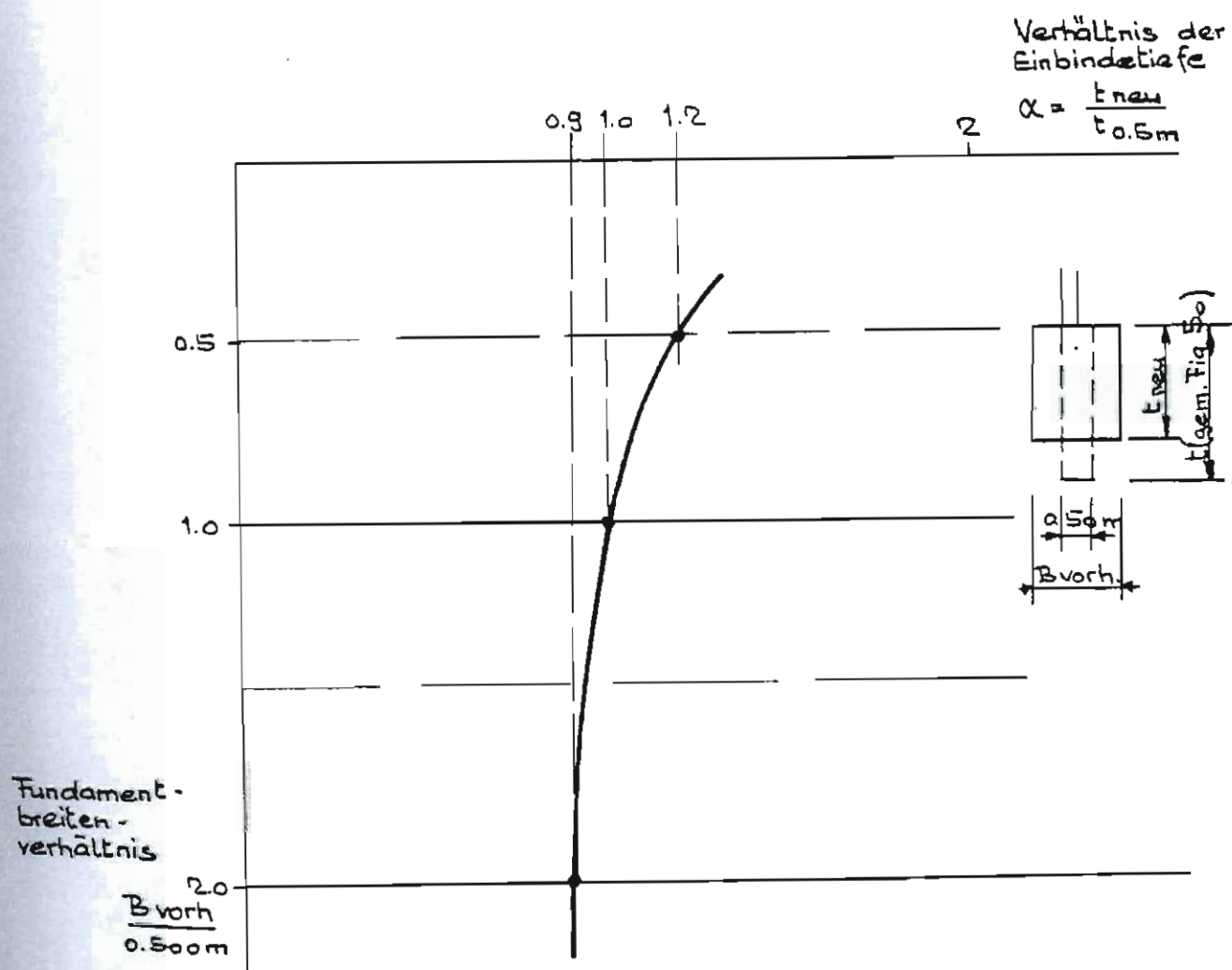


Fig. 51

Erforderliche Fundamenteinbindetiefe bei Veränderung der Fundamentbreite

Die Rückhaltekraft Z (vgl. Fig. 50) kann mit Fig. 52 bestimmt werden.

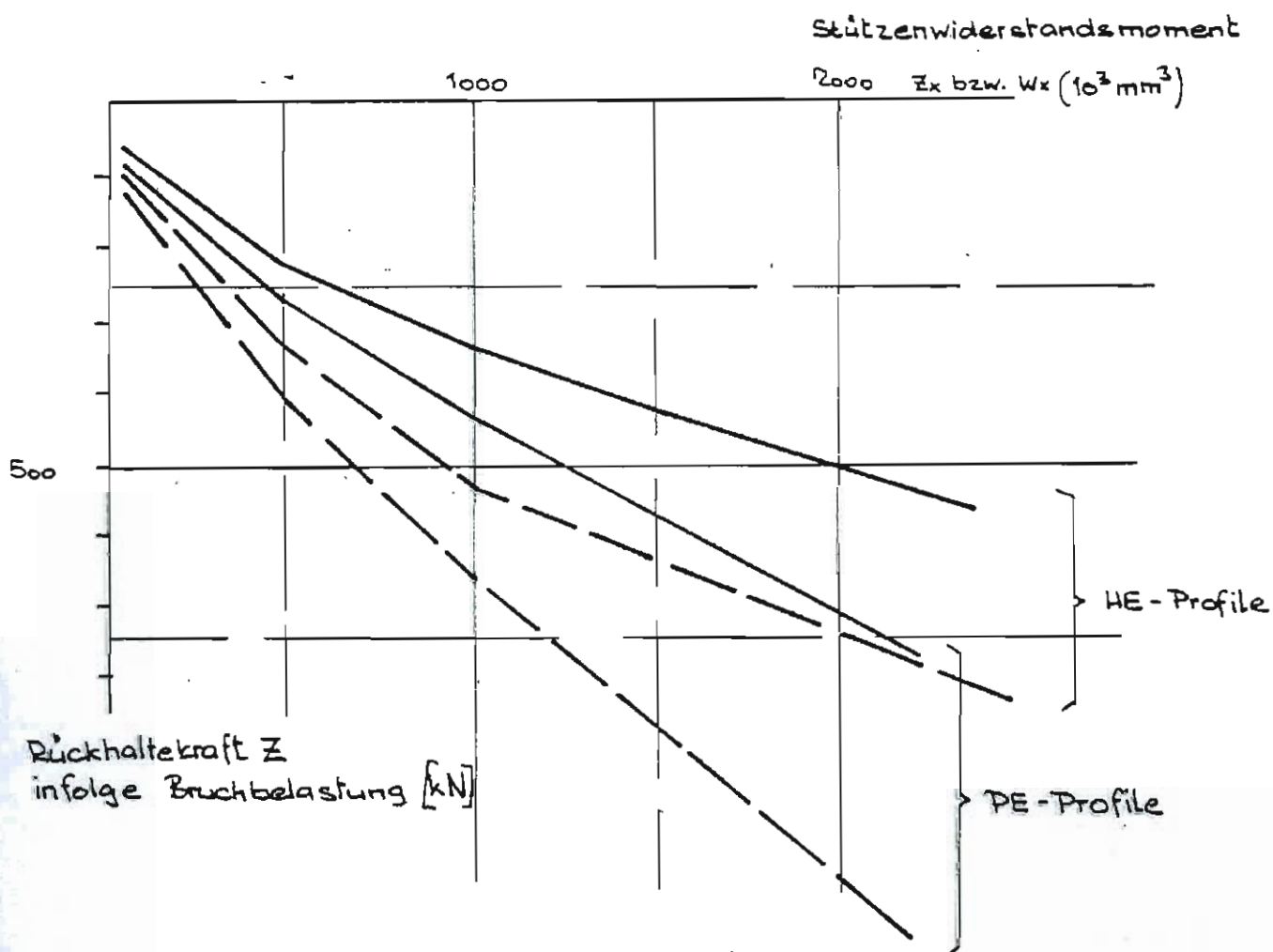


Fig. 52 Erforderliche Rückhaltekraft (Bruchkraft)
für Foundationen bei Böschungskanten im
Lockermaterial

Konstruktive Angaben

Die Aushublöcher sind mit Beton BN, PC 300 kg/m³ auszufüllen.

Bei Einspannung der Stützen in Betonmauern (zB. Stützmauern), ist die bergseitige Entwässerung zu beachten. Das Meteorwasser ist zu fassen und kontrolliert abzuleiten.

5.3.4.2 Gelenkig gelagerte Stützen

- Lagerung im Fels

Die einzelnen Stützenprofile sind in gesundem Fels abzustützen. Dabei muss die Foundation mindestens die Schubtragkraft des Stützenprofils aufnehmen können.

Die Schubtragkraft berechnet sich aus:

$$V_U \sim A_W \cdot \tilde{\tau}^*$$

A_W = Stegfläche

$\tilde{\tau}^* = 155 \text{ N/mm}^2$ für Fe 360

235 N/mm² für Fe 510

Die Mindesteinbindetiefe beträgt 0.20 m (vgl. Fig. 53).

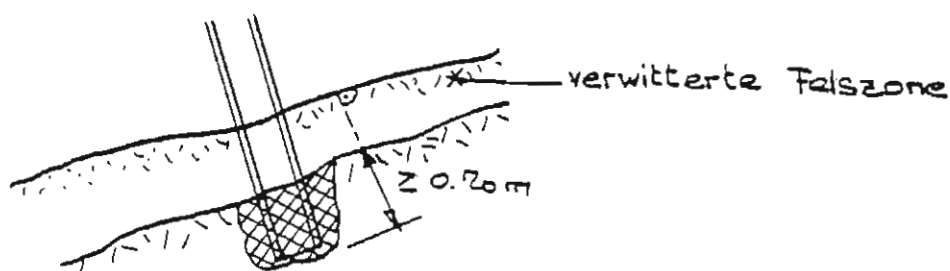


Fig. 53 Mindesteinbindetiefe bei gelenkiger Lagerung im Fels

- Lagerung in Lockergestein

Der passive Erdwiderstand in Böschungen aus Lockergestein ist gering. Bei einem Aufprall im Bereich des Stützenfußes besteht die Gefahr, dass das ganze Stützenfundament zerstört und aus dem Erdreich geschlagen wird.

Die Stützen sind deshalb durch zusätzliche untere Abspannungen zu ergänzen. Die bergseitigen Verankerungen sind für die oberen Abspannungen ohnehin vorhanden.

Die Einbindetiefe hat aber die Stabilität während der Montage und im Zustand ohne Steinschlagbelastung zu gewährleisten (vgl. Fig. 54).

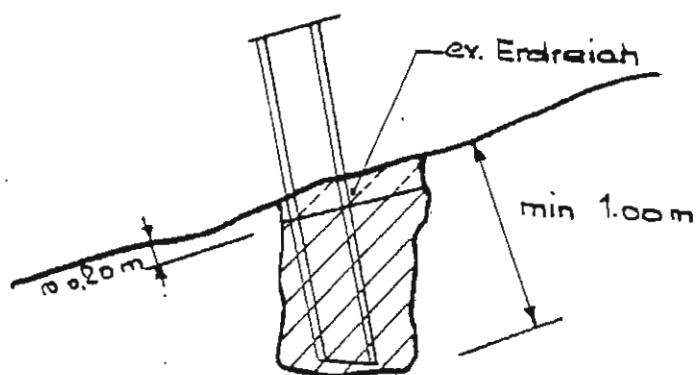


Fig. 54 Mindesteinbindetiefe bei gelenkiger Lagerung im Lockergestein

Die obersten 0.20 m der minimalen Fundamenteinbindetiefe dürfen mit Erdreich überdeckt werden. Bei einem eventuellen späteren Abbruch der Schutzwand können dadurch die Betonfundamente im Erdreich belassen werden.

5.3.5 Bemessung der Stützenabspannung

Die Aufgabe der Stützenabspannung besteht darin, die Reaktionskräfte nicht eingespannter Stützen in die Verankerungen abzuleiten. Auch hier soll die innere Verformungsarbeit grösser sein, als die Auftreffenergie bei Direkttreffern.

Wie in Abschnitt 5.3.1 erwähnt, ist die innere Verformungsarbeit vom jeweiligen Kraft-Dehnungs-Diagramm abhängig (vgl. Fig. 55).

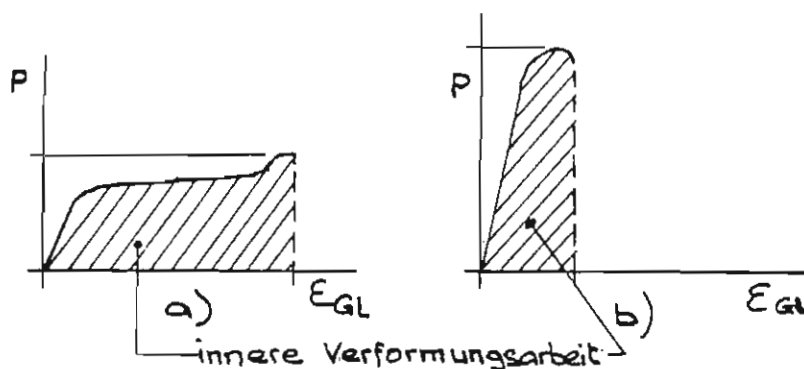


Fig. 55 Kraft-Dehnungs-Diagramm mit
a) ausgeprägtem Fließplateau
b) hoher Bruchlast

Bei gleicher innerer Verformungsarbeit wird beim Typ a) eine kleinere Reaktionskraft als beim Typ b) aufgebaut. Diese Reaktionskraft (Bruchlast) bestimmt im weiteren die Dimensionierung der Verankerung (vgl. Abschnitt 5.3.6).

Bei Materialien mit ausgeprägtem Fließplateau darf infolge der kurzfristigen dynamischen Beanspruchung die statisch ermittelte Fließkraft um 20% erhöht werden. Diese Eigenschaft gilt auch für die Stützen, Aufhänge- und Bodenseile (vgl. Fig. 56).

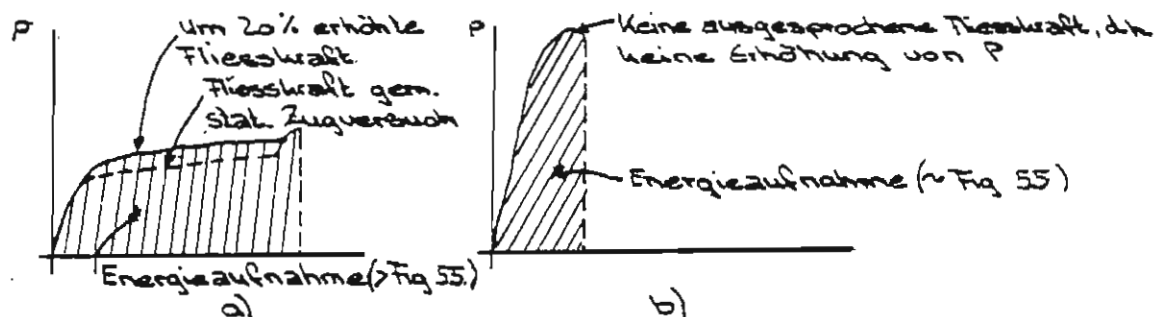


Fig. 56

Kraft-Weg-Diagramm bei Stossbelastung

a) ausgeprägtes Fließplateau

b) hohe Bruchlast

Bei der rechnerischen Bestimmung der inneren Verformungsarbeit ist es wichtig, dass bei der Bruchdehnung nicht die Werte ϵ_5 oder ϵ_{10} berücksichtigt werden, sondern die Bruchdehnung ϵ_{GL} in Rechnung gestellt wird:

$$\epsilon_{GL} = 2 \epsilon_{10} - \epsilon_5$$

Anstelle dieses Wertes darf für ϵ_{GL} auch die Dehnung bezüglich einer Basislänge von ≥ 1.00 m eingesetzt werden. Das folgende Beispiel zeigt die Bestimmung der inneren Verformungsarbeit für verschiedene Seiltypen.

Gegeben: Schutzwandfläche aus Holzschwellen

Gebrauchsbelastung: 2.0 kN bei einer Fallhöhe von 2 m

Grenzbelastung: 5.0 kN bei einer Fallhöhe von 2 m

Gesucht: Abspannung bei Verwendung verschiedener Seiltypen.

Welche Belastung ist massgebend?

Gebrauchsbelastung: 2.0 kN · 2.0 m = 4.0 kNm

Grenzbelastung: 5.0 kN · 2.0 m = 10.0 kNm

oder

$2 \cdot 4.0 \text{ kNm}^*) = 8.0 \text{ kNm}$

→ massgebend

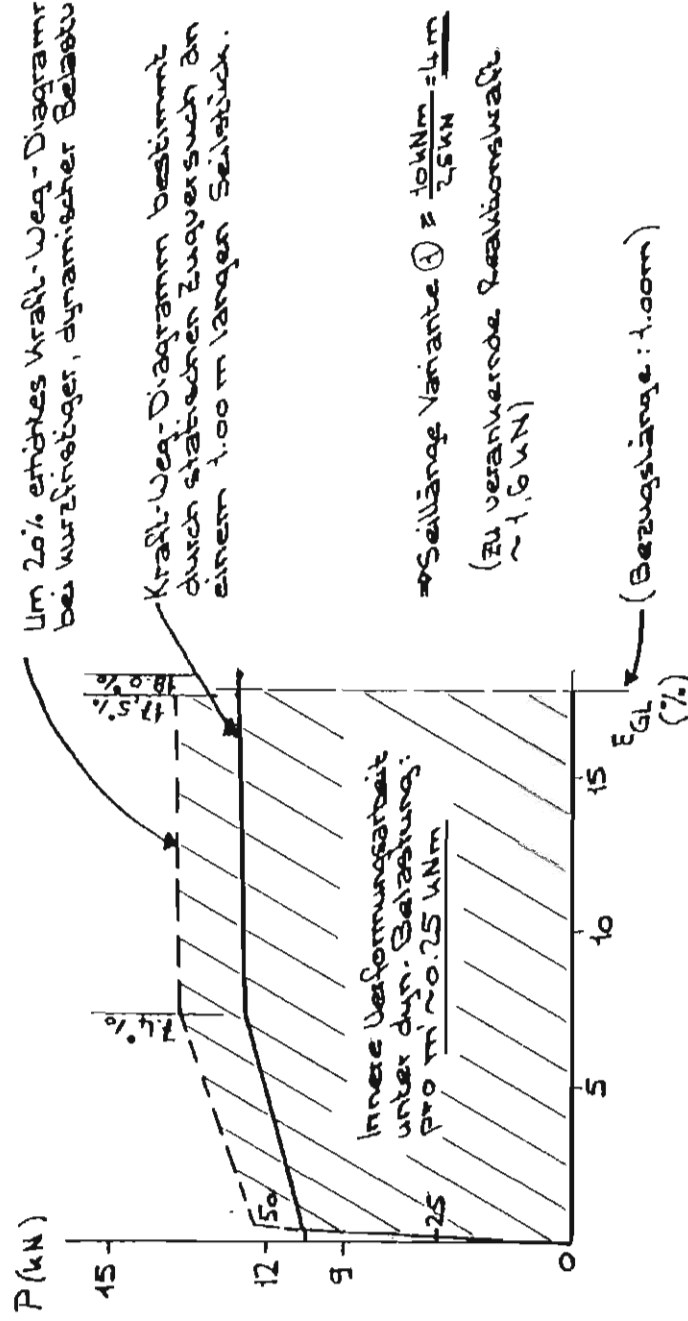
10.0 kNm

*) aus Gebrauchsbelastung

Variante ①



Ankerseile ϕ 7,5 mm



Variante ②

Ankerseil ϕ 9 mm

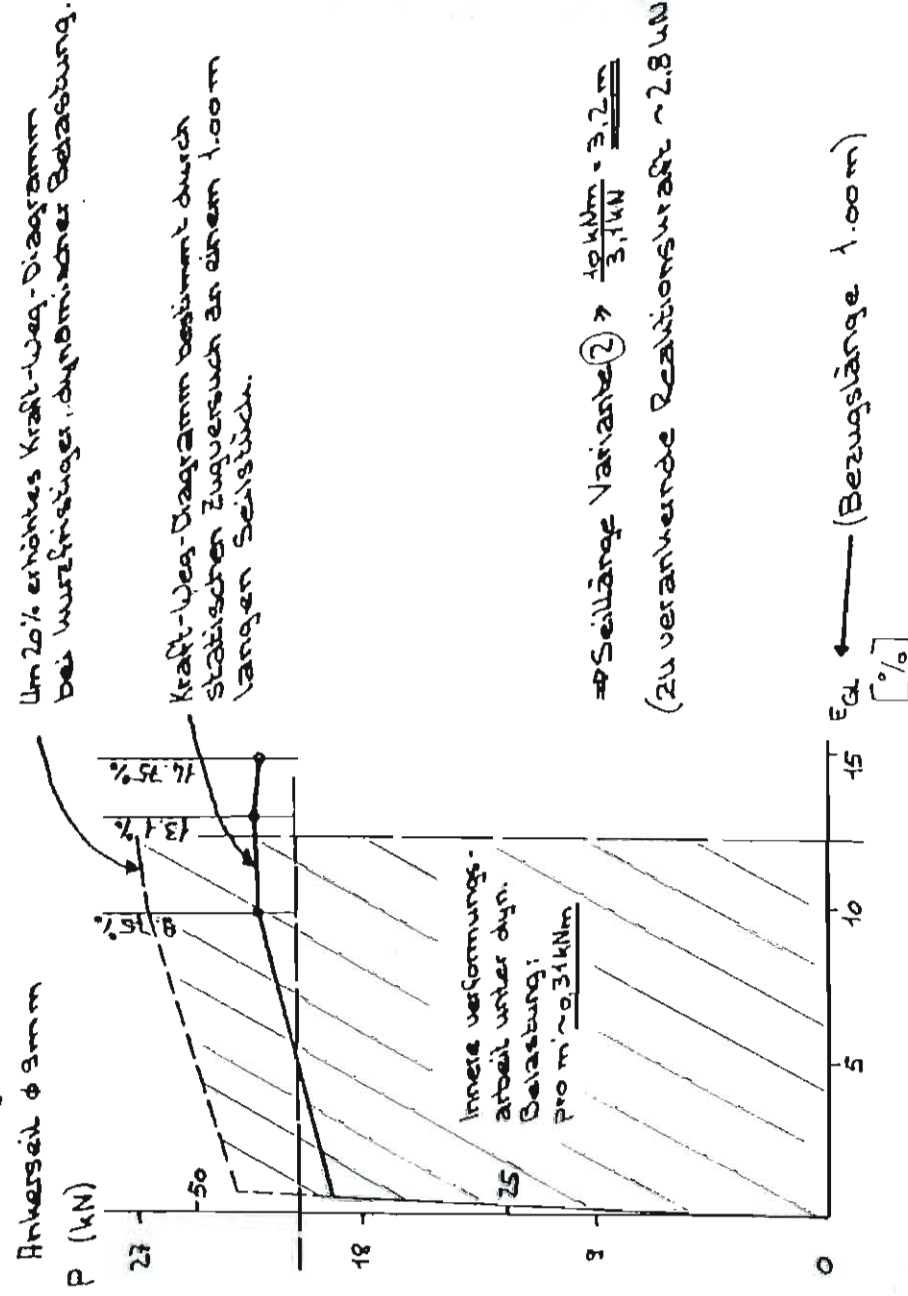


Fig. 57

Kraft-Weg-Diagramme der drei Seilvarianten
(Varianten 1 und 2)

Variante ③ :

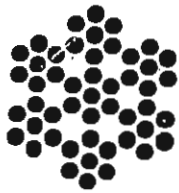
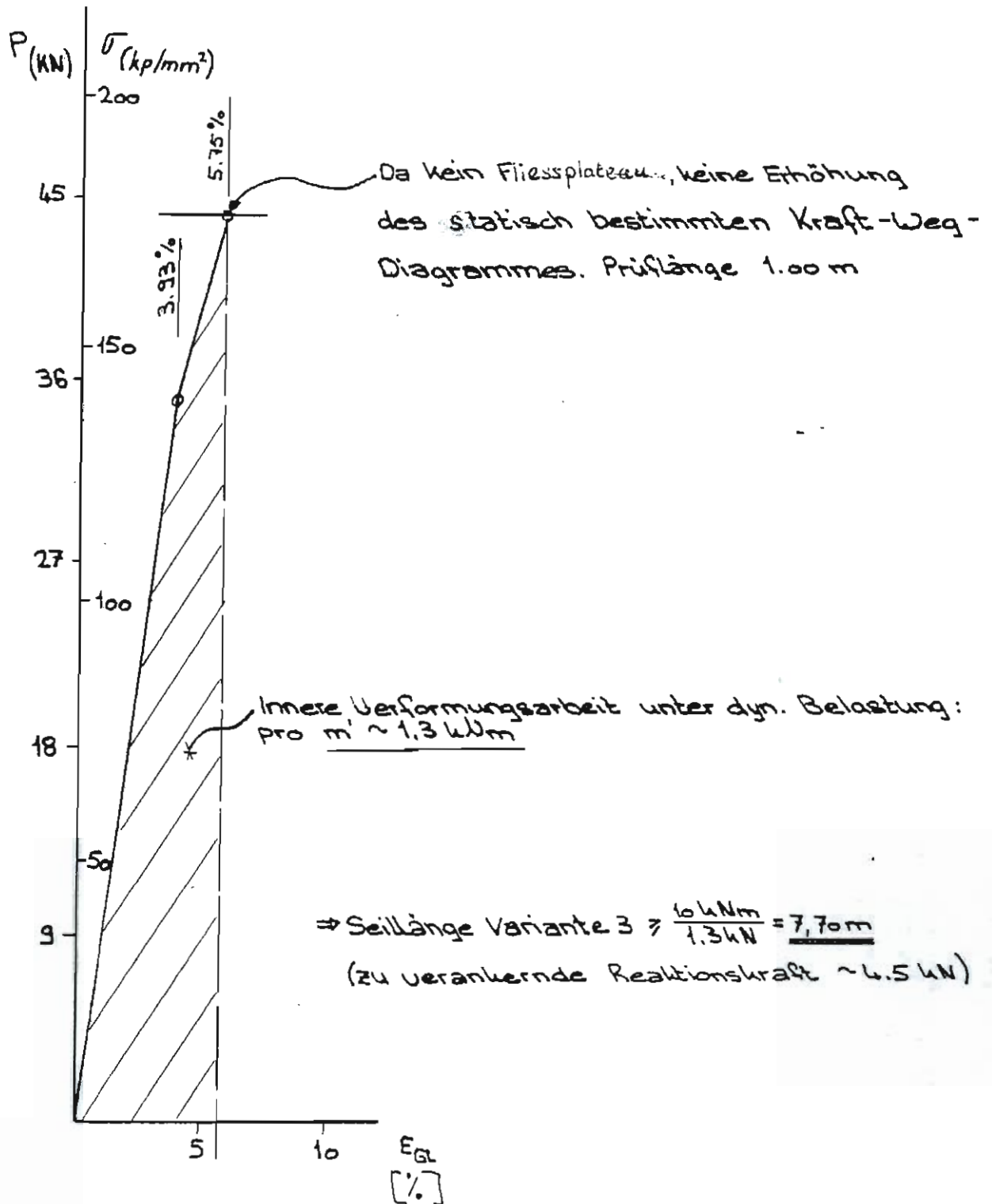
Abspannseil $\phi 8 \text{ mm}$ 

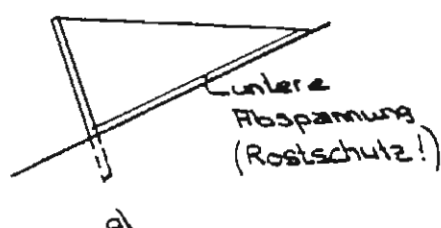
Fig. 57

Kraft-Weg-Diagramme der drei Seilvarianten
(Variante 3)

Der Vergleich der drei Abspannungsvarianten (Fig. 57) zeigt die unterschiedlichen Seillängen bei den zu verankernden Bruchlasten.

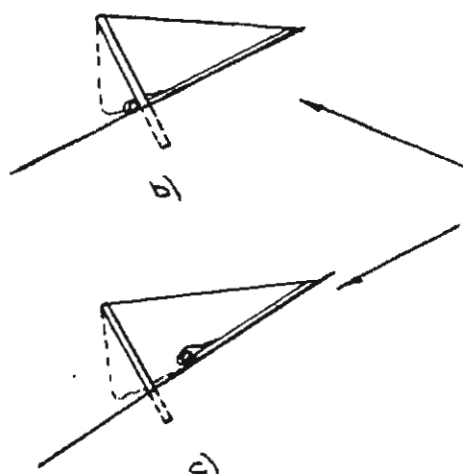
Nebst der Aufprallenergie durch Steinschlag, muss die Abspannung auch vorhandene statische Belastungen ableiten können.

Die Bemessung der unteren Abspannseile ist mit der Bemessung der oberen Abspannseile identisch. Die unteren Abspannseile müssen die Eigenschaften der Fig. 58 erfüllen.



Schutzwand mit Eisenbahnschwellen:

Untere Abspannung nicht zu elastisch. Unter Last verlängert sie sich. Wird diese Deformation zu gross, kann das Stützenfundament trotzdem zerstört werden, obwohl die Energieaufnahme gewährleistet ist.



Schutzwand mit Geflecht und Netzen:

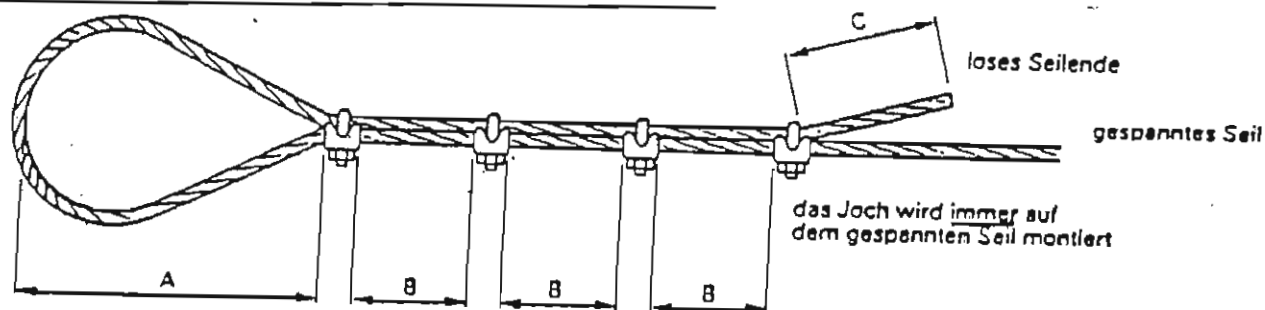
Untere Abspannung nicht mit der Stütze, sondern mit dem Bodenseil verbinden. Bei Verlängerung der unteren Abspannung wird das Stützenfundament nicht zusätzlich belastet.

Fig. 58

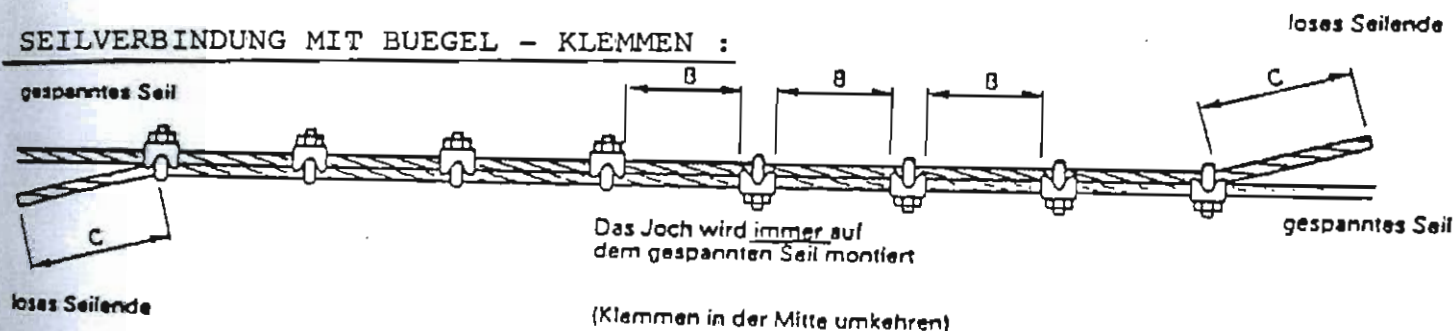
Eigenschaften der unteren Abspannung bei Schutzwänden aus a) Eisenbahnschwellen, b) Drahtseilnetzen und Geflechten

Die Seilverbindungen der Aufhänge-, Boden- und Abspannseile sind gemäss der Fig. 59 auszubilden.

SEILSCHLAUFE MIT BUEGEL - KLEMMEN :



SEILVERBINDUNG MIT BUEGEL - KLEMMEN :



ANZAHL - KLEMMEN :

Seil ϕ	Klemmen- grösse	Zahl der Klemmen		Anziehen*)	Abmessungen		
		Seil- schlaufe	Seilver- bindung		A	B	C
mm	Zoll	Stück	Stück	Nm	mm	mm	mm
6	1/4	3	6	10	100	35	50
8	5/16	4	8	10	120	50	70
9,5	3/8	4	8	20	150	60	70
12	1/2	4	8	40	180	75	100
16	5/8	4	8	80	240	100	150
18	3/4	5	10	80	270	110	150
22	7/8	5	10	120	330	135	200

*) Gewinde nicht einfetten !

Fig. 59

Drahtseilverbindungen

5.3.6 Bemessung von Verankerungen

Die Verankerungen müssen die Reaktionskräfte der Abspann-, Aufhänge- oder Bodenseile in den Baugrund einleiten können. Es ist besonders wichtig, dass diese Zugkräfte sicher verankert werden, da sonst die ausgewogenste Schutzwandfläche keinen Nutzen bringen kann.

Bei starker Ueberdimensionierung der Schutzwandfläche darf von der Ausgewogenheit der ganzen Schutzwandkonstruktion abgewichen werden. Dann soll aber nicht die Verankerung der schwächste Konstruktionsteil sein. Bei allfälliger Ueberlastung hat der Bruch in einem leicht zu reparierenden Konstruktionsteil (zB. Abspannseil) einzutreten.

Die Bruchlast der Verankerung soll daher grösser sein als die Bruchlast der zu verankernden Seile. Bei örtlicher Ueberbelastung wird die Verankerung dadurch nicht zerstört. Reparaturen können einfach und schnell durch Auswechseln der defekten Seile erfolgen.

Bei grösseren Steinschlagsicherungen lohnt sich die Durchführung von Zugversuchen im Massstab 1:1. Fehlen solche, so kann je nach System mit nachstehenden Ankerkräften gerechnet werden.

- Verankerung an Blöcken

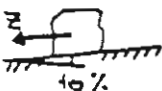
Steingrösse			
3 m ³	10 kN	15 kN	20 kN
5 m ³	15 kN	25 kN	35 kN
8 m ³	25 kN	40 kN	55 kN

Tabelle 2 Verankerungen an Blöcken

Scharfe Kanten sind zum Schutze der Seile vorgängig abzuspitzen. Bei der Bestimmung der Steingrösse hat man sich auf sichtbare Kubatur zu beschränken.

- Verankerung an Bäumen

Baumdurchmesser ^{*)}	Baumumfang	red. Verankerungskraft	erhöhte Verankerungskraft
20 cm	(63) cm	1,3 kN	2,3 kN
25 cm	(79) cm	2,1 kN	3,7 kN
30 cm	(94) cm	3,0 kN	5,3 kN
35 cm	(110) cm	4,1 kN	7,2 kN
40 cm	(125) cm	5,3 kN	9,4 kN
45 cm	(140) cm	6,7 kN	11,8 kN
50 cm	(157) cm	8,3 kN	14,7 kN

*) Brusthöhendurchmesser

Tabelle 3 Verankerungen an Bäumen (vgl. Fig. 60)

Die Verankerung an Bäumen kann in der Regel für temporäre Verankerungen verwendet werden. Die Anordnung ist aus Fig. 60 ersichtlich.

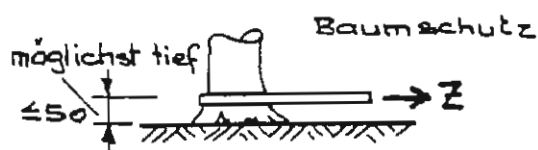


Fig. 60 Verankerung an Bäumen

Die erhöhten Verankerungskräfte der Tabelle 3 gelten für gesunde Bäume, die gut mit dem Boden verwachsen sind.

In Hängen, mit hochliegender Felsoberfläche ist die Einbindung der Baumwurzeln nicht immer optimal. Die Verankerungskraft darf dann auch bei kräftigen Bäumen nicht erhöht werden.

Zwischen Seil und Baum ist ein Baumschutz anzuordnen. Die Verteilung der Zugkraft auf die Baumrinde hat möglichst gleichmässig zu erfolgen. Die Verletzungsgefahr infolge Belastung, besonders während der Wachstumszeit, wird dadurch stark reduziert.

Da die Abspannstelle möglichst tief angebracht werden soll, sind Baumschütze aus Dachlatten oder ähnlichem ungeeignet. Am besten eignen sich die im Handel erhältlichen Verankerungsstruppen.

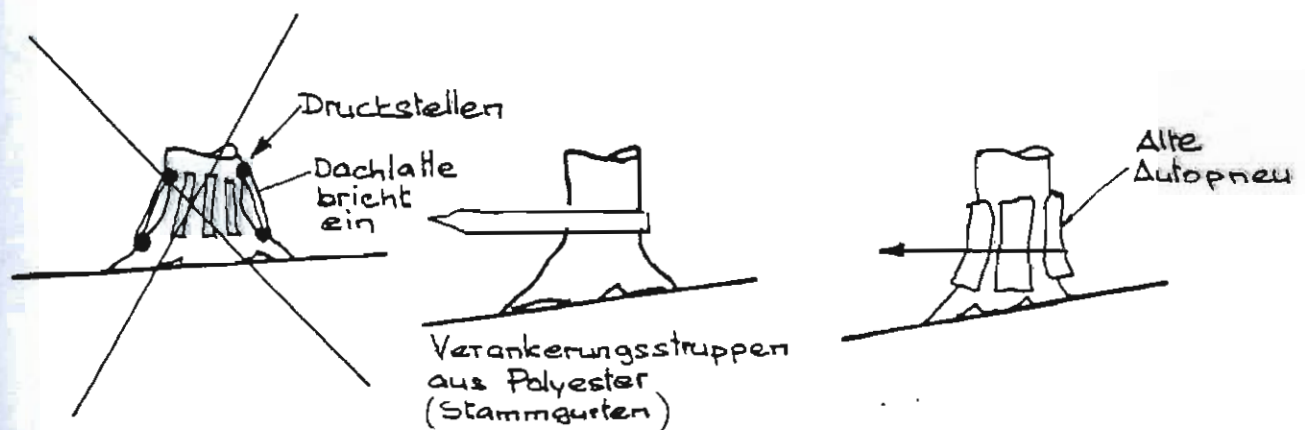


Fig. 61 Baumschutz

- Massnahmen bei Verankerung an Bäumen mit schwachen Wurzeln (Beispiel):

Der Baum Nr. 1 (vgl. Fig. 62) kann mit gesunden Wurzeln die Zugkraft Z aufnehmen. Er befindet sich aber in einer Zone, in der der Felshorizont bis nahe an die Erdoberfläche reicht. Er darf deshalb nur mit der reduzierten Verankerungskraft belastet werden. Der gewählte Verankerungspunkt Baum Nr. 1 ist deshalb zusätzlich (direkt) mit weiteren Bäumen zu verbinden ("Verankerung in Serie").

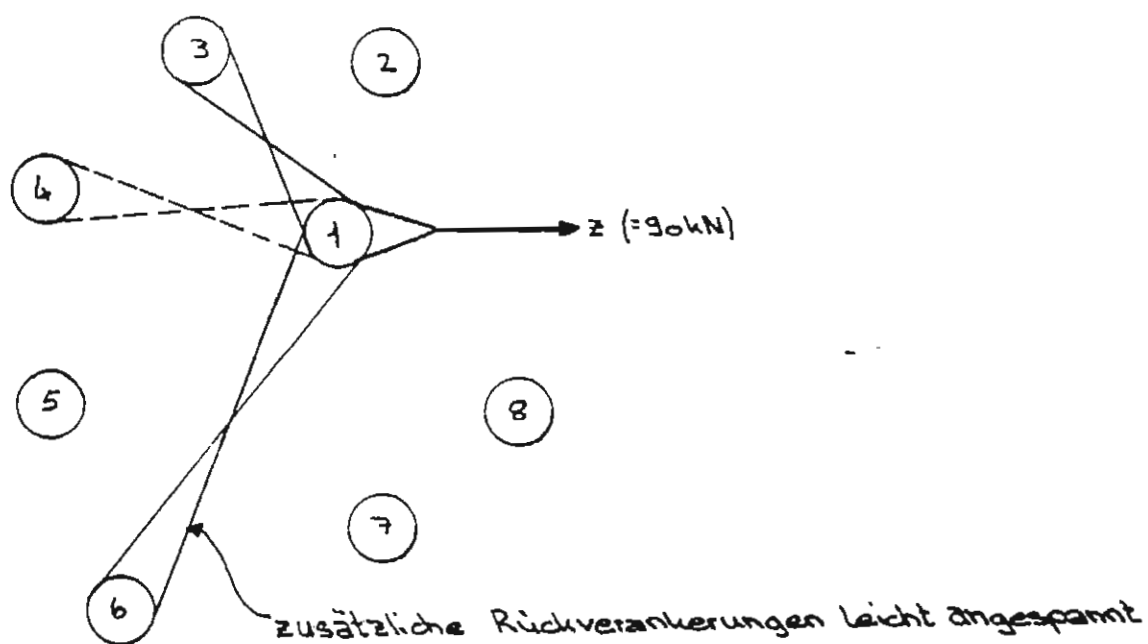


Fig. 62 Baumverankerung in Serie

- Massnahmen bei Verankerung an zu dünnen Bäumen
(Beispiel):

Die Bäume befinden sich in einer Zone, in der kein Fels vorhanden ist. Sie dürfen mit der erhöhten Verankerungskraft belastet werden. Die einzelnen Bäume sind aber nicht in der Lage, die Zugkraft Z in das Erdreich abzuleiten. Sie müssen deshalb einzeln als Verankerungspunkte erfasst werden ("Parallelverankerung").

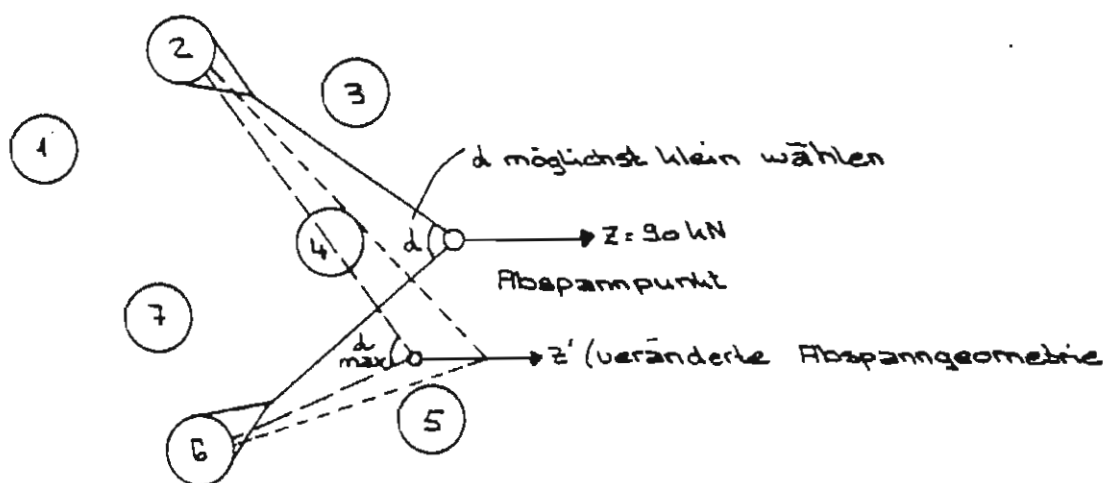


Fig. 63 Parallelverankerung

Bei der Verankerung an sicheren Bäumen ist darauf zu achten, dass die einzelnen Seillängen bis zum Abspannpunkt etwa die gleichen Längen aufweisen. Bei extremen Unterschieden (vgl. Fig. 63, bei Baum Nr. 1) bewirkt die ungleiche elastische Deformation, dass eine einzelne Abspannstelle schon überbeansprucht wird, bevor die Nachbarverankerungen ganz wirken können.

Werden Baumstrünke als Abspannstellen verwendet, so ist zu beachten, dass ohne zusätzlichen Witterungsschutz die Verrottung je nach Baumart bald einsetzt. Die Verankerungskräfte nehmen mit zunehmender Einsatzdauer ab. Durch die Anordnung von Witterungsschutzvorkehrungen wird der Zerfall verzögert (vgl. Fig. 64).

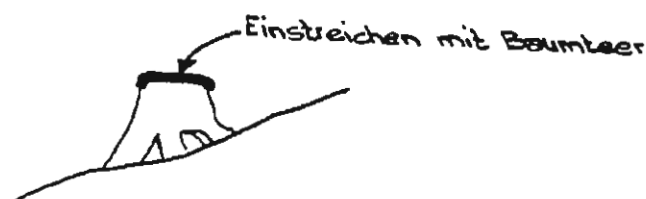


Fig. 64 Witterungsschutz

- Verankerung an Pfählen

Pfahlverankerungen dienen für temporäre Einsätze. Bei längerer Verwendungsdauer (über ein Jahr) sind sie vorgängig gegen Fäulnis zu imprägnieren.

Die zulässigen Ankerkräfte sind aus Tabelle 4 ersichtlich.

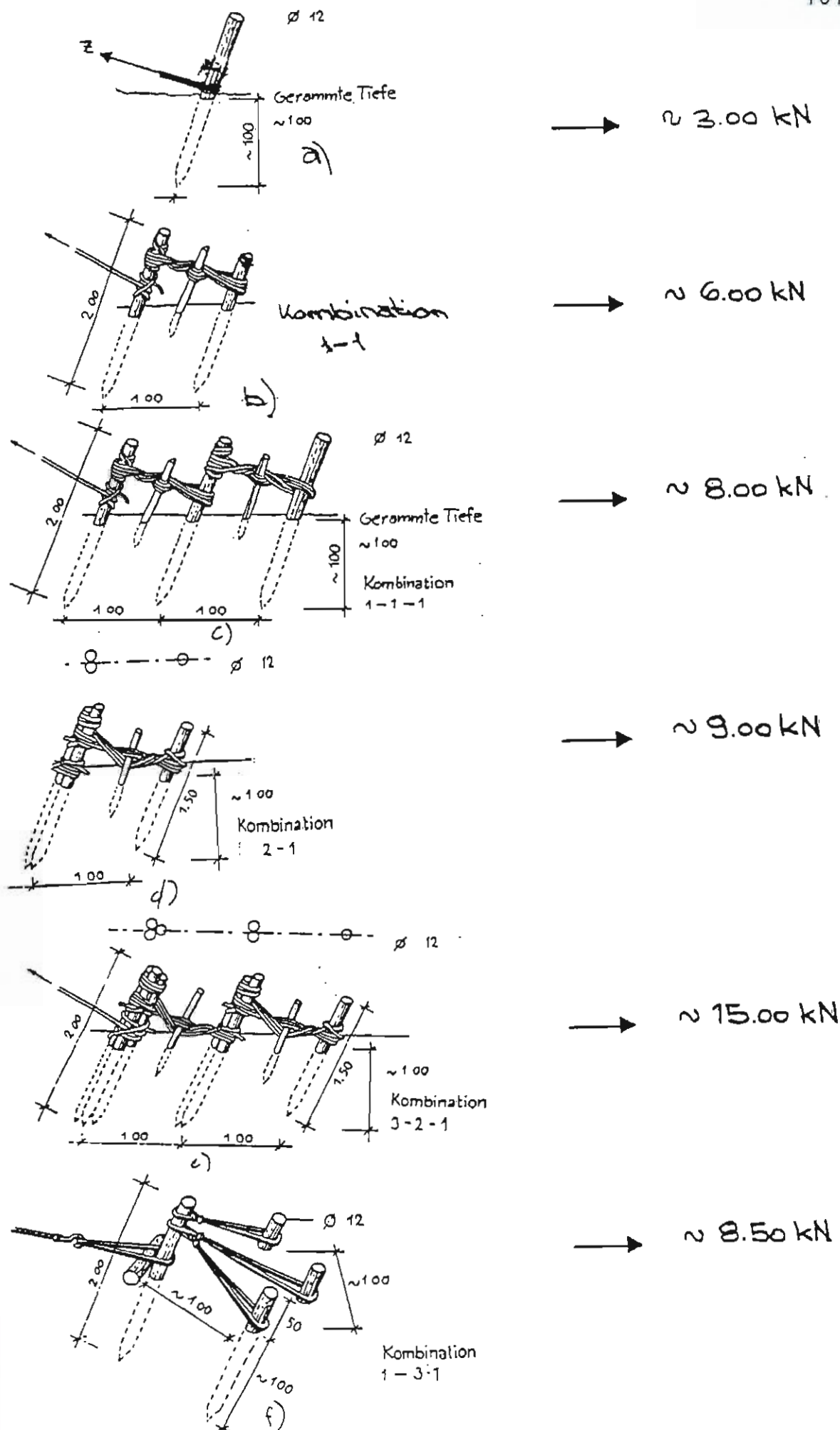


Tabelle 4

zulässige Ankerkräfte bei Pfählen

Beim Einsatz in Hangrichtung sind die angegebenen Werte entsprechend Fig. 65 zu reduzieren.

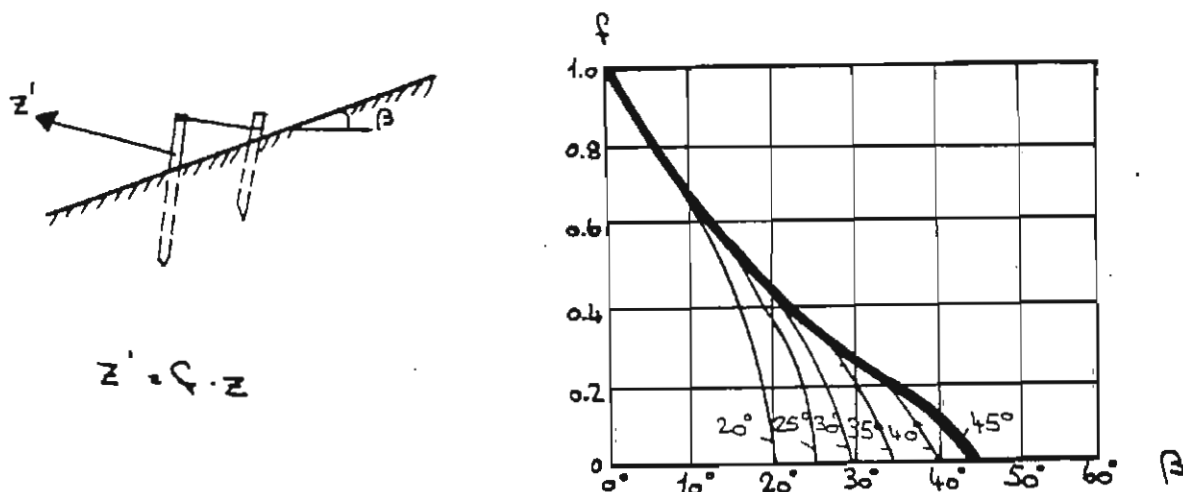


Fig. 65 Reduktion der zulässigen Verankerungskräfte bei Pfahlverankerungen in Hangrichtung

- Verankerung an Ankerplatten ("Toter Mann")

Bei Verwendung von Holz sind diese Verankerungen nur für temporäre Einsätze vorzusehen (vgl. Fig. 66).

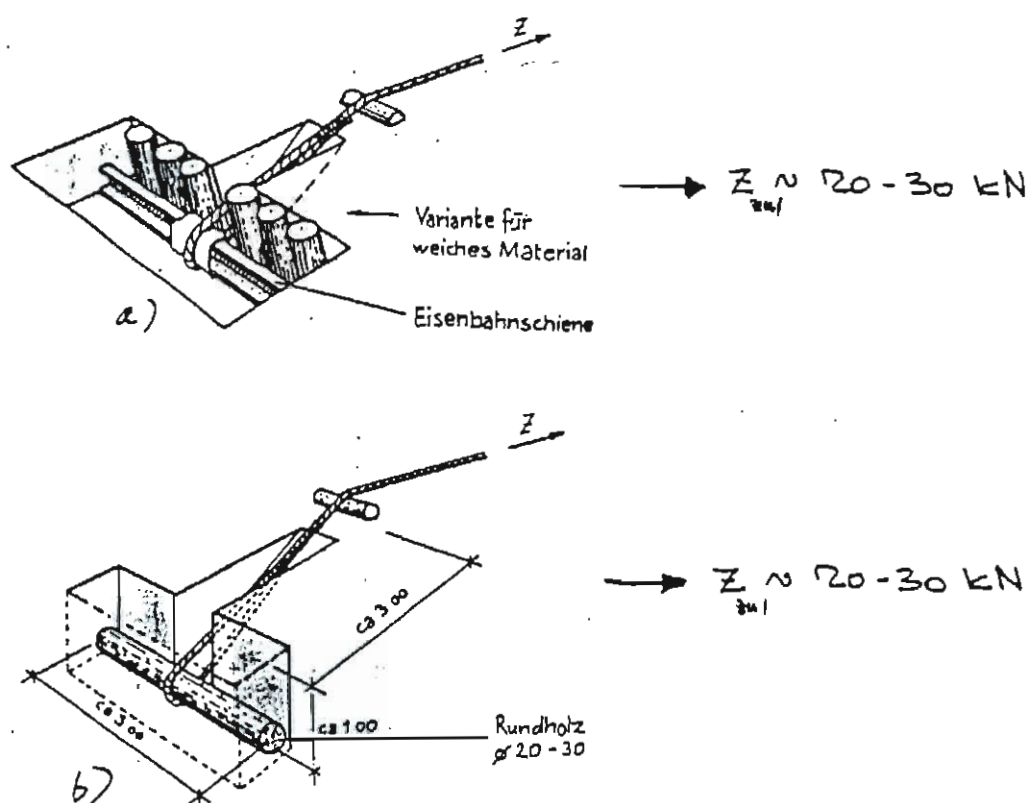


Fig. 66 Verankerung "Toter Mann"

- Verankerung an Betonkörpern

Aushublöcher werden durch bewehrten Beton aufgefüllt. Dabei ist der Betonkörper satt an das anstehende Erdreich zu betonieren. Der Beton soll nur bis ca. 0.2 m unterhalb die Terrainoberfläche geführt werden. Bei einer späteren Urbarisierung müssen die Verankerungen dadurch nicht abgebrochen werden. Die Verankerungskrafteinbusse beim Verzicht auf diese oberste Zone ist gering.

Man unterscheidet 2 Verankerungstypen:

. Ankerkörper quer zum Hang (vgl. Fig. 67)

. Ankerkörper parallel zum Hang (vgl. Fig. 70 und 71)

- Ankerkörper quer zum Hang

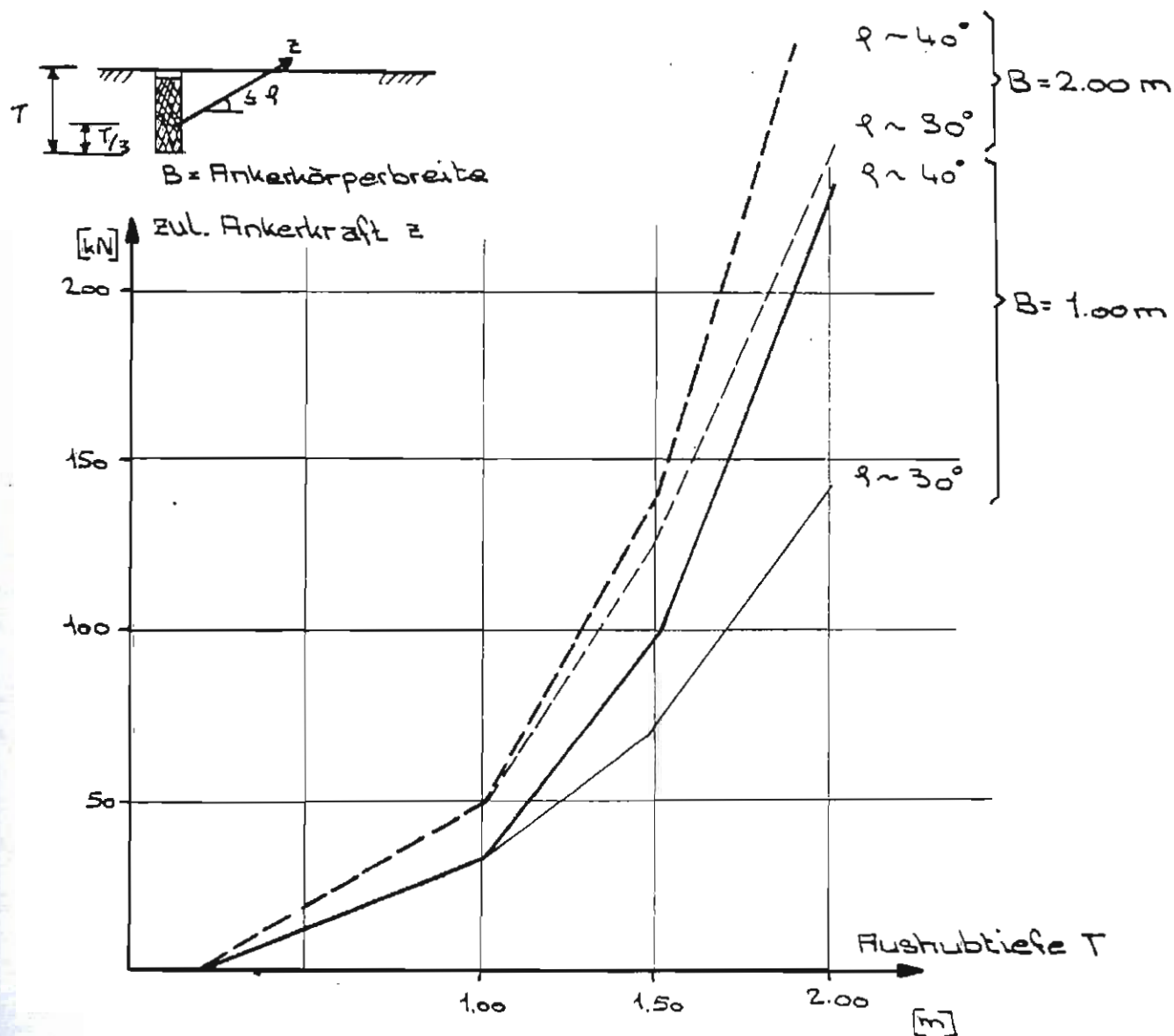
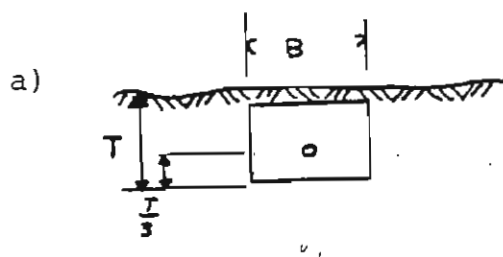


Fig. 67 Zulässige Ankerkräfte für Ankerkörper quer zum Hang

Der Betonkörper muss nicht die theoretischen Abmessungen B , T gemäss Fig. 67 aufweisen. Er kann der maschinellen Aushubform angepasst werden. Dabei muss aber die Ansichtsfläche unterhalb $\frac{T}{3}$ erhalten bleiben (Mehrfläche = Minderfläche).

. theoretische Abmessungen (nach Fig. 67):



. dem Aushub angepasste zulässige Abmessungen:

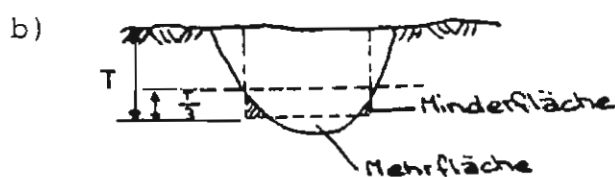


Fig. 68 a - b Anpassung des Aushubes an die theoretischen Abmessungen

Die seitlichen Flanken des satt anbetonierten Ankerkörpers sollen leicht hinterschnitten werden (vgl. Fig. 69).

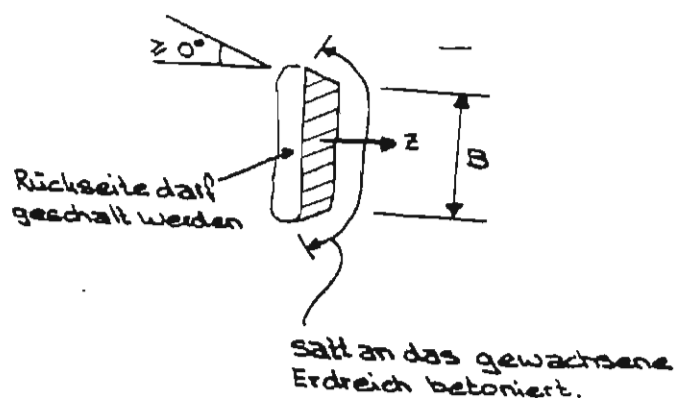
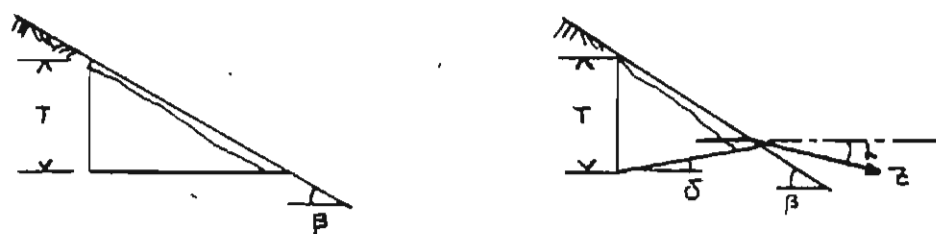


Fig. 69 Verlauf der Seitenflächen

- Ankerkörper parallel zum Hang



$$z = 2R + f \cdot G$$

z = Zulässige Ankerkraft (Gebrauchslast)

$2R$ = seitliche Reibung (s. Fig. 70)

G = Gewicht des Betonkörpers

f = Reibungsfaktor (s. Fig. 71)

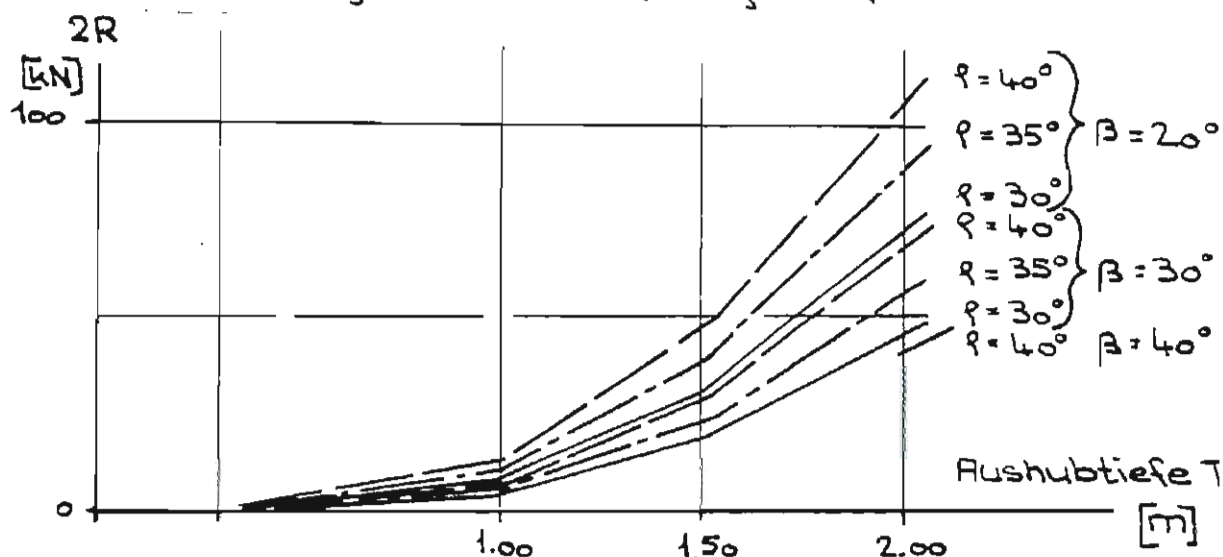


Fig. 70 Seitliche Reibungskräfte von Betonkörpern

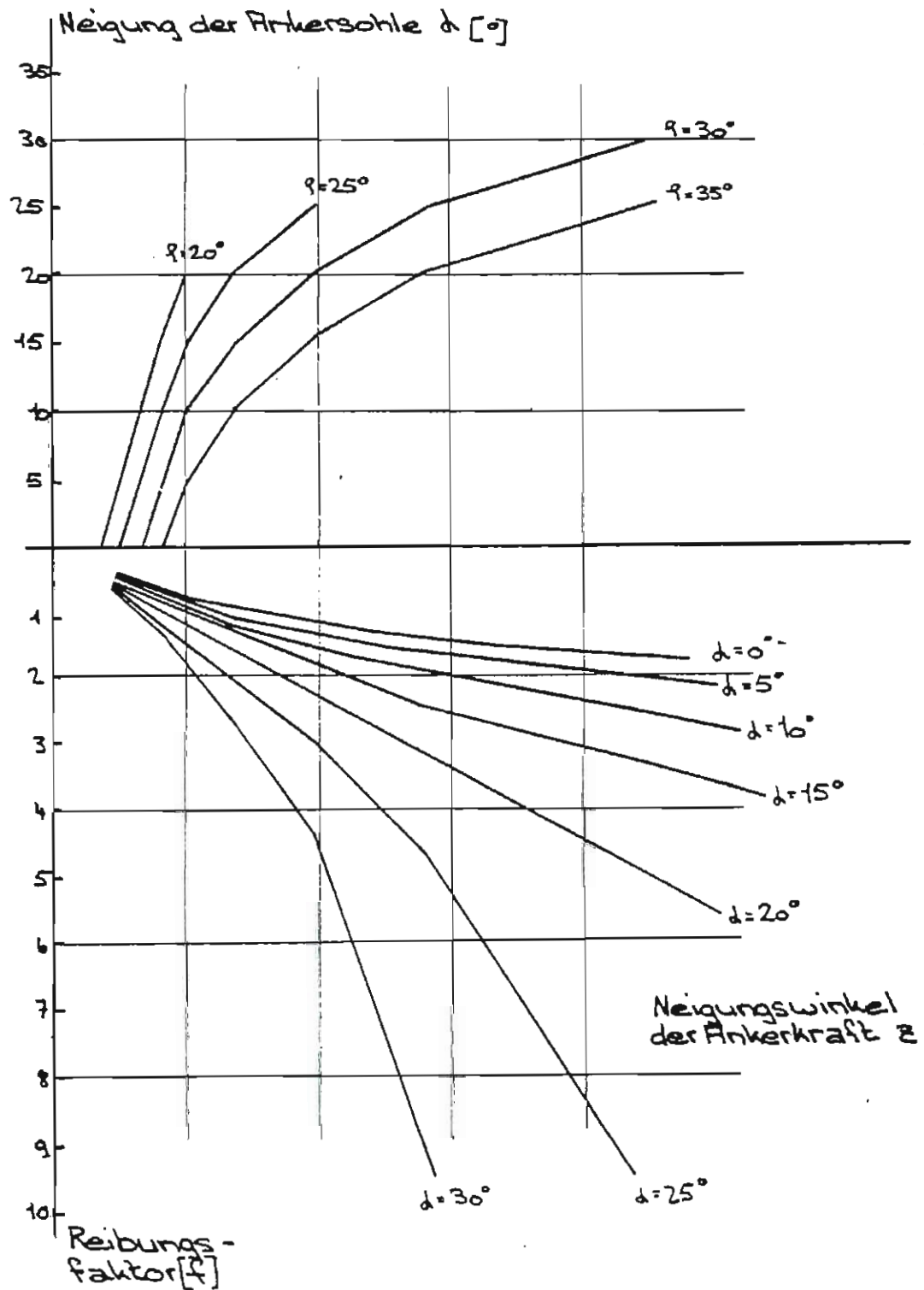


Fig. 71 Reibungskräfte des Betonkörpers in der Sohlfläche

Der Betonkörper muss allseitig gegen den gewachsenen Boden betoniert werden. Die seitlichen Flächen sollen etwas hinterschnitten werden (vgl. Fig. 72).

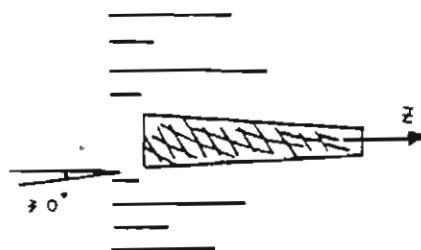


Fig. 72 Verlauf der Seitenflächen

- Felsverankerungen

Die Verankerung der Zugkräfte in gesundem Fels bringt in der Regel die kleinsten Probleme. Es ist darauf zu achten, dass die Verankerung in gesundem, kompaktem Fels erfolgt. Die verwitterte Deckschicht ist zu entfernen bzw. zu durchbohren.

Bohrlöcher bis 32 mm Durchmesser und 3 m Bohrlänge können von Hand, dh. ohne Bohrgestell gebohrt werden.

Im Handel (Stollenbau) sind die verschiedenen Konstruktionsarten erhältlich, zB. Drahtseilanker, Spreizanker, Klebeanker usw.

Die zu verankernden Zugkräfte sind in der Regel nicht besonders gross. In Lit. [4] sind einige Angaben über die Dimensionierung enthalten.

Je nach Einsatzdauer ist dem Korrosionsschutz der Zugglieder die entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken.

5.4 Bemessung von Schutzgräben

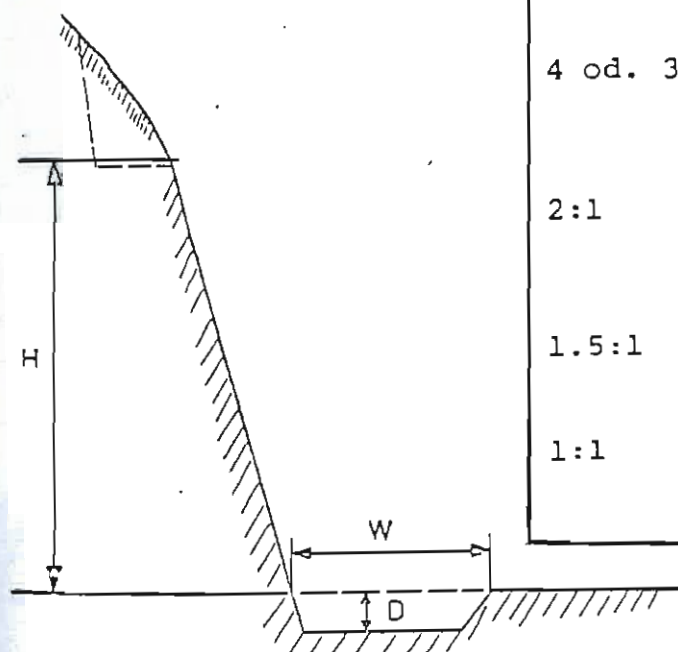
Bei grossen Fallhöhen, grossen Blöcken oder in Lockergestein können die Aufprallenergien nicht mehr einfach durch Schutzwände allein absorbiert werden.

Die Aufgabe der Schutzgräben besteht darin, die Energie durch den Aufprall in das Erdreich möglichst zu vernichten.

Sie haben aber den Nachteil, dass sie relativ viel Platz benötigen und deshalb nicht in jedem Gelände erstellt werden können.

Die Abmessungen der Fig. 73 für die Ausführung von Schutzgräben basieren auf Lit. [3].

Zusätzliche Massnahmen,
falls oberhalb der Böschungskante
ebenfalls Steinschlag entstehen kann



Felsböschung	H(m)	W(m)	D(m)
~ vertikal	5 bis 10	3.7	1.0
	10 bis 20	4.6	1.2
	> 20	6.1	1.2
4 od. 3:1	5 bis 10	3.7	1.0
	10 bis 20	4.6	1.2
	20 bis 30	6.1	1.8
	> 30	7.6	1.8
2:1	5 bis 10	3.7	1.2
	10 bis 20	4.6	1.8
	20 bis 30	6.1	1.8
	> 30	7.6	2.7
1.5:1	0 bis 10	3.7	1.0
	10 bis 20	4.6	1.2
	20	4.6	1.8
1:1	0 bis 10	3.7	1.0
	10 bis 20	3.7	1.5
	> 20	4.6	1.8

Fig. 73

Dimensionierung von Schutzgräben

Werden auf der Böschungskante zusätzlich Schutzwände aufgebaut (vgl. Fig. 74), so dürfen die Tiefen D auf 1.20 m reduziert werden.

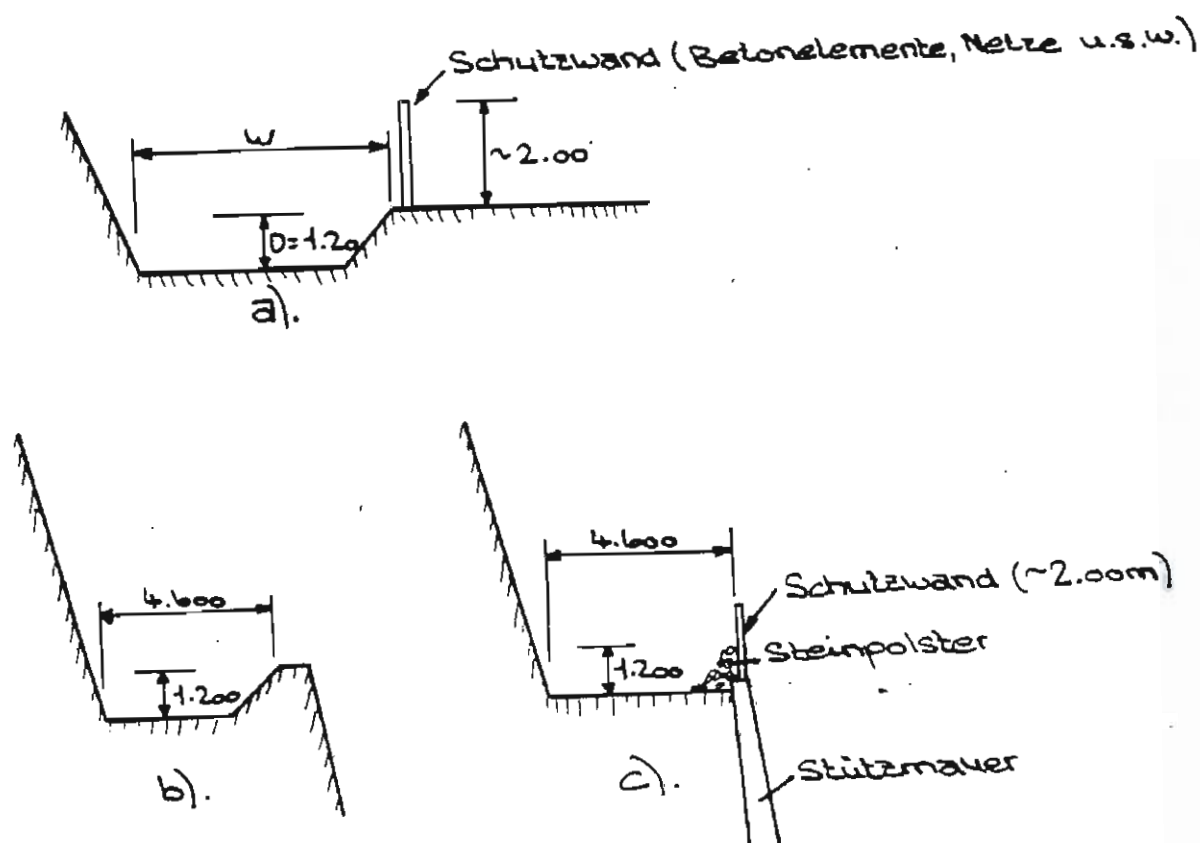


Fig. 74

Varianten von Schutzgräben

Die Fallböden können auch als Erschliessungsstrasse verwendet werden. Für die Unterhaltsarbeiten ergeben sich dadurch erhebliche Vorteile.

Die Fallböden sind mit Dämpfungsschichten zu versehen (vgl. Abschnitt 5.5). Es eignen sich dafür Kiesschüttungen von 0.50 m oder mehr. Diese sind zur Verhinderung des Ausschwemmens durch Meteorwasser geringfügig zu verdichten.

5.5 Bemessung von Galerien

Die Auftreffenergie von herunterstürzenden Steinen wird bei Galerien mit Dämmschichten (Ueberschüttungen) aufgenommen. Galerien gegen Steinschlag (und Lawinen) zeichnen sich demzufolge gegenüber sonstigen Bauwerken insofern aus, als das Verhältnis zwischen Eigengewicht der Tragkonstruktion und den aus Ueberschüttungen resultierenden ständigen Auflasten im Vergleich zu den Belastungen aus Steinschlag (Lawinen) gross ist.

Der Aufbau der Dämmschichten ist verschieden. Am häufigsten werden Kiesschüttungen von 0.30 bis 1.00 m Dicke verwendet (Werte über stossdämpfende Materialien sind in Tabelle 5 zusammengestellt).

Dämpfungsmaterial	Reduktionsfaktor
30 cm Holz	1.0
3.2 cm Asphaltbeton	1.0
3.0 cm Teerasphaltbelag	1.0
1.0 cm Dachpappenbelag T50 (2-schichtig)	0.9
10 cm Teerbetonbelag	0.35
10 cm Teerbetonbelag + 70 cm Kies	0.1
10 cm Teerbetonbelag + 35 cm Kies	0.2
70 cm Kies	0.2
35 cm Kies	0.3

Tabelle 5 Reduktionsfaktoren für verschiedene Dämpfungsmaterialien

Sofern zwischen Gebrauchs- und Grenzbelastung ein grosser Unterschied besteht, ist ein Aufbau der Dämmschicht gemäss Fig. 75 denkbar, welche folgende Charakteristik aufweist:

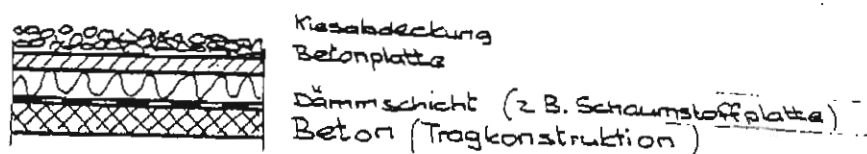


Fig. 75

Sandwich-Ueberdeckung von Galerien

- Gebrauchsbelastung:

- . Durch die Kiesschicht wird die Energie gedämpft.
- . Die Betonplatte verteilt ohne Beschädigung der Dämmschicht die Belastung auf die Tragkonstruktion.

- Grenzbelastung:

- . Die Energie wird durch die Kiesschicht gedämpft.
- . Die Betonplatte deformiert sich so, dass die Dämmschicht gestaucht wird. Dabei wird weiter Energie aufgebraucht und der Stoss gedämpft.
- . Die restliche Energie hat die Tragkonstruktion aufzunehmen.

Dieser Sandwich-Aufbau erlaubt die Foundation, Stützen usw. auch für grössere Grenzbelastungen nicht wesentlich verstärken zu müssen. Der beschädigte Aufbau muss aber nach Einwirkung der Grenzbelastung erneuert werden. Die Berechnungsgrundlagen für solche Konstruktionen sind durch Versuche zu gewinnen.

Ähnliche Wirkungsweisen können mit nichtbetonartigen Materialien sowie mit speziellen Betonzusammensetzungen (cellular concrete) erreicht werden Lit. [5].

Die dynamische Berechnung von Galerien erfolgt am besten mit Computerprogrammen (Finite Elemente). Es sei hier auch auf Lit. [6] verwiesen.

Bei der Ausbildung von Galerien sind einige konstruktive Gesichtspunkte zu beachten:

- Die Dachneigung der Galerien bestimmt die weiteren Flugbahnen der Steine (Fig. 76).

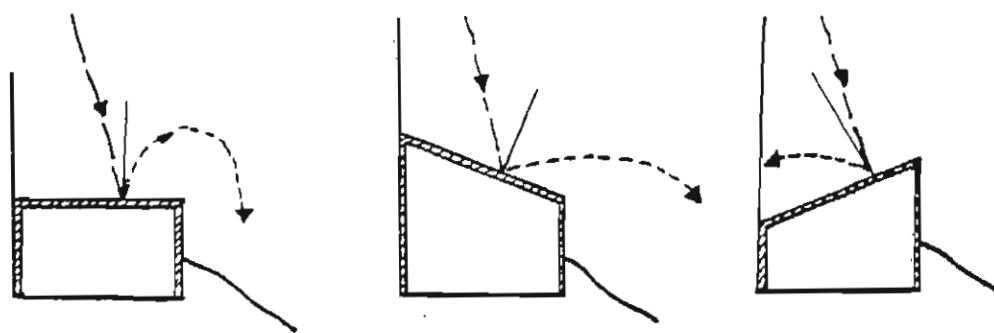


Fig. 76 Einfluss der Dachneigung auf die Flugbahn

- Sofern Steine direkt auf Stahlbetonteile aufschlagen, besteht die Gefahr von Abplatzungen. Es sind daher Vorkehrungen gemäss Fig. 77 anzuordnen.

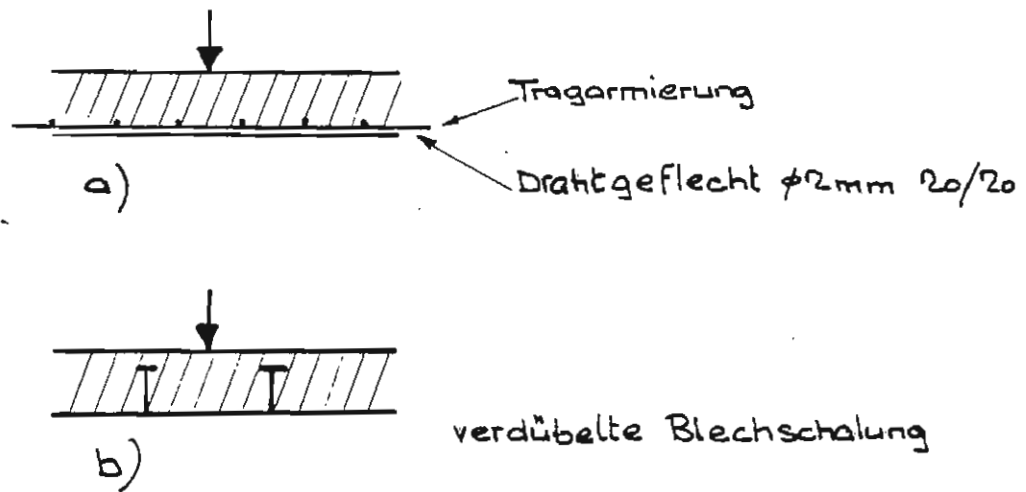


Fig. 77 Abplatzschutz

6. AUSSCHREIBUNG

Die Grundlage für die Ausschreibung bilden die SIA-Normen:

- 117 Norm für die Ausschreibung und Vergebung von Arbeiten und Lieferungen bei Bauarbeiten/Submissionsverfahren.
- 118 Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten.
- 164 Stahlbauten
Holzbauten
- 220 Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten an Ort, Leistung und Lieferung.
- 230 Stahlbauten, Leistung und Lieferung.

Ferner sind die Vorschriften von Bund, Kantonen, SUVA usw. zu beachten.

Bei Steinschlagsicherungen handelt es sich um Spezial-Bauwerke in schwierigem Gelände. Ihre Konstruktion ist stark von den Oertlichkeiten abhängig.

Während der Bauausführung gewonnene Erkenntnisse führen nicht selten zu nachträglichen Entwurfs- und Massenänderungen. Dieser erstrebenswerten Flexibilität in der Bauausführung ist bei der Ausschreibung Rechnung zu tragen.

In den meisten Fällen eignen sich die Normpositionenkataloge nicht für das Leistungsverzeichnis. Die einzelnen Positionen des Leistungsverzeichnisses sind viel mehr detailliert, übersichtlich und logisch zu umschreiben. Zudem ist eine Begehung unerlässlich und Voraussetzung für die Einreichung qualifizierter Angebote.

Bei der Bauausführung sind - je nach Unternehmer - verschiedenartige Geräteeinsätze möglich. Die Ausschreibung hat diese Tatsache zu berücksichtigen. Beim Aushub sind deshalb zB. theoretische Abmessungen aufzuführen und dem Unternehmer ist die Ausführung, unter Einhaltung gewisser Randbedingungen, offen zu lassen (vgl. Fig. 78).

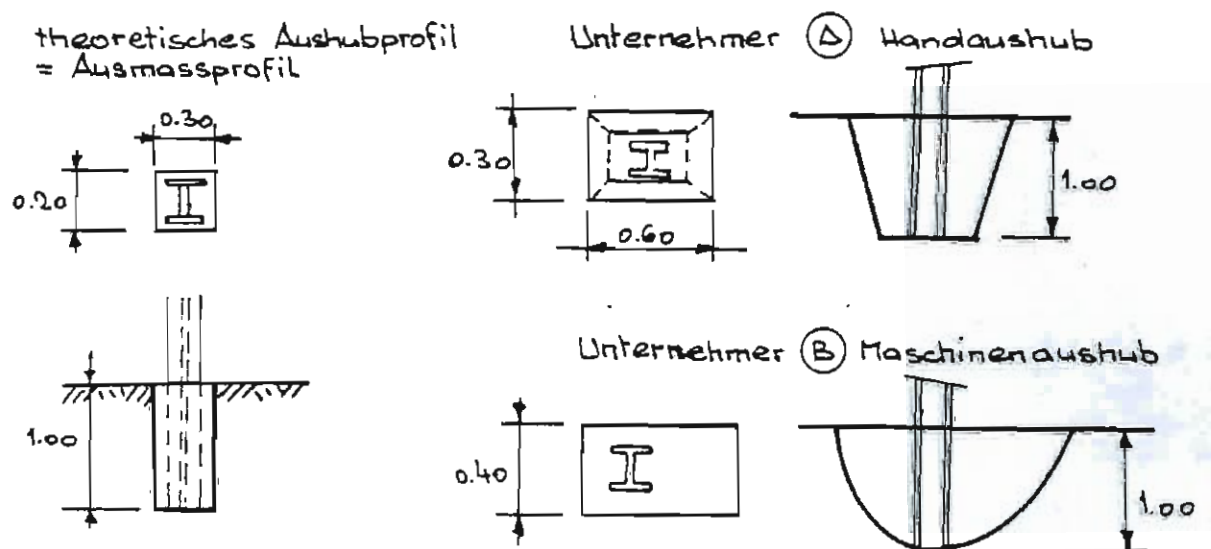


Fig. 78

Vergleich theoretisches Aushubprofil -
Unternehmeraushub

Das Leistungsverzeichnis hat auch die Sicherung tieferliegender Anlagen vor den Auswirkungen der Bauarbeiten zu beinhalten.

Bei der Festlegung von Fertigstellungsterminen ist den örtlichen Klimabedingungen die entsprechende Beachtung zu schenken. Felsarbeiten sollten mit Frosteintritt abgeschlossen bzw. unterbrochen werden.

7. UEBERWACHUNGS- UND UNTERHALTSARBEITEN

Die angeordneten Schutzmassnahmen müssen überwacht und unterhalten werden.

Veränderungen über Anzeichen von Steinschlaggefahr wie auch der Zustand der Schutzmassnahmen sind zu beobachten und festzuhalten.

Die Steinschlagprotokolle müssen nachgeführt werden.

Hinterfüllte Schutzwände sind zu entleeren, beschädigte Teile auszuwechseln, Drainagen sind zu unterhalten.

Bei Vernachlässigung dieser laufenden Arbeiten besteht keine Gewähr, dass die Schutzmassnahmen ihre Schutzfunktion auch auf die Dauer erfüllen können.

Es ist Aufgabe des Bauherrn die entsprechenden Aufträge zu erteilen.

Bei der Projektierung ist den Ueberwachungs- und Unterhaltsarbeiten die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Der Felsbau, Dr.Ing. Leopold Müller Salzburg
Erster Band, 1963
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

- [2] Vorlesungen über Massivbau
Dritter Teil
Grundlagen zum Bewehren im Stahlbetonbau
F. Leonhardt und E. Mönning
Springer-Verlag

- [3] Highway Research
Record, Number 17
Stability of Rock Slopes
Evaluation of Rockfall and its Control
Ritchie A.M. (1963)

- [4] Die Lawinenstützverbauung mit Drahtseilschneezäunen
F. Brugger, Schruns und E. Leys, Imst
Oesterreichische Ingenieurzeitschrift Nummer 4, 1977

- [5] Shock-Absorbing-Materials
Technical Report No 6-763
G.C. Huff
U.S. Army Engineer Waterways
Experiment Station, Vicksburg, Mississippi

- [6] Dynamisch beanspruchte erdüberdeckte Bauwerke bis
zur Grenztragfähigkeit
Dr.Ing. R. Pelz, Bericht Nr. 80-32
Institut für Statik der TU Braunschweig

- [7] Das technische Risiko als Rechtsproblem
Dr. Marburger
Schweiz. Ingenieur und Architekt 39/81, S. 829

- [8] Steinschläge und Felsstürze
Voraussetzungen-Mechanismen-Sicherungen
Prof.Dr.-Ing. K.W. John und Dipl.Geol. R.M. Soang
Ruhr-Universität Bochum

BEGRIFFE

Absturz:	Ereignis des Steinschlages, Felssturzes oder Bergsturzes
Aktive Schutzmassnahmen:	Siehe Schutzmassnahmen
Aufprallenergie:	Vorhandene Energie des fallenden Blockes kurz vor dem Aufprall $E = 1/2 mv^2 = m \cdot g \cdot h$
Auslenkung:	Flugbahnabweichung von der Geraden im Grundriss nach erfolgtem Bodenkontakt
Baumdurchmesser:	Siehe Brusthöhendurchmesser
Bergsturz klein:	Materialabsturz 10'000 ÷ 100'000 m ³
mittel:	Materialabsturz 100'000 ÷ 1'000'000 m ³
gross:	Materialabsturz > 1'000'000 m ³

Böschungsbezeichnungen:

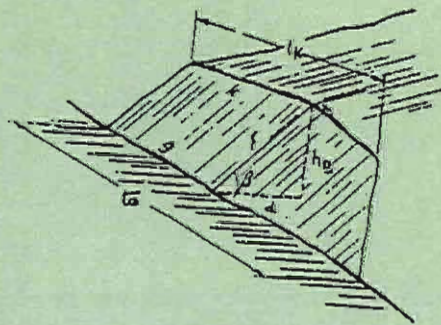


Fig. 1 Böschungsbezeichnungen

k, l_k : Krone, Kronenlänge

f : Fallinie

g, l_g : Fuss, Fusslänge

h_B : Böschungshöhe

d : Böschungsbasis

β : Böschungswinkel

$\frac{h_B}{d}$: Böschungsneigung

Böschungsformen:

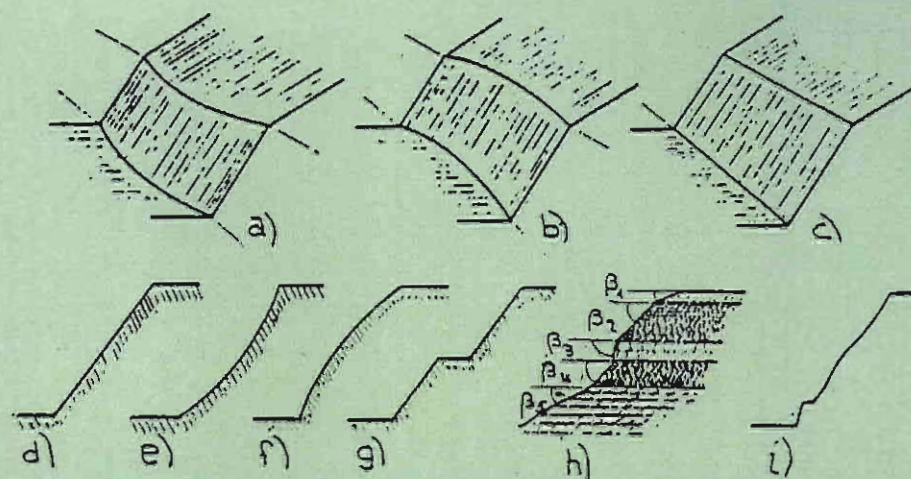


Fig. 2 Böschungsformen

- | | | |
|---------------|-----------------------|------------------|
| a) konkav | b) konvex | c) gestreckt |
| d) eben | e) durchhängend | f) bauchig |
| g) gestaffelt | h) geologisch bedingt | i) unregelmässig |

Bruchdehnung: ϵ_{10}

Bruchdehnung des Stahls im Bereich der Einschnürung, Bezugslänge 10 d

 ϵ_5

Bruchdehnung des Stahls im Bereich der Einschnürung, Bezugslänge 5 d

Brusthöhendurchmesser:

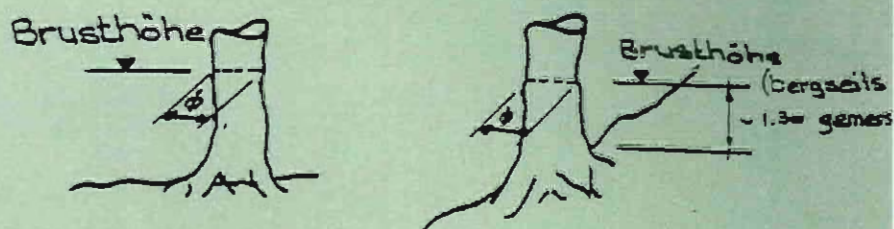


Fig. 3 Messstelle für die Bestimmung der Baumdurchmesser

Darstellung von Streichen und Fallen

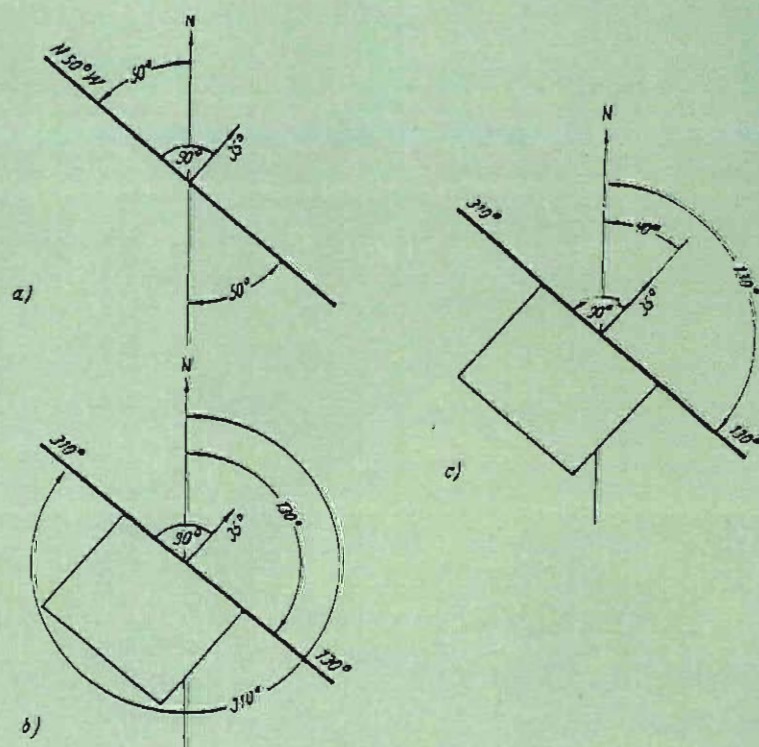


Fig. 4a - 4c Schreibweisen des Streichens und Fallens geologischer Flächen a) und b) alte Schreibweise, c) neue Schreibweise in Kugelkoordinaten der Falllinie

Einbindetiefe:

Tiefe der Fundamente senkrecht zur Terrainoberfläche gemessen

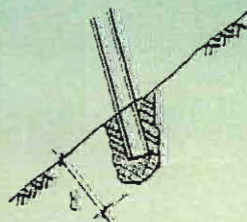


Fig. 5 Einbindetiefe

Einzugsgebiet: Gebiet, aus dem sich Material löst oder lösen kann

Fallboden:

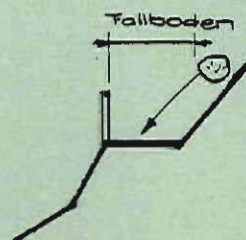


Fig. 6 Fallboden

Fallen:

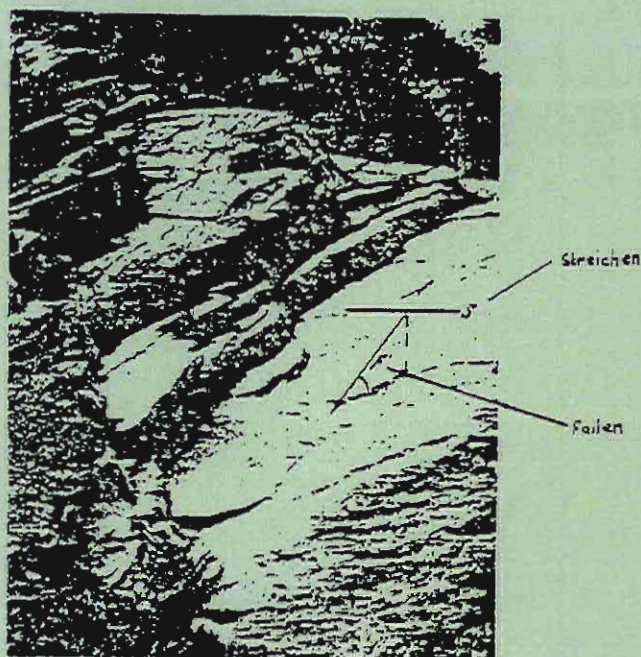


Fig. 7 Streichen, Fallen

Felssturz : Einzelne Blöcke grösser als 0.5 m³ Inhalt. Pro Ereignis 10 - 10'000 m³

Felsrutschung: Gleitende Abwärtsbewegung von Felsmasse

Flachböschung: Böschungswinkel < 40°, dh. bei guten Verhältnissen ohne Hilfsmittel begehbar

Gebrauchsbelastung: Wiederkehrende Belastungen. Das Schutzbauwerk soll dadurch keinen Schaden erleiden, welcher zur Herabsetzung der Traglast führt.

Gleichmassdehnung ϵ_{G1} : Dehnung (Stahl) ausserhalb der Einschnürung
 $\epsilon_{G1} = 2 \cdot \epsilon_{10} - \epsilon_5$ oder
 ϵ bestimmt an einem Prüfstück mit der Basislänge ≥ 1.00 m

Grenzbelastung: Einzelne Belastungen, welche gerade noch ausgehalten werden sollen. Das Schutzbauwerk darf dadurch Schaden erleiden, aber das zu schützende Objekt soll nicht beschädigt werden.

Hang: Lange Böschung

Kornformen: Rund, stengelig, plattig

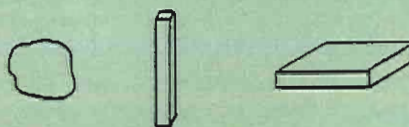


Fig. 8 Kornformen (vgl. Lit. [1])

Korngrössenspektrum: Kurve der Häufigkeiten des Auftretens von Steinen der einzelnen Korngrössen

Murgang (Mure): Schutt- und Schlammstrom im Hochgebirge

Reiste: Holzrutsche

Rüfe: Erdrutsch, Steinlawine

Schutzbauwerk: Ein Bauwerk zum Schutz von Objekten, zB. Erdwall, Holzverbauung usw.

Schutzgebiet: Gebiet mit Schutzobjekten

Schutzmassnahmen aktiv: Schutzmassnahmen im Einzugsgebiet zur Verhinderung des Loslösens unstabiler Felspartien und Blöcke/Steine

Schutzmassnahmen
passiv:

Schutzmassnahmen oberhalb des Schutzgebietes
zum Aufhalten und Auffangen oder Umleiten ab-
gestürzter Felsmassen

Schutzobjekt:

Zu schützendes Objekt wie Verkehrsträger, Ge-
bäude usw.

Schutzwand, Schutz-
wandfläche:

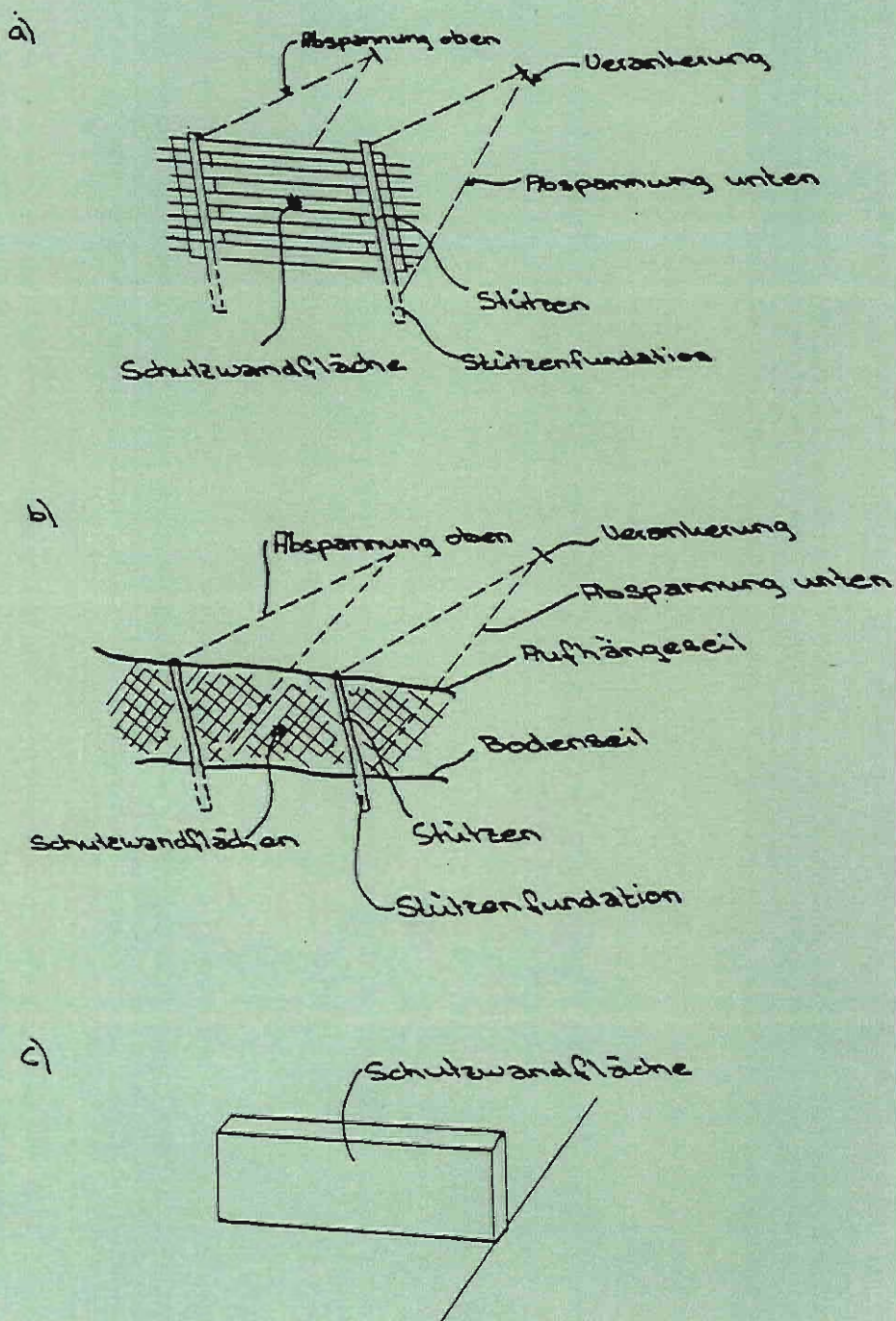


Fig.9

Schutzwände aus a) Eisenbahnschwellen, b) Netzen,
c) Beton

Sicherungsbauwerk:	Schutzbauwerk
Steinschlag:	Herabrollen, -springen oder -fallen einzelner Steine oder Blöcke bis 0.5 m ³ Inhalt. Pro Ereignis nicht mehr als 10 m ³ Felsmaterial. Oft auch als Sammelbegriff für "Steinschlag" und "Felssturz" angewendet.
Steinschlagprotokoll:	Liste mit Angaben über erfolgte Steinschläge während einer bestimmten Beobachtungsperiode
Steilböschung:	Böschungswinkel 40° - 90°
Streichen:	Himmelsrichtung der horizontalen Hauptrichtung bei Klüften oder Schichten (siehe Fig. 7)
Traglast:	Maximal aufnehmbare Belastung (Energie)
Ueberbelastung:	Zustand eines Schutzbauwerkes bei einer Beanspruchung durch Steinschlag, die nur abgebremst, nicht aber aufgehalten werden kann.
Verbauung:	Gesamtheit der Schutzbauwerke in einem Projektierungsabschnitt
Verbauungshöhe:	

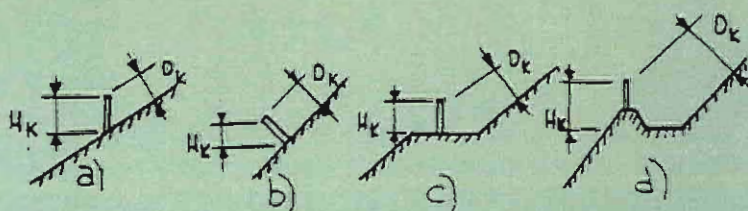


Fig. 10a - d Verbauungshöhen

D_k = rechtwinklig

H_k = vertikal

Wiederkehrperioden:	Mittlere Zeitspanne zwischen zwei Abstürzen
---------------------	---

Anhang 2 Beispiel Bestandesaufnahme

A2.1

Steinschlag Nr.

Datum: 30. März 1980

Adresse der Registrierstelle:

Kant. Bezirkstiefbauamt b
7130 Lanz

Sachbearbeiter:

Josef Fleep, Disentis

Eintragen in Situation, Plan Nr.:

Datum des Steinschlages:

30.3.1980

Zeit: 12³⁰ - 20³⁰ Wetter: schön

Schneedecke vorhanden/~~nicht vorhanden~~¹⁾

Photos vorhanden

Ort: Region

Lukmanierstrasse Medelsertob

Genaue Bezeichnung

Caschlatscha

Höhenlage

ca. 1250 m. ü. M.

Geologischer Aufbau:

Untergrundbeschaffenheit im Auslösegebiet:

Schiefer

Untergrundbeschaffenheit im Schutzgebiet:

Sind Schutzbauwerke vorhanden?

nein

Welcher Art?

Wer hat den Absturz beobachtet?

Fahrzeuglenker

Was ist die vermutete Ursache des Steinschlages?

Abkühlung, Frost

Angerichteter Schaden

keiner

Zurückgelegter Weg

Hangneigung

ca. 3:1

Steingrösse

0-30/30/40 cm

Steinform

Sprungweiten

bis 2 m

Sprunghöhe

Geschätzte Geschwindigkeit

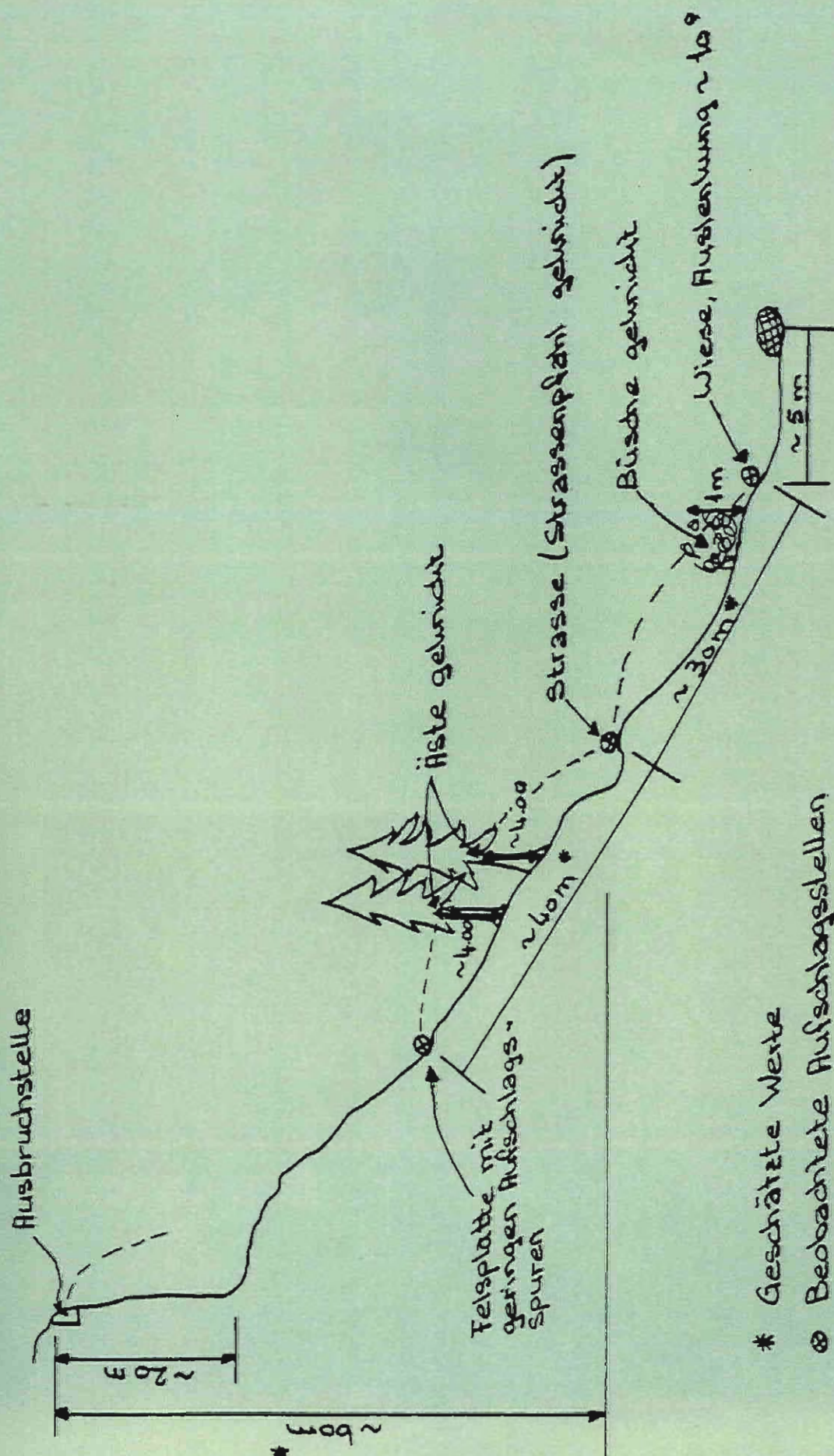
Letzter Steinschlag in diesem Gebiet

häufig im Frühjahr und nach
Regenperioden, jedoch unbedeutend

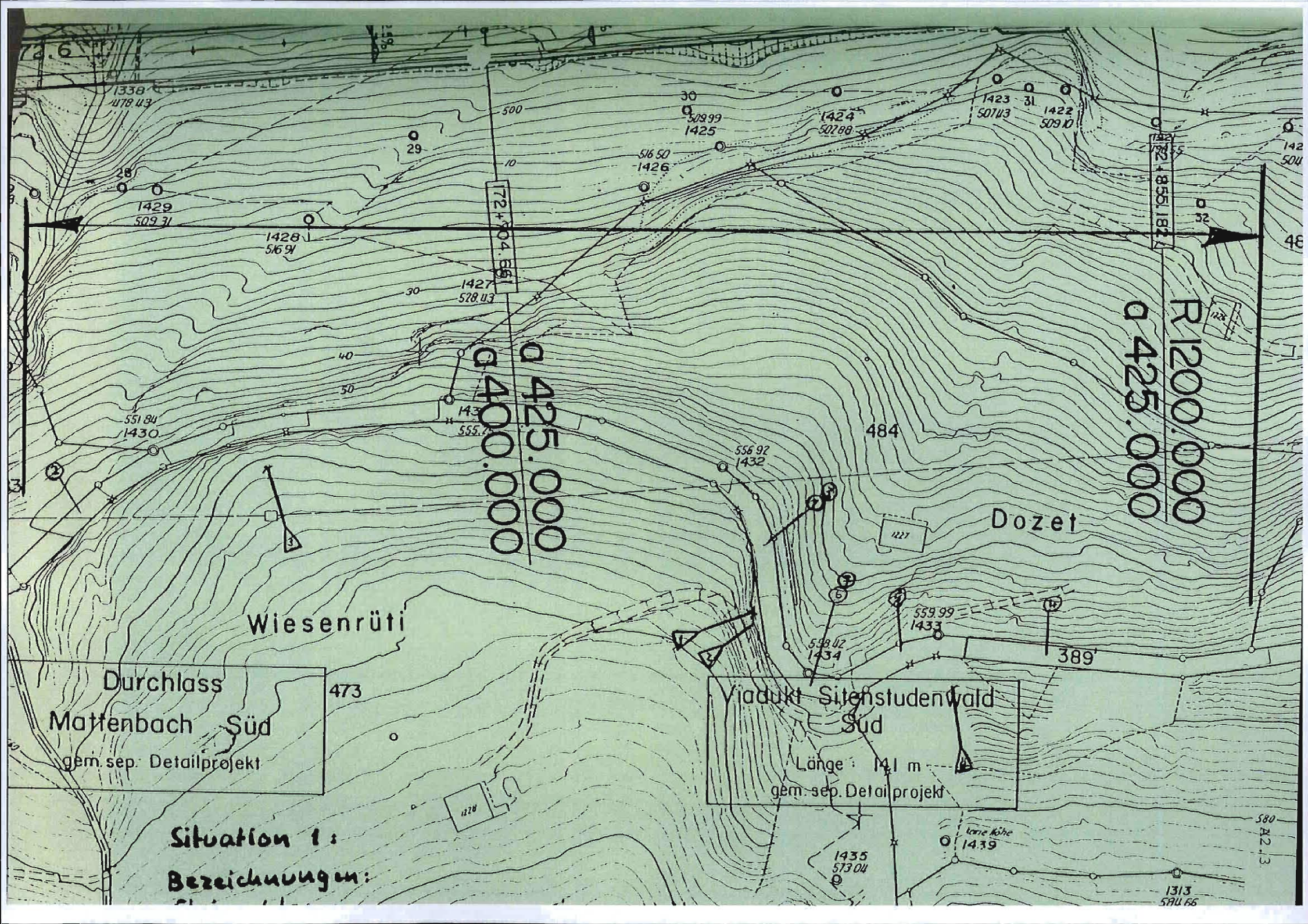
Bemerkungen und Skizze:

Profil siehe sep. Blatt

1) Nichtzutreffendes streichen



- * Geschätzte Werte
- ⊗ Beobachtete Aufschlagsstellen
- mögliche Flugbahn



Durchlass
Mattenbach Süd
gem. sep. Detailprojekt

Viadukt Sitenstudenwald
Süd
Länge: 141 m
gem. sep. Detailprojekt

Situation 1:
Bezeichnungen:

Punkt 1:

Aufnahme vom

rev. Aufnahme vorhanden ☐Punkt 2.:

Aufnahme vom

rev. Aufnahme vorhanden



Punkt 3:

Außenabnahme von

rev. Außenabnahme vorhanden ☐Punkt 4:

Außenabnahme von

rev. Außenabnahme vorhanden ☐

Bemerkungen zu der Bestandesaufnahme:

Beim Fehlen von Bestandesaufnahmen sind die kompetentesten Auskünfte bei den zuständigen Strassenmeistern einzuholen. Auch die Untersuchung des Strassenbelages, der Bäume usw., auf mögliche Aufschlagsspuren führt zu nützlichen Informationen.

Bei neu zu projektierenden Strassen ist es wesentlich schwieriger, Angaben für zuverlässige Rückschlüsse auf das Korngrössenspektrum zu erhalten. Steinschlagprotokolle liegen keine vor. Auf Wiesen abgestürzte Steine werden in der Regel laufend weggeräumt.

Die dringend benötigten Angaben sind deshalb bei den Grundstückseigentümern bzw. den Pächtern einzuholen. Es ist zu berücksichtigen, dass das Einzugs- und Schutzgebiet nicht zu klein gewählt wird, da die Blöcke bis zu ihrer endgültigen Lage weite Wege zurücklegen können.

