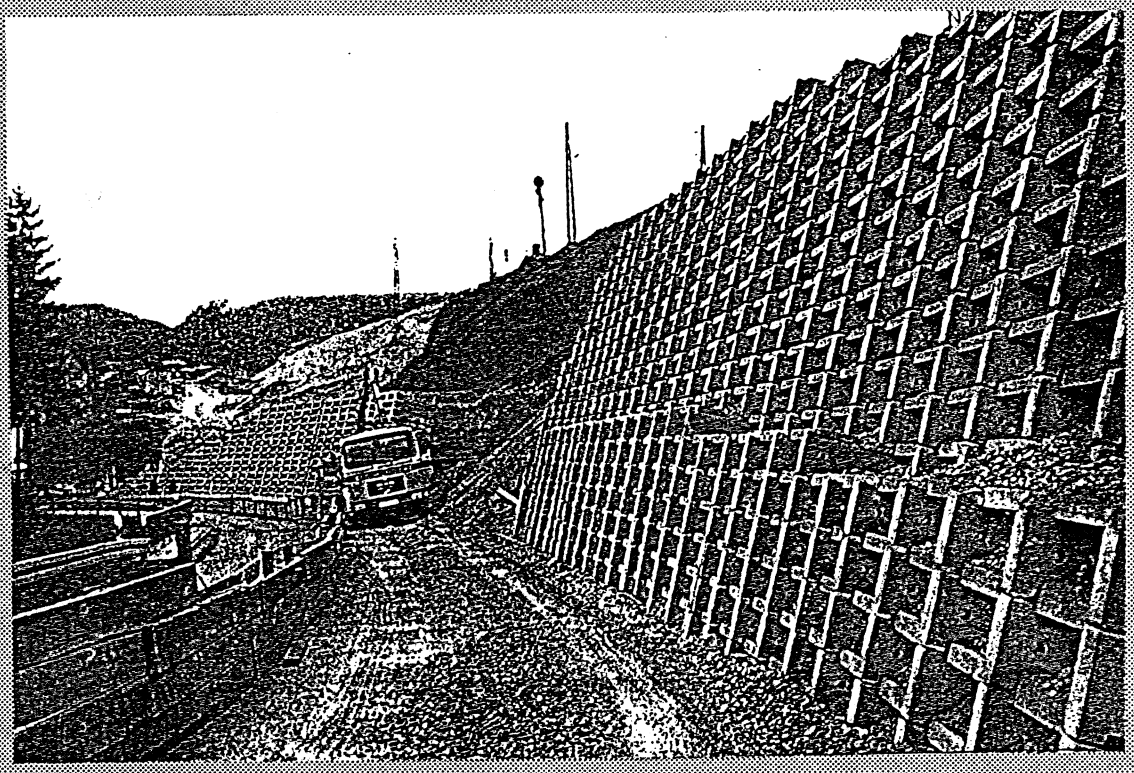
Bundesamt für Strassenbau

STÜTZBAUWERKE

Forschungsbericht



Grundlagen zur Schaffung einer neuen Norm für Stützbauwerke

Allemand Jeanneret Schmid SA, Neuchâtel
GSS Bau und Planung AG, Zürich

Zürich, 30. September 1992

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

1.2 Ziel und Umfang des Forschungsauftrages

1.3 Probleme bei Stützbauwerken

1.4 Definition

1.4.1 Allgemeines
1.4.2 Im Bericht behandelte Stützbauwerke
1.4.3 Im Bericht nicht behandelte Stützbauwerke

2. Generelle Anforderungen an Stützbauwerke

2.1 Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit

2.2 Umweltverträglichkeit

2.3 Ueberwachung und Unterhalt

2.4 Wirtschaftlichkeit bei Bau und Unterhalt

2.4.1 Wirtschaftlichkeit beim Bau
2.4.2 Wirtschaftlichkeit beim Unterhalt

3. Faktoren für die Wahl von Stützbauwerken

3.1 Uebersicht

3.2 Wahl des Stützbauwerkes

4. Dimensionierung von Stützbauwerken

4.1 Grundsätze

4.2 Modellbildung

4.2.1 Baugrund und hydrologische Verhältnisse
4.2.2 Stützbauwerke
4.2.3 Wechselwirkung Bauwerk - Baugrund

4.3 Boden- und Materialkennziffern

4.3.1 Raumgewicht
4.3.2 Scherfestigkeit
4.3.3 Wandreibungswinkel
4.3.4 Weitere Kenngrössen

4.4 Einwirkung auf Stützbauwerke

4.4.1 Erddrücke
4.4.2 Wasserdruck
4.4.3 Anker, Abstützungen
4.4.4 Auflasten, Verkehr
4.4.5 Vibrationen, Erdbeben, Anprallkräfte

4.5 Erforderliche Nachweise

4.5.1 Tragsicherheit
4.5.2 Weitere Sicherheitsaspekte
4.5.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

5. Konstruktive, gestalterische und ausführungstechnische Aspekte

5.1 Konstruktive Aspekte

5.1.1 Fundamente
5.1.2 Wände
5.1.3 Fugen und Mauerkronen
5.1.4 Anker
5.1.5 Entwässerung
5.1.6 Hinterfüllung und Verdichtung
5.1.7 Bepflanzung und Bewässerung

5.2 Umweltverträglichkeit

5.2.1 Gestaltung und Integration in die Landschaft
5.2.2 Lärm
5.2.3 Auswirkungen auf Fauna, Flora, Hydrologie, Land- und Fortswirtschaft

Anhang:

A Grobstruktur der Norm
B Schadenkatalog

Zürich, 5. November 1991/30. September 1992
GSS/2403.01/JST/HS/RH
AJS /Dr. SD/Hi

ZUSAMMENFASSUNG

Die derzeit in der Schweiz gültigen Stützmauern aus den Jahren 1968 bis 1970 genügen den heutigen Bedürfnissen nicht mehr. Sie beziehen sich vor allem auf konventionelle Schwergewichts- und Winkelstützmauern und sind auf das damals erschienene Buch über Stützmauern ausgerichtet. Den umfassenden Tabellen für die Bemessung kommt heute, wegen der Möglichkeit die Berechnungen mit Computer durchzuführen, nicht mehr der damalige Stellenwert zu. Zudem fehlen im Normenwerk viele Gebiete, welche heute eine grosse Bedeutung haben, wie Massnahmen für die Dauerhaftigkeit und den Unterhalt, Kriterien für die Systemwahl und Gestaltung, die Integration in die Landschaft, Grundlagen für aufgelöste Stützbauwerke, etc.

Der vorliegende Bericht stellt eine Grundlage zur Schaffung einer neuen Norm für Stützbauwerke dar. Es war im Rahmen dieses Forschungsauftrages aber nicht vorgesehen, alle Aspekte des grossen Fachgebietes der Stützbauwerke vertieft zu behandeln. Dazu werden weitere Studien nötig sein. Der Bericht beschränkt sich auf wesentliche Hinweise und Normvorschriften. Auf die Darstellung von Erkenntnissen, welche Lehrbüchern entnommen werden können und auf Checklisten wurde bewusst verzichtet.

Der Forschungsbericht definiert **die verschiedenen Arten der Vielfalt der Stützbauwerke, die generellen Anforderungen** an diese und zeigt Faktoren für **die Wahl der Stützbauwerke** auf. Vor der Wahlt eines Stützbauwerkes ist insbeondere dessen konzeptionelle Zweckmässigkeit und möglichst gute Integration in die Landschaft zu prüfen. Bei den Hinweisen zur **Dimensionierung der Stützbauwerke** wird vor allem auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Modells Bauwerk/Boden Wert gelegt. Die **konstruktive und ausführungstechnischen Aspekte** basieren auf Schadenfällen und Erfahrungen von einigen Kantonen. Im Anhang des Berichtes ist ein Vorschlag für die **Grobstruktur einer neuen Norm** und ein Schadenkatalog enthalten.

RESUSME

Les normes en vigueur à ce jour en Suisse pour le murs des soutènement, qui datent des années 1968 à 1970, ne satisfont plus aux exigences actuelles. Elles traiten avant tout des murs poids et en équerre et se réfèrent au manuel publié à l'époque sur les murs de soutènement.

Au vue des possibilités qu'offre maintenant le dimensionnement sur ordinateur, le catalogue numérique d'alors n'est plus à la hauteur des procédés de calcul en cours. Font en outre défaut dans les normes de nombreux domaines qui ont pris une grosse importance, tels que les mesures touchant l'entretien et la durée de vie des ouvrages, les critères de choix de la structure et du système porteur, l'intégration dans le paysage, les concepts de base d'ouvrage de soutènement allégés, etc.

Le but du présent rapport est de jeter les bases nécessaires à la création d'une nouvelle norme pour les ouvrages de soutènement. Mais i n'était pas prévu, dans le cadre de ce mandat de recherche, de traiter à fond tous les aspects du vaste ensemble des ouvrages de soutènement. Il faudrait y consacrer encore bien des études. Le rapport se borne à faire état des directives et precriptions essentielles, en renonçant délibérément à l'exposé des connaissances livresques et à des listes récapitulatives.

Le rapport de recherche définit **les différents types parmi les multiples ouvrages de soutènment, les exigences fondamentales** auxquelles ils doivent satisfaire et met en évidence **les critères de choix** pour les ouvrages de soutènement. Avant d'arrêter un choix sur un ouvrage de ce genre, il convient en effet d'examiner si ca conception est judicieuse et de veiller à son intégration aussi heureuse que possible dans le paysage.

Les directives de dimensionnement des ouvrages mettent un accent tout particulier sur une vision du modèle global ouvrage / terrain. Les considerations d'ordre constructif et de technique d'exécution se fondent sur des expériences et des sinistres vécus dans différents cantons. L'annexe au rapport contient l'ébauche **d'une canevas d'une nouvelle norm et un catalogue des sinistres.**

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Die in der Schweiz gültigen VSS-Stützmauernormen und die dazugehörigen Unterlagen genügen den heutigen Bedürfnissen der Praxis nicht mehr. Neben den konventionellen Stützbauwerken wie Schwergewichtsmauern oder Winkelstützmauern finden zunehmend auch andere Konstruktionen zur Böschungssicherung wie Raumgittermauern, bewehrte Erde usw. Eingang in die tägliche Praxis. Forderungen wie möglichst gute Einpassung ins Landschaftsbild, Begrünung sowie Lärmschutzaufgaben verstärken diesen Trend. Das bisherige Stützmauerbuch der VSS behandelt jedoch nur konventionelle Mauern. Den darin enthaltenen, umfangreichen Tabellenwerken für die Bemessung kommt heute, wegen der Möglichkeit, die Berechnungen mit Computern durchzuführen, nicht mehr der einstige Stellenwert zu. Ausserdem fehlen im Normenwerk viele Aspekte, die heute eine grosse Bedeutung haben, wie beispielsweise Kriterien für die Systemwahl und Gestaltung, Massnahmen für die Dauerhaftigkeit und für den Unterhalt usw.

In der Schweiz stellen die Aufwendungen für die Stützbauwerke einen erheblichen Teil der Gesamtkosten von Strassen dar. Stützbauwerke gehören zudem zu den Bauwerken, bei denen öfters Schadenfälle auftreten. Es besteht deshalb bei den öffentlichen und privaten Bauherren, wie auch bei den mit der Projektierung und Bauleitung beauftragten Ingenieuren und bei den Unternehmungen ein Bedürfnis nach neuen Richtlinien für Stützbauwerke. Sie sollen einen Leitfaden für Bauherren und eine klare Grundlage für die Ingenieuraufträge und Werkverträge mit den Unternehmern bilden und die wichtigsten Fragen der Planung, der Ausschreibung, der Vergebung, Ausführungsüberwachung und des Unterhalts von Stützbauwerken behandeln.

Ausgangslage für die Neugestaltung der Norm sind einerseits die heutigen Bedürfnisse und Anforderungen an Stützbauwerke, andererseits jedoch auch Lehren aus bisherigen Schadenbeobachtungen, welche im Schadenkatalog aufgelistet sind.

1.2 Ziel und Umfang des Forschungsauftrages

Es sollen die zur Schaffung einer neuen Norm für Stützbauwerke wesentliche und wichtige Unterlagen bereitgestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die neue Norm im Vergleich zur bisherigen einen grösseren Geltungsbereich aufweisen soll, indem sie sämtliche Stützbauwerke im Bereich von Strassen und Bahnen umfasst. Die neue Norm soll sich auf das Wesentliche beschränken und weniger auf Details eingehen.

Der Forschungsbericht soll in Ergänzung zu Lehrbüchern Schlussfolgerungen aus heutigen Erkenntnissen und Schadenfällen beinhalten.

1.3 Probleme bei Stützbauwerken

Im 1. Halbjahr 1990 wurden mit Vertretern von einigen Kantonen ihre Probleme und Schäden bei Stützbauwerken besprochen.

Die Kontrolle der Bauwerke ist je nach Organisation des Unterhaltes verschieden. In den Berggebieten werden vor allem Schwergewichtsmauern ausgeführt, in den dichter besiedelten Gebieten sind sämtliche Typen von Stützbauwerken anzutreffen.

Typische Probleme und Schäden sind die Korrosion von Ankern, die Abplatzungen von Beton, unzulängliche Fugenkonstruktionen und Entwässerungen sowie die aesthetischen Probleme der Einfügung der Stützbauwerke in das Landschaftsbild. In verschiedenen Kantonen wurden und werden dagegen eine Reihe von Massnahmen getroffen, die in den Kapiteln 4 (Dimensionierung) und 5 (konstruktive und gestalterische Aspekte) enthalten sind.

Die Einzelheiten der Bestandesaufnahme können dem "Schadenkatalog" in der Beilage entnommen werden.

1.4 Definitionen

1.4.1 Allgemeines

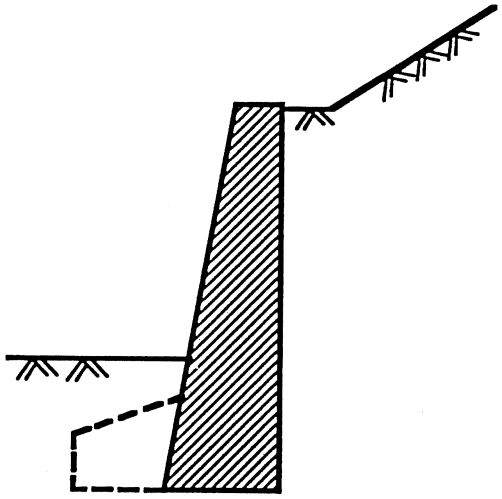
Nachfolgend werden die gebräuchlichsten Stützwand-Systeme einzeln definiert und kurz beschrieben.

Die im Bericht behandelten Typen stellen permanente Stützbauwerke dar. Temporäre Baugrubenabschlüsse sowie provisorische Massnahmen oder Oberflächensicherungen werden nicht behandelt. Aufgeführt und kurz skizziert werden trotzdem auch Abschlüsse, welche mehrheitlich als temporäre Massnahmen angewandt werden, weil der Uebergang teilweise fliessend ist und dies auch die Möglichkeit für atypische Systemanwendungen offenlässt.

1.4.2 Im Bericht behandelte Stützbauwerke

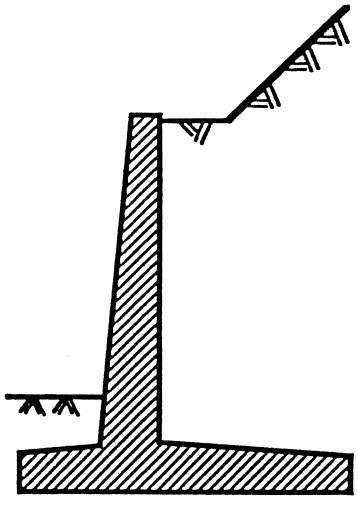
- **Schwergewichtsmauern:**

  Die Schwergewichtsmauer ist eine aus nichtarmiertem Ortsbeton hergestellte massige Mauer, welche die Stabilität und die Stützwirkung vorwiegend aus dem Mauereigengewicht bezieht.



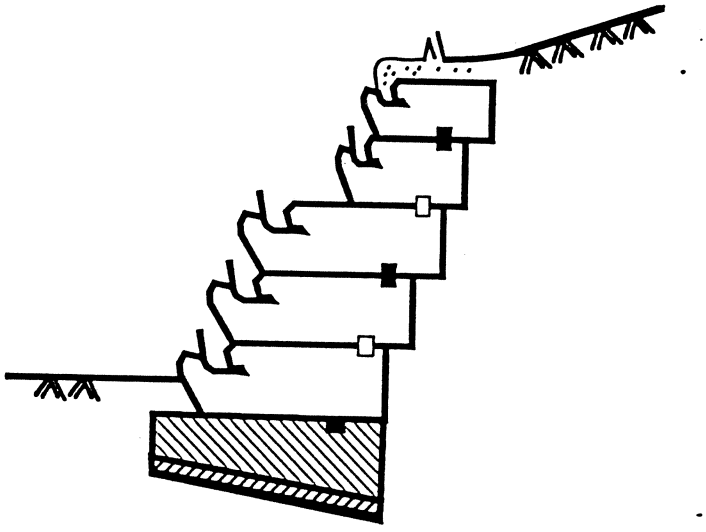
- **Winkelstützmauern:**

  Winkelstützmauern sind armierte, aus Ortsbeton hergestellte, schlanke Mauern. In der Regel wird das Gewicht des zu stützenden Erdreiches zur Erhöhung der Kippstabilität genutzt. Als Varianten zu reinen Winkelstützmauern werden Konsolmauern gebaut, welche durch die Abschirmwirkung die horizontalen Erddruckkräfte reduzieren.



- **Raumgitter-Stützmauern:**

Raumgitter-Stützmauern bestehen aus Betonfertigteil- oder Stahlelementen, welche nach einem Baukastensystem derart aufeinander gelagert werden, dass sie ein räumliches Gitter bilden. Die Zellen dieses Gitters werden mit Boden verfüllt, wodurch ein tragender Verbundkörper entsteht, der durch sein Eigengewicht den Hanganschnitt stabilisiert.

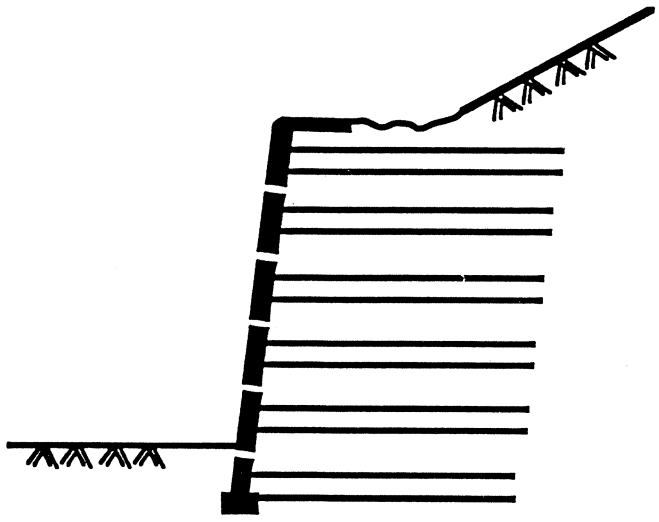


- **Elementankerwände:**

  Elementankerwände werden abschnittweise hergestellt, indem der Hang in mehreren Tiefenetappen (eventuell auch in horizontalen Etappen) angeschnitten und nach jeder Etappe mit rückverankerten Betonplatten abgestützt wird. Diese bilden eine geschlossene oder aufgelöste Wand, wobei die aufgelöste Wand zusätzlich noch ausgefacht werden kann.

- **Bewehrte Erde:**

  Unter dem Begriff "bewehrte Erde" wird allgemein ein Verbundkörper aus Wandelementen, Boden und Bewehrung verstanden. Das Eigengewicht dieses Bodenverbundkörpers stabilisiert den Hanganschnitt. Bei der Bewehrung handelt es sich vorwiegend um Geotextilien, Stahl- oder Kunststoffstäbe, Reibungsbänder, Matten usw., die einer Zugbeanspruchung ausgesetzt sind. Im engeren Sinn geht es bei der "bewehrten Erde" um eine Stützkonstruktion, welche aus einer sichtbaren Aussenfläche (oft aus Betonelementen) und Bewehrungsbändern besteht. Die Erddruckkräfte werden von den Bewehrungsbändern aufgenommen und über Reibung in den Boden abgetragen.

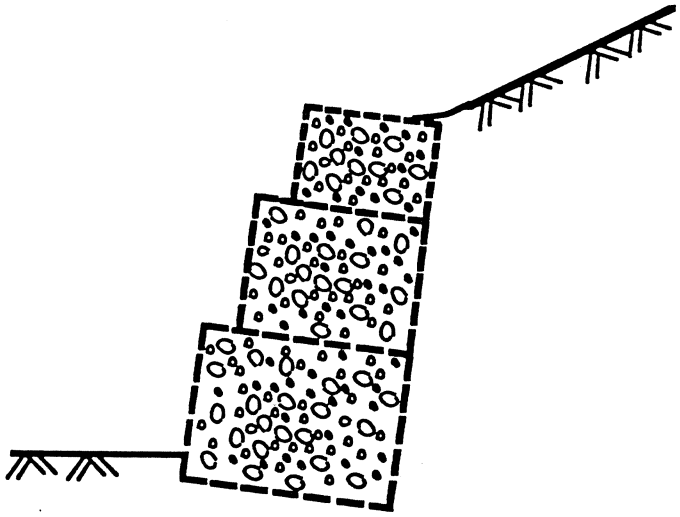


- **Polstermauern (Geotextilien):**

  Polstermauern haben prinzipiell dieselbe Wirkungweise wie die bewehrte Erde, jedoch bestehen sowohl die Verankerungselemente als auch die Aussenhaut aus Geotextilien. Diese werden in der Regel an der Luftseite umgeschlagen und erdseitig überlappt.

- **Stützmauern aus Gabionen:**

  Stützmauern aus Gabionen bestehen aus aneinander gereihten, bzw. übereinander geschichteten Steinpackungen, welche jeweils durch ein Drahtgeflecht zusammengehalten sind. Die Stabilität wird durch das Eigengewicht der Gabionen garantiert.



- **Stützmauern aus verfestigten Erdkörpern:**

  Stützmauern aus verfestigten Erdkörpern entstehen, indem Bodenmaterialien mit Bindemitteln wie Kalk, Zement oder synthetische Fasern gemischt bzw. injiziert werden. Dadurch erhöhen sich sowohl der Reibungswinkel als auch die Kohäsion und somit die Standfestigkeit des Bodens.

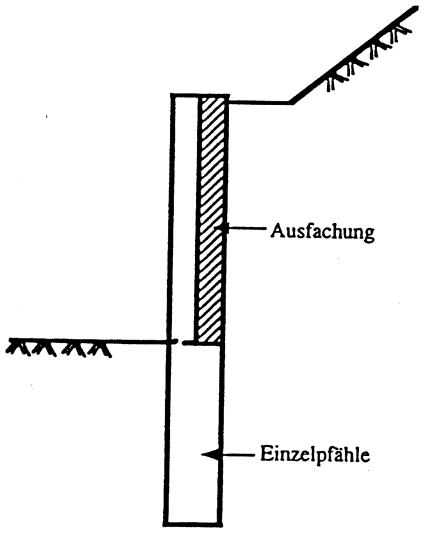
- **Spundwände:**

  Zur Erstellung der praktisch wasserundurchlässigen Spundwand werden einzelne, miteinander verkeilte Spundbohlen aus Stahl in den Boden gerammt oder vibriert. Die Spundwand ist vergleichsweise biegeweich und erfordert deshalb neben der Bodeneinspannung in der Regel Abstützungen mittels Spriessen oder Anker. Die Spundbohlen sind rückgewinnbar und mehrfach einsatzfähig.

- **Pfahlwände:**

  Pfahlwände bestehen üblicherweise aus Bohrpfählen mit einem Durchmesser zwischen 60 und 150 cm, die im Boden eingespannt sind. Von

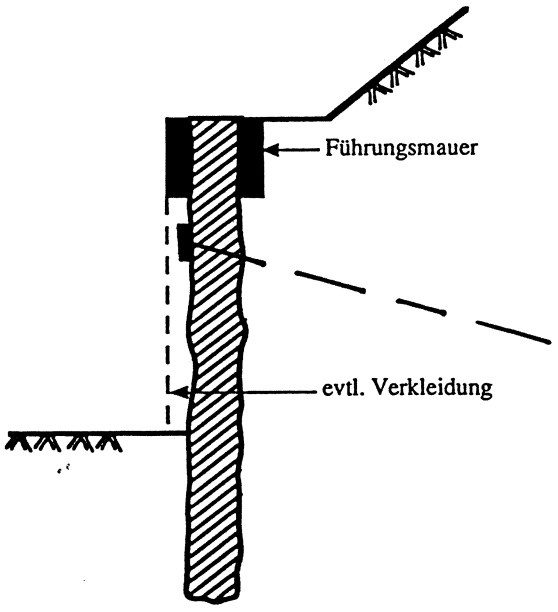
geschlossener Pfahlwand wird gesprochen, wenn sich die einzelnen Bohrpfähle tangieren oder überschneiden. Bei aufgelösten Pfahlwänden besteht ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Pfählen, der allenfalls ausgefacht wird. Pfahlwände werden unverankert im Boden eingespannt oder bei Bedarf verankert ausgeführt.



- **Schlitzwände:**

Unverankerte oder verankerte Schlitzwände werden abschnittsweise in einem vorgängig ausgehobenen und mit einer Bentonit - Suspension abgestützten Schlitz erstellt.

Der Schlitz wird so mit Beton verfüllt, dass die Bentonitsuspension rückgewinnbar aus dem Schlitz verdrängt wird. Diese erschütterungarme Erstellungsart erlaubt, Schlitzwände unmittelbar an bestehende Gebäude anzuschliessen. Die Wände sind im Boden eingespannt, biegesteif, wasserdicht und lassen sich als Aussenmauern direkt in Bauwerke integrieren.



1.4.3 Im Bericht nicht behandelte Stützbauwerke

Nicht behandelt werden temporäre oder provisorische Bauwerke sowie Sicherungsmassnahmen. Dazu gehören Baugrubenabschlüsse und Böschungssicherungsmassnahmen.

Trotzdem lassen sich die meisten nachfolgenden Richtlinien für die Stützbauwerke sinngemäss auch für die provisorischen Konstruktionen, bzw. Sicherungsmassnahmen anwenden.

- **Jetting - Wände:**

  Jetting - Wände entstehen durch Injizieren einer Suspension (z.B. Zementmilch) mittels Rotation in den Untergrund. Durch den rotierenden Druckstrahl löst sich der Boden und mischt sich mit dem Injektionsgut. Die Mischung erhärtet zu einer homogenen Masse, welche tragende Säulen, Scheiben, Körper, etc. bildet.

- **Rühlwände:**

  Bei Rühlwänden werden zunächst Träger gerammt oder in vorgebohrte Löcher versetzt. Zwischen den Trägern wird mit fortschreitendem Abtrag allenfalls ausgefacht.

- **Lebendverbau:**

  Pflanzen verfestigen mit ihrem Wurzelwerk die Hangoberfläche und schützen sie vor Erosion und oberflächlichem Abrutschen.

- **Blockwurf:**

  Der Hang wird durch Auflegen von Steinblöcken gesichert.

- **Hangroste:**

  Hangroste bestehen aus hangparallelen, gitterförmig angeordneten Holzbalken oder Betonelementen, die an Pfählen befestigt sind. Die Konstruktion wird mit Bodenmaterialien ausgefüllt und bepflanzt.

- **Futtermauern:**

  Futtermauern (Verkleidungsmauern) haben die Aufgabe, das Ausbrechen einzelner, verwitterter Steine bzw. Felspartien aus den Flächen einer an und für sich ausreichend standfesten Böschung zu verhindern.

- **Steinschlag - Schutzgitter:**

  Steinschlag - Schutzgitter dienen dem Auffangen und Abführen von Steinen, die in dem vom Gitter abgedeckten Hang abbrechen. Sie sind aus Drahtgeflechten oder Netzen gefertigt, die am Hang befestigt werden.

- **Hangentwässerung:**

  Durch Hangentwässerung erhöht sich die Stabilität und Standfestigkeit durch Verminderung von Strömungsdrücken, Porenwasserspannungen und Auftrieb.

- **Betonriegel in Fallinie:**

  Durch Ausheben von vertikalen Schlitzen (ca. Breite einer Baggerschaufel) in die zu stabilisierende Böschung und anschliessendem Verfüllen mit Ortsbeton werden die Betonriegel erstellt. Typisch werden die Riegel in Abständen von 2 - 4 m erstellt. Die Methode eignet sich in standfestem bzw. kurzfristig standfestem Boden.

- **Vernagelung:**

  Nagelwände erzielen die Stützwirkung aus dem Zusammenwirken der folgenden 3 Komponenten:
  - anstehender Boden
  - eingebrachte Bodennägel
  - dünne Schutzschichten (z.B. Spritzbeton) an der Wandvorderseite

  Die Bodennägel sind in der Regel schlaffe Stahl- oder Kunststoffstäbe, die durch Injektionen eine Haftung mit dem anstehenden Boden erreichen. Im Gegensatz zur "bewehrten Erde" wird eine Nagelwand oft von oben nach unten erstellt.

- **Grosskalibrige Schubdübel:**

  Mittels Pfählen oder Schlitzwandelementen kann eine stabile Böschung oder ein Einschnitt erzielt werden, indem tiefe Gleitkreise durch grosskalibrige Schubdübel bis zu einer Tiefe durchstossen werden, welche die gewünschte Geländebruchsicherheit gewährleistet.

2. Generelle Anforderungen an Stützbauwerke

2.1 Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Mit den neuen Normen SIA 160 "Einwirkungen auf Tragwerke" und SIA 162 "Betonbauten" wurden auf den 1. Juni 1989 die ersten Normen einer neuen Normengeneration in Kraft gesetzt. Grundsätzlich sind gemäss dieser Normen zwei getrennte Nachweise zu führen:

- Nachweis der Tragsicherheit
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Diese Nachweise müssen entsprechend dem für das Bauwerk aufgestellten Sicherheits- und Nutzungsplan durchgeführt werden.

Die Sicherheit eines Stützbauwerkes ist im allgemeinen ausreichend gewährleistet, wenn die folgenden Versagensmechanismen untersucht worden sind und nachgewiesen worden ist, dass sie mit ausreichendem Sicherheitsabstand nicht auftreten können.

- Gleiten
- Kippen
- Tragfähigkeit (Grundbruch)
- Geländebruch
- Ankerbruch
- Ueberbeanspruchung des Bauwerkes (Bemessung)
- Erosion, Kolk
- Verlust des Erdwiderstandes

Zudem ist zu untersuchen und sicherzustellen, dass durch neu zu erstellende Stützbauwerke bestehende Anlagen in der Nachbarschaft (Gebäude, Strassen, Bahnen, Leitungen, etc.) nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Dies ist nicht nur für den definitiven, sondern auch für den Bauzustand zu gewährleisten.

Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit werden im Nutzungsplan festgelegt.

Das geforderte Verhalten des Tragwerks ist durch die Wahl geeigneter Baustoffe, durch eine ausreichende Bemessung, durch eine sorgfältige konstruktive Durchbildung, durch eine plangemässe und sorgfältige Ausführung sowie durch einen angemessenen Unterhalt zu gewährleisten. Das Verhalten des Tragwerks muss innerhalb vorgegebener oder vereinbarter Grenzen liegen. Diese Grenzen beziehen sich für Stützbauwerke auf:

- Verschiebungen (Setzungen, Verkantungen, Wandverschiebungen). Sie dürfen nur so gross sein, dass weder die Aesthetik noch die Funktionsweise beeinträchtigt werden.
- Korrosionserscheinungen, Abplatzungen, Durchsickerungen. Sie sind zu vermeiden oder in akzeptablen Grenzen zu halten.
- Rissbildung sind ist in Grenzen zu halten, aber innerhalb dieser Grenzen zuzulassen.
- Schwingungen sind, falls sie auftreten können, in Grenzen zu halten.

Aufgrund von Wirtschaftlichkeits- und Qualitätsüberlegungen können zwischen dem Bauherrn und den verantwortlichen Fachleuten die Anforderungen an das Verhalten des Tragwerks und die zugehörigen Grenzwerte abgesprochen werden. Diese sind im Nutzungsplan festzuhalten.

2.2 Umweltverträglichkeit

Das Stützbauwerk stellt für sich allein, meist aber im Zusammenhang mit einem Gesamtbauwerk (z.B. Strasse) einen Eingriff in die Umwelt dar. Die Veränderungen und Beeinträchtigungen, die sich daraus ergeben, sind zu prüfen und minimal zu halten.

Folgende Aspekte sind im allgemeinen abzuklären:

- Integration in die Landschaft (Trennwirkung, Proportionen zum Gesamtbauwerk, einheitliche Betrachtung in einem Abschnitt).
- Gestaltung des Stützbauwerkes (Form, Farbe, Material, Bepflanzung, Schattenwirkung, Oberflächenstruktur, etc)
- Land- und Forstwirtschaft
- Fauna und Flora
- Hydrologische Verhältnisse
- Lärm (z.B. Reflektionen)

Um die Umweltverträglichkeit zu garantieren, sind entsprechend Massnahmen zu treffen, die von Anfang an in die Projektierung einfliessen müssen.

2.3 Ueberwachung und Unterhalt

Um die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Stützbauwerkes während seiner Lebensdauer zu garantieren, sind dessen Ueberwachung und Unterhalt zu organisieren.

Prinzipiell soll das Bauwerk unterhaltsfreundlich konzipiert werden, dass die Ueberwachung erleichtert wird (z.B. Zugänglichkeit, Kontrollschächte etc), bzw. der Unterhalt mit einfachen Mitteln möglich ist. Bei der Wahl des Tragwerkes sind die Aspekte des Unterhalts zu berücksichtigen.

Das Ueberwachungskonzept ist je nach der Wichtigkeit des Stützbauwerkes, der Komplexität der Bodenverhältnisse und der Tragelemente anzupassen, wobei besonders Deformations- und Setzungsmessungen aufschlussreich sein können.

Die Resultate der Ueberwachung sind schriftlich und gesammelt festzuhalten.

2.4 Wirtschaftlichkeit bei Bau und Unterhalt

2.4.1 Wirtschaftlichkeit beim Bau

Damit ein Stützbauwerk wirtschaftlich erstellt wird, sind im wesentlichen folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Es ist eine klare Aufgabenstellung zu definieren, sowie die Aufgabenteilung zwischen Bauherrn, Ingenieur und Unternehmung festzulegen.
- Es soll nicht nur das Stützbauwerk wirtschaftlich sein, sondern die gesamte Anlage (z.B. Strasse).
- Um ein optimales Projekt ausarbeiten zu können, sowie das Risiko beim Bau zu reduzieren, sind gute Kenntnisse über den Baugrund unumgänglich.
- Ein sorgfältig ausgearbeitetes Ausschreibungsprojekt (Resultate eines Variantenstudiums), bei denen die Erfahrungen von Bauherren und Ingenieur einfliessen, ist Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit.
- Die Ausschreibungsunterlagen müssen es dem Unternehmer ermöglichen, die Baukosten ohne "erhöhtes Risiko" zu berechnen, bzw. Vorschläge (eventuell eine Variante) zu unterbreiten, die wirtschaftlich interessant sind.
- Prinzipiell soll das Stützbauwerk so konzipiert sein, dass es klar ist, die konstruktiven Details einfach gelöst sind und der Unterhalt des Bauwerkes erleichtert wird.
- Die enge Bauüberwachung und Bauleitung durch Ingenieur und Unternehmer, sowie ein rasches Erkennen von abgeänderten effektiven Bodenverhältnissen und u.U. die Anpassung des Bauprojektes sind wichtig.
- Die Erfahrungen beim Bau sollen durch die komplette Erstellung der Baudokumente für den Unterhalt sowie für ähnliche Realisierung erhalten bleiben.

2.4.1 Wirtschaftlichkeit beim Unterhalt

Ohne auf die Fragen der Organisation und des Konzeptes des Unterhaltes von Bauwerken einzugehen, sind einige Bemerkungen angeführt, die wichtig für einen wirtschaftlichen Unterhalt sind:

- Die Uebergabe des Bauwerkes, sowie die Ueberwachung beim Bau, auf den Unterhaltsdienst sollen klar geregelt sein. Die Ueberwachung des Stützbauwerkes soll je nach der Schwierigkeit des Untergrundes, der Erfahrung mit ähnlichen Konstruktionen bzw. den vorhandenen Risiken angepasst werden.
- Die Ueberwachung des Stützbauwerkes soll je nach der Schwierigkeit des Untergrundes, der Erfahrung mit ähnlichen Konstruktionen bzw. den vorhandenen Risiken angepasst werden.
- Der Entwässerung von Stützbauwerken ist beim Unterhalt besondere Aufmerksamkeit zu schenken (Drainageleitungen, usw.).
- Die Bepflanzung im Zusammenhang mit dem Stützbauwerk ist ein wichtiges Element bei der Erhaltung des Bauwerkes.
- Schlechte Erfahrungen beim Unterhalt, d.h. mit unterhaltsaufwendigen Konstruktionen sollen über Bauherren und Ingenieure rasch in die Projektierung einfliessen, ebenso sollen langjährig bewährte Konstruktionen vermehrt bei der Projektierung berücksichtigt werden.
- Für grössere Unterhalts- oder Erneuerungsarbeiten sind die gleichen Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit gegeben wie für einen Neubau (siehe Punkt,2.4.1).
- Unterhaltsfeindliche Konstruktionen wie zum Beispiel Polstermauern können in gewissen Situationen durchaus wirtschaftlich sinnvolle Konstruktionen sein. Der Bauherr ist jedoch schon beim Variantenstudium auf die speziellen Risiken aufmerksam zu machen.

3. Faktoren für die Wahl von Stützbauwerke

3.1 Uebersicht

Die gebräuchlichsten Typen von Stützbauwerken sind in Kapitel 1.4 kurz beschrieben und teilweise skizziert

Es handelt sich um die folgenden Systeme:

- Schwergewichtsmauer
- Winkelstützmauer
- Raumgitter - Stützmauer
- Elementankerwand
- Bewehrte Erde
- Polstermauer mit Geotextilien
- Stützmauer aus Gabionen (Steinkörbe)
- Stützmauer aus verfestigten Erdkörpern
- Spundwände
- Pfahlwände
- Schlitzwände

3.2 Wahl des Stützbauwerkes

Grundsätzlich ist vor der Wahl eines Stützbauwerksystems folgendes zu prüfen:

- Ist das Stützbauwerk nötig? Kann z.B. bei einer Aenderung des Konzeptes oder der Linienführung einer Strasse oder Bahnanlage ein Stützbauwerk vermieden werden?
- Kann der gewünschte Zweck mit natürlicheren Massnahmen, wie z.B. Böschungen, Entwässerungen oder Lebendverbau erreicht werden?

Bei der Wahl und Dimensionierung eines geeigneten Stützbauwerksystems sind folgende Faktoren in Betracht zu ziehen:

- Geologie, Baugrundaufbau mit Bodenkennwerten
- Topographie, Höhenlage
- Auswirkungen auf Fauna und Flora (z.B. Wildwechsel)
- Auswirkungen auf Landwirtschaft und Forstwesen
- Auswirkungen auf hydrologische Verhältnisse
- Auswirkungen auf Umgebung und Nachbarbauten
- Nachweise der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Aesthetik, Landschaftsschutz
- Wirtschaftlichkeit (Bau und Unterhalt)

- Platzverhältnisse, Zufahrtsmöglichkeiten
- Verfügbares Arbeitspersonal für Bau und Unterhalt (fachliche Oualifikation)
- Rechtliche Aspekte
- Diverse Aspekte (Anprall von Fahrzeugen, etc.)

4. Dimensionierung von Stützbauwerken

4.1 Grundsätze

Für die Dimensionierung von Stützbauwerken sind vorgängig sowohl das Bauwerk als auch der umgebende Boden vereinfacht zu modellieren. Basierend auf diesen idealisierten Verhältnissen wird das Bauwerk dann so bemessen, dass für die folgenden Nachweise die entsprechenden zulässigen Werte nicht überschritten werden:

- Tragsicherheit
- Gebrauchstauglichkeit

4.2 Modellbildung

Damit die für die Dimensionierung erforderliche quantitative Beschreibung von Boden und Bauwerk überhaupt möglich wird, sind Vereinfachungen gegenüber der Wirklichkeit in Kauf zu nehmen. Diese vereinfachten Nachbildungen der wirklichen Verhältnisse (Modelle) beziehen sich vor allem auf Boden, Bauwerk sowie Berechnungsansätze. Ebenso ist die interaktive Wirkung dieser 3 Komponenten zu berücksichtigen.

Aus vorhandenen Geländeformen (z.B. rutschungsanfällige Böschungen) lassen sich durch "Rückwärtsberechnung" wertvolle Hinweise auf die Modellbildung und auf Bodenkennwerte gewinnen.

4.2.1 Baugrund und hydrologische Verhältnisse

Für die Modellbildung des Baugrundes soll eine grossmassstäbliche Grobbeurteilung die Ausgangsbasis bilden. Aufgrund der Topographie und der lokalen geologischen Situation lässt sich dieser Rahmen in der Regel herstellen, welcher sowohl die Entstehungsgeschichte als auch weitere das Projekt allenfalls beeinflussende Gegebenheiten zu umfassen hat.

Weitere lokale und problemangepasste Verfeinerungen des Baugrundmodelles (Schichtaufbau) sind für eine optimale Dimensionierung vorzunehmen. Diese basieren vorwiegend auf bisherigen örtlichen Erfahrungen und Beobachtungen sowie zusätzlichen Feld- und Laboruntersuchungen.

Das Baugrundmodell umfasst den Schichtaufbau des im Einflussbereich des Stützbauwerk stehenden Bodens. Für jede so idealisierte, homogene Schicht werden je nach Problemstellung folgende Kenngrössen ermittelt:
- Raumgewicht
- Winkel der inneren Reibung
- Kohäsion
- Zusammendrückungsmodul
- Durchlässigkeit
- hydrologische Verhältnisse wie Grundwasserspiegel und allfällige Oberflächenabflüsse

4.2.2 Stützbauwerk

a) Biegesteife Stützbauwerke wie Schwergewichtsmauern, Winkelstützmauern, u.a. können für die Dimensionierung als monolithische , starre Bauwerke idealisiert werden. In der Grundbau-Praxis werden zudem auch Raumgittermauern, Gabionenwände und weitere massive Konstruktionen als biegesteif behandelt. Somit treten als Versagensmechanismen vorwiegend Starrkörperbewegungen auf, wie Gleiten längs der Fundamentsohle, Kippen, statischer Grundbruch sowie Geländebruch.

b) Biegeweiche Stützbauwerke hingegen können nicht als starre Monolithen betrachtet werden, sondern sind als balkenartige, verformungsfähige Träger aufzufassen, in komplexeren Fällen sogar als Platten. Zu den biegeweichen Stützbauwerken gehören eher dünne, flächige Konstruktionen wie Spundwände, Rühlwände oder Schlitzwände, wo Horizontaldeformationen in der Regel nachgewiesen werden müssen.

Die hauptsächlichen Versagensarten sind somit:
- unzulässige Deformationen,
- Ueberbeanspruchung des Stützbauwerkes, z.B. Ueberschreiten der zulässigen Momente oder Querkräfte
- Geländebruch.

4.2.3 Wechselwirkung Bauwerk - Baugrund

Jedes Bauwerk stellt eine Wechselwirkung mit dem Baugrund dar. Die Erddruckgrössen sind in Wirklichkeit abhängig von den Deformationen des Bauwerkes und deswegen a priori unbekannt. Weil eine Berücksichtigung dieser Interaktion jedoch routinemässig Bemessungen übersteigt, werden in der Praxis üblicherweise nur Extrembetrachtungen (aktiver bzw. passiver Erddruck) durchgeführt.

Für die Mobilisierung des passiven Erddruckes E_p sind beträchtlich grössere Verschiebungen und Rotationen notwendig, als für die Erreichung des aktiven Erddruckes E_a. Diesem Umstand ist bei der Bemessung gebührend Beachtung zu schenken.

Genauere Simulationen der Wechselwirkung Bauwerk - Baugrund sind nur mit numerischen Analysen wie z.B. Finite-Element-Berechnungen möglich. Diese werden jedoch meist nur für bedeutende Bauvorhaben zum Einsatz kommen. Hingegen haben vor allem bei biegeweichen Konstruktionen Finite-Element-Berechnungen in die Praxis Einzug gefunden, um die Verformung genügend genau zu ermitteln. Das gleiche gilt für geschichtete Böden bzw. Boden-Fels Kombinationen.

4.3 Boden- und Materialkennziffern

Die für die Sicherheit und Nutzung des Bauwerkes massgebenden Kennziffern sind aufgrund vorhandener Unterlagen oder mittels Baugrunduntersuchungen vor der Ausführung der Bauarbeiten festzulegen.

Die folgenden Punkte sind abzuklären:

- Geologie und Schichtverlauf des Baugrundes
- Grundwasserverhältnisse
- Scherfestigkeits- und Deformationskennwerte des natürlichen oder künstlich verdichteten Bodens oder Fels für jede Schicht
- hydraulische Bodenkennwerte (Durchlässigkeit)
- Wandreibungswinkel

Für die Dimensionierung von Stützbauwerken sind vor allem die nachfolgend beschriebenen Kennziffern quantitativ zu ermitteln:

4.3.1 Raumgewicht

Diese Grösse kann mit ausreichender Genauigkeit geschätzt werden.

4.3.2 Scherfestigkeit

In der Praxis wird die Scherfestigkeit entweder aus Erfahrungswerten abgeschätzt oder mittels Rückwärtsrechnung von bestehenden Böschungen oder Feld- oder Laborversuchen bestimmt. Für die betragsmässige Festlegung dieser Werte mögen folgende Hinweise dienen:

- **Langzeitberechnungen** sind mit **drainierten** Scherfestigkeiten durchzuführen. Die Kohäsion ist dabei sehr konservativ einzusetzen, da auch eine anfänglich vorhandene mit der Zeit abgebaut werden kann.

- Wird ein Stützbauwerk auf kohäsivem (tonigem) Boden fundiert oder wird solches Material gestützt, so ist für die Analyse des kurzfristigen Bauzustandes zu entscheiden, ob allenfalls **undrainierte** Scherfestigkeitswerte zu verwenden sind.

- Triaxiale Scherfestigkeitsversuche im Labor ergeben auch bei einwandfreier Probenqualität eher koservative Reibungswinkel. Der Grund dafür liegt darin, dass Stützbauwerke als ebene (2-D) Probleme zu behandeln sind, während Triax-Resultate für axial-symmetrische Spannungsverhältnisse gelten. Resultate aus Direktscherversuchen hingegen simulieren ebene Spannungsverhältnisse.

- Ergebnisse aus Labor- und Feldversuchen sind wenn immer möglich mit Erfahrungswerten zu ergänzen.

- Die Scherfestigkeit ist eine dehnungsabhängige Kennziffer. Bei Bodenarten, welche nach einer gewissen Dehnung einen Scherfestigkeitsabfall verzeichnen, ist abzuschätzen, ob mit der maximalen Scherfestigkeit oder aber mit der Restscherfestigkeit zu dimensionieren ist. Solche Böden sind zum Beispiel von früheren Gletschern überlagerte, überkonsolidierte Böden.

- Besonders erwähnenswert ist die Methode der Rückwärtsrechnung. Dabei werden nicht in erster Linie die absoluten Grössen der Scherfestigkeit ermittelt – obwohl dies auch näherungsweise möglich ist – sondern es wird eine Relativbetrachtung der Sicherheit durchgeführt. Zu diesem Zwecke werden die Scherfestigkeitswerte der natürlichen Böschung vor dem Bau des Stützbauwerkes anhand einer Stabilitätsanalyse mit einem Sicherheitswert von 1 bestimmt. In einem zweiten Schritt wird der Einfluss des Stützbauwerkes mit den vorgängig ermittelten Scherfestigkeitswerten untersucht. Die Abweichung des Sicherheitswertes von 1 ergibt den relativen Einfluss des Stützbauwerkes auf den Baugrund gegenüber der ursprünglichen Situation. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Genauigkeit der absoluten Grösse der Bodenkennwerte auf die Aussagekraft der Resultate keinen grossen Einfluss hat.

Sind dynamische Einwirkungen zu berücksichtigen, so verlangen diese nach dynamischen Bodenkennwerten, welche sich in der Regel von statischen unterscheiden.

Die Scherfestigkeitseigenschaften von kohäsiven Materialien sind mit grösster Sorgfalt zu bestimmen. Schadenstatistiken weisen nämlich darauf hin, dass Schäden von ausgeführten Stützbauwerken auf tonigem Untergrund oder mit toniger Hinterfüllung mit beträchtlich höherer Wahrscheinlichkeit auftreten als wenn das Bauwerk in Kontakt mit Sand- oder Kiesmaterialien steht.

4.3.3 Wandreibungswinkel

Der mobilisierite Wandreibungswinkel ist der Winkel zwischen der Resultierenden des Erddruckes und der Normalen der belasteten Bauwerksfläche.

Für die Festlegung der Grösse sind zu berücksichtigen:

- Rauhigkeit der Wand
- Reibungswinkel des Bodens
- Grösse und Richtung der Wanddeformation im Vergleich zum Boden
- Dichte der Konsistenz des Bodens

4.3.4 Weitere Kenngrössen

Der hydraulische Durchlässigkeitskoeffizient sowie auch die Frostgefährdung von Hinterfüllungsmaterial ist gelegentlich erforderlich. Beide Kenngrössen lassen sich in der Regel mit ausreichender Genauigkeit aufgrund von Kornverteilungskurven bzw. geotechnischer Klassifizierung abschätzen.

4.4 Einwirkungen auf Stützbauwerke

Kräfte, welche als äussere Lasten am geotechnischen Berechnungsmodell einzuführen sind, werden als Einwirkung bezeichnet. Die Einwirkungszeit sowie die Art der Einwirkung sind zu berücksichtigen. So werden in der Regel für statische Einwirkungen andere Bodenkennwerte massgebend als für dynamische.

Im allgemeinen können folgende Einwirkungen auftreten:

Aus Boden:	- Gewicht des Bodens - In situ-Druckverhältnisse (Vorbelastung, Entlastung) - Kriechdrücke, Bewegungen in Rutschhängen - Effekte aus Alterungsvorgängen (Verdichtung, Verwitterung)
Aus Wasser:	- hydrostatischer Wasserdruck - Strömungsdruck - Eisdruck
Aus Umgebung:	- Auflasten aus bestehenden Bauten, Bäumen etc. - Verkehrslasten - Ankerkräfte, Spriessdrücke - Erdbebenbelastungen - Explosionen, Vibrationen - Anprallkräfte

4.4.1 Erddrücke

Erddrücke sind Einwirkungen für Stützbauwerke. Berechnet werden sie anhand von massgebenden Bodenkennziffern, für deren grössenmässige Festlegung die auftretenden Deformationen zu berücksichtigen sind.

Die Ermittlung der Grösse und Richtung der Erddrücke geschieht aufgrund der folgenden Einflussfaktoren:

- Bauwerkgeometrie
- Auflasten
- Geländeneigung
- Scherfestigkeit des Bodens
- Wandreibungswinkel
- Relativbewegung zwischen Boden und Stützbauwerk

4.4.2 Wasserdruck

Wasserdruck auf Stützbauwerke kann verursacht werden durch:

- Grundwasser
- Oberflächenwasser (See, Bäche)

Grundwasser

Je nach dem Schichtverlauf des Baugrundes, den lokalen geologischen Verhältnissen und den hydraulischen Gradienten sind folgende Erscheinungsformen des Grundwassers möglich, die auch rechnerisch entsprechend zu erfassen sind:

- hydrostatisch (stehend)
- strömend

Für die Festlegung der massgebenden Grundwasserverhältnisse sind in der Regel langzeitige Beobachtungen erforderlich.

Falls eine zuverlässige Entwässerung eingebaut wird, kann ein entsprechend reduzierter Wasserdruck in Rechnung gesetzt werden. Wird jedoch auf eine effektive Entwässerung verzichtet, ist der volle hydrostatische Wasserdruck zu berücksichtigen.

Entwässerungssysteme sind mit Reinigungs- und Spüleinrichtungen zu versehen. Die Konsequenzen eines Ausfalles der Entwässerung ist bei der Planung zu berücksichtigen. Strömendes Grundwasser erzeugt Strömungsdrücke.

Oberflächenwasser

Stützbauwerke an Seen oder Flüssen können zusätzlich folgenden Kräften ausgesetzt werden:

- hydrostatischem Wasserdruck
- Wellenwirkung
- rasche Absenkung
- Eisdruck

4.4.3 Anker, Abstützungen

Permanente Anker oder Abstützungen erzeugen äussere Belastungen auf ein Stützbauwerk, deren stabilisierende Wirkung für die Tragsicherheit in der Regel benötigt wird. Die Ausführung, Kontrolle und Ueberwachung hat gemäss der gültigen Norm SIA 191 zu erfolgen.

Generell sind Anker wegen der Korrosionsgefahr zurückhaltend zu verwenden und wenn technisch möglich, sollte darauf verzichtet werden.

4.4.4 Auflasten, Verkehr

Bemessungswerte dieser Einwirkungen sind aufgrund den gültigen Normen über Belastungsannahmen (z.B. SIA 160) festzulegen. Dynamische Lasten werden in der Regel durch äquivalente statische ersetzt.

4.4.5 Vibrationen, Erdbeben, Anprallkräfte

Diese dynamischen Einflüsse können gemäss der gültigen SIA-Normen (z.B. 160/162) abgeschätzt werden; in den wenigen Fällen sind sie jedoch kritisch. Anprallkräfte oder einmalige Impulsbelastungen lassen sich über statische Ersatzlasten, bzw. Energiebetrachtungen des Systems Bauwerk-Boden angenähert erfassen.

4.5 Erforderliche Nachweise

Jedes Stützbauwerk oder Teile davon müssen eine ausreichende **Tragsicherheit** aufweisen, und es dürfen keine Verschiebungen und Rotationen über den zulässigen Bereich auftreten.

Um dies zu gewährleisten sind zwei separate Nachweise zu führen:

Tragsicherheit

Dieser Nachweis garantiert eine ausreichende **Reserve gegen Bruch** des Stützbauwerkes selbst oder des umgebenden Bodenmaterials.

Gebrauchstauglichkeit

Mit diesem Nachweis wird die Funktionstüchtigkeit nachgewiesen, d.h. die Deformationen dürfen z.B. nur bis zu dem Betrage auftreten, dass keine Beeinträchtigung in ästhetischer (z.B. Risse) oder funktioneller Hinsicht (z.B. Verkantung) auftritt. Der Bruchzustand wird nicht untersucht.

4.5.1 Tragsicherheit

Das Einhalten der Kriterien bezüglich der folgenden Bruchmechanismen in Baugrund oder Bauwerk ist im allgemeinen nachzuweisen:

- Gleiten auf Fundamentsohle
- Kippen
- Tragfähigkeit
- Geländebruch
- Innere Stabilität des Stützbauwerkes
- Ankerbruch
- Erosion, Kolk
- Verlust des Eigenwiderstandes.

Die den obigen Nachweisen zugrunde gelegten Boden- und Materialkennziffern sollen Unsicherheiten wie Hetrogenitäten, Mangel an Versuchen, etc. mit ausreichender Reserve abdecken. Somit sollen nicht Mittelwerte oder vorsichtig gewählte Mittelwerte verwendet werden, sondern entsprechend **abgeminderte Mittelwerte**, wie sie z.B. in der SIA-Dokumentation D 064, 1990 angewendet werden.

Die Nachweise sind für die folgenden Zustände zu führen:

- Bauzustände
- Endzustand

Für die ausführliche Behandlung der entsprechenden Nachweise wird auf Lehrbücher verwiesen. Ergänzend dazu sind die folgenden Hinweise:

Innere Stabilität des Stützbauwerkes

Der Nachweis der inneren Standsicherheit bei Stützmauern und -wänden erfolgt mit den üblichen baustatischen Methoden: Ermittlung der Beanspruchung in den massgebenden Schnitten und Gewährleistung eines entsprechenden Widerstandes (Kontrolle der Zug- und Druckspannungen).

Bei den monolithischen Mauertypen dürfen keine, bzw. bei Betonmauern allenfalls geringfügige Zugspannungen auftreten.

Bei Stützkonstruktionen mit horizontalen Fugen wie Raumgittern, Stützmauern aus Gabionen und anderen Mauern nach dem Verbundsprinzip ist das Gleiten und Kippen bei Fugen zu untersuchen. Auch können Gleitflächen eines Geländebruchs durch eine Fuge, bei fugenlosen Mauern und Wänden auch durch einen beliebigen Querschnitt verlaufen. Das Vorgehen zum Nachweis der Sicherheiten ist grundsätzlich gleich wie beim Gesamtsystem; anstelle der gesamten Mauer wird jedoch nur der oberhalb der Fuge liegende Mauerteil betrachtet. Der Gleitwiderstand in den Fugen setzt sich bei Raumgitterwänden zusammen aus dem Scherwiderstand in der Verfüllung der Reibungskraft zwischen den Bodenelementen und der Verzahnung der Elemente (Nockenwiderstand), bei Stützmauern aus Gabionen und Polsterwänden ist es der Scherwiderstand zwischen den einzelnen Steinen-, bzw. Erdpackungen und bei fugenlosen Mauern und Wänden ist es der entsprechende Schubwiderstand des Querschnitts.

Die Fertigteile der Raumgittermauern sind so zu bemessen, dass sie die in den Knotenpunkten auftretenden Normalkräfte aus Eigengewicht und Wandreibung der Verfüllung, bzw. die Querkräfte aus dem Seitendruck sowie die auf Läufer und Binder wirkenden vertikalen und horizontalen Erddrücke aufnehmen können.

Je nach Verdichtung des Füllmaterials von Raumgittern bzw. der Hinterfüllung können sehr verschiedene Druckverhältnisse entstehen, die bei der Bemessung der filigranen Einzelteilen und bei der Knotenausbildung zu berücksichtigen sind, sowie beim Bau zu kontrollieren.

Bei Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde und in sich verankerten Mauern werden die Erddruckkräfte durch Zugglieder aufgenommen. Entsprechend ist ihr Querschnitt festzulegen. Die Zugbänder der bewehrten Erde werden durch Reibungskräfte im Erdkörper festgehalten. Aus den maximal möglichen Reibungsspannungen zwischen Zugband und Erdmaterial ergibt sich bei gegebenem Querschnitt die erforderliche Zugbandlänge. In analoger Weise können auch die Binder von erdseits offenen Raumgittermauern als Reibungsanker aufgefasst werden.

Verlust des passiven Erdwiderstandes

Durch ungeplante lokale Aushubarbeiten, Durchnässung und Aufweichungen könnte der passive Erdwiderstand reduziert werden. Diese Gefährdung ist vorgängig durch entsprechende Massnahmen zu verhindern. Falls dies nicht gewährleistet werden kann, ist der passive Widerstand ganz oder teilweise zu vernachlässigen.

4.5.2 Weitere Sicherheitsaspekte

Weitere Sicherheitsaspekte, wie **Anprallschutz** (z.B. Dämpfungszonen) für Fahrzeuge sowie auch Massnahmen (z.B. Gebäude, Netz) zur Verhinderung von **Absturzgefahr** für Menschen und Tiere sowie Fahrzeuge sind anzuordnen.

4.5.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Setzungen und Verkantungen

Setzungen und Verkantungen dürfen zulässige Werte nicht überschreiten. Insbesondere bei Stützbauten nach dem Verbundprinzip, wie Raumgitter-Stützmauern, bewehrte Erde usw., ist zu beachten, dass die für den Verbund benötigten Reibungskräfte erst nach entsprechenden Relativverschiebungen mobilisiert werden und damit auch Setzungen einhergehen.

Oft ist weniger die absolute Grösse einer Setzung massgebend, sondern es sind die Setzungsdifferenzen innerhalb des Bauwerks, welche Risse, Fugen oder Verkantungen erzeugen können. Naturgemäss sind flexible Bauweisen wie Raumgittermauern (mit gelenkiger Lagerung der einzelnen Fertigteile), Gabionen, Polsterwände usw. weniger setzungsempfindlich als Stützmauern und -wände aus Stahlbeton.

Wandverschiebungen

Wandverschiebungen sind insbesondere bei den relativ wenig steifen Stützwänden näher zu untersuchen. Obwohl Stützmauern nach dem Verbundsprinzip für die Ermittlung der Sicherheit gegen Gleiten und Kippen als Schwergewichtsmauern angesehen werden können, handelt es sich im Gegensatz zu diesen um sehr flexible Gelenksketten. In der Regel sind hier Verformungen von untergeordnetem Interesse, sofern die übrigen Sicherheiten ausreichen. Zudem bringen die Verformungen im allgemeinen eine günstig wirkende Spannungsumlagerung mit sich. Bei Raumgitterstützmauern tritt bei gleichzeitiger Ver- und Hinterfüllung eine Ausbauchung, bei nachträglicher Hinterfüllung hingegen eine Kopfauslenkung auf, wobei letztere wesentlich grösser ist Das Verformungsverhalten kann durch Analogieschlüsse zum Brückenbau beschrieben werden.

Rissbildung

Durch geeignete Baustoff- und Mauertypwahl, Dimensionierung und konstruktive Durchbildung sind grobe Risse in Bauwerken zu vermeiden, die neben der Aesthetik die Dauerhaftigkeit der Bauwerke ungünstig beeinflussen.

Die **Dauerhaftigkeit der Bauteile** (z.B. durch Korrosion) sowie die Langlebigkeit einer allfälligen Bepflanzung ist durch entsprechende Vorkehrungen über die Lebensdauer des Bauwerkes zu gewährleisten.

5. Konstruktive, gestalterische und ausführungstechnische Aspekte

5.1 Konstruktive Aspekte

5.1.1 Fundamente

Die Lage und Form der Fundamente ist so zu wählen, dass die in der Fundamentsohle wirkenden Kräfte, sowohl im Bau- wie auch im Endzustand einwandfrei in den Boden abgeleitet werden.

Die Fundamentsohle ist in der Regel tiefer als die Frosttiefe anzuordnen. Durch entsprechende Massnahmen, wie das sorgfältige Abheben der obersten Schicht, ein Gefälle der Fundamentsohle und das rasche Abdecken mit Unterlagsbeton ist zu gewährleisten, dass der Boden unter dem Fundament nicht aufgelockert und aufgeweicht wird.

Die Fundamentoberfläche soll ein Gefälle aufweisen, damit das Wasser abgeleitet wird.

Die Betonüberdeckung der Armierungseisen soll mindestens 4 cm betragen. Zur Verhinderung von ungleichen Setzungen können die Fundamente auch durchgehend ausgebildet werden. In diesem Fall muss eine entsprechende zusätzliche Längsarmierung zur Begrenzung der Rissbreiten vorgesehen werden.

Abgetreppte Fundamente sind sorgfältig auszuführen, damit die Ableitung der Kräfte in den Boden garantiert wird. Aufgelockerter Boden ist zu entfernen und bei den Abtreppungen durch Magerbeton zu ersetzen.

5.1.2 Wände

Erfahrungen haben gezeigt, dass Schwergewichtsmauern mit einem geringen Armierungsgehalt weniger anfällig gegen "Betonkorrosion" und andere Schäden. sind als filigrane, stark bewehrte Konstruktionen.

Die Betonstärken sollten bei Ortsbetonkonstruktionen mindestens 25 cm bis 30 cm, bei Fertigteilen mindestens 20 cm betragen. An die Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons sind qualitativ hohe Anforderungen zu stellen.

Die Betonüberdeckung soll bergseitig mind. 4 cm betragen, luftseitig mind. 3 cm.

Die Betonüberdeckung der Armierungseisen soll auch bei Betonnuten oder Scheinfugen gewährleistet sein. Die Begrenzung der Elementlängen auf max. ca. 8 m ist aus folgenden Gründen zweckmässig:

- Verkleinerung des Risikos von Rissen infolge Temperatur- und Schwindspannungen
- Verkleinerung des Risikos von Setzungsrissen bei ungleichen vertikalen oder horizontalen Bewegungen
- Arbeitstechnische Unterteilung
- Gestalterische Aspekte

Es besteht auch die Möglichkeit, lange Mauern ohne Fugen auszuführen. In diesem Fall ist auf eine gleichmässige Rissverteilung mit kleinen Rissbreiten zu achten, welche insbesondere durch folgende Faktoren begünstigt werden können:

- Betontechnologische Massnahmen, welche das Schwindverhalten minimieren.
- Zusätzliche Längsarmierung.
- Gute Betonnachbehandlung bzw. lange Einschaldauer

Präventive Schutzanstriche oder -Beschichtungen sind bei guter Betonqualität nicht erforderlich, können jedoch an Stellen extremer Beanspruchung (wie z.B. durch Chloride) zweckmässig sein. Die Anstriche sollen eine Dampfdiffusion ermöglichen, damit Salz und Wasser nicht eingeschlossen werden. Anstriche haben den Nachteil, dass sie in regelmässigen Abständen unterhalten und erneuert werden müssen.

Es ist zu bedenken, dass Wände mit variablen Stärken schwieriger zu schalen sind. Mauern in Kurven werden meist polygonal entsprechend dem Schalmaterial hergestellt. Bei vertikalen Wänden sind die Verformungen durch die Hinterfüllung zu beachten. Bei Oberflächenbehandlungen (z.B. Waschbeton) darf die Betonqualität der Wand nicht leiden. Natursteinverkleidungen sind gut mit dem Betonbauwerk zu verbinden.

5.1.3 Fugen und Mauerkronen

Wegen des relativ grossen Aufwandes bei der Erstellung und beim Unterhalt sind Dilatations-Fugen nur dann vorzusehen, wenn sie nötig sind.

Dehnungsfugen sind in der Regel senkrecht von der Mauerkrone zur Fundamentsohle angeordnet.

Die Fugen können eben, verzahnt oder mit Verdübelung ausgeführt werden. Wenn differentielle Bewegungen zu erwarten sind, haben sich Verdübelungen mit Dornen nicht bewährt. Die auftretenden grossen Kräfte der Dorne führen zu örtlichen Betonabplatzungen. Verzahnungen sind nur bei grösseren Betonstärken möglich.

Die Fugen sind dann wasserdicht auszuführen, wenn das durchdringende Wasser zu Glatteisbildung auf der Strasse führen kann. Die Abdichtung sollte entweder von hinten mittels verklebten Dichtungsbändern oder Fugenkitten oder mittels einbetonierten Fugenbändern erfolgen. Bei Fugenbändern ist zu beachten, dass der Beton im Bereich der Bänder oft schlecht verdichtbar ist. Dichtungsmassnahmen an der Vorderseite der Fugen wie Kittfugen u.ä., haben sich nicht bewährt.

Mauerkronen sollen ein Gefälle von einigen Zentimetern gegen das Erdreich aufweisen. Die Mauerkrone sollte ca. 50 cm höher als das anstehende Terrain sein. Der qualitativ guten Ausbildung der Betonoberfläche ist Beachtung zu schenken. Geländer und Abschrankungen sollen wegen der Gefahr von Rissen und aus Gründen der Auswechselbarkeit nicht in Aussparungen einbetoniert, sondern mit Fussplatten aufgeschraubt werden. Alle Kanten sind abzuschrägen.

5.1.4 Anker

Permanente Erd- und Felsanker sollen nur dort vorgesehen werden, wo sie unbedingt nötig sind. Der Zustand der Anker sollte in einem regelmässigen Zyklus geprüft werden können. Konstruktionen, bei welchen die Anker erneuert werden können, sind von Vorteil. Dem Korrosionsschutz von schlaffen wie vorgespannten Ankern ist im Detail grösste Bedeutung zu schenken. Bei vorfabrizierten Konstruktionen ist die Krafteinleitung und Kraftverteilung der Ankerkräfte sicherzustellen (Hinweis auf Korrosionsschutzempfehlungen - mind. doppelter Schutz ??).

5.1.5 Entwässerung

Die Entwässerung von Stützbauwerken umfasst die Drainage der Hinterfüllung und die Ableitung des Oberflächenwassers. Ihre ständige Funktionsfähigkeit ist für die Standfestigkeit und Lebensdauer der Bauwerke von grosser Bedeutung.

Drainagerohre sollen mind. 20 cm Durchmesser haben sowie möglichst ein Gefälle von 1 %.

Die Drainage der Hinterfüllung besteht in der Regel aus der Drainageschicht hinter dem Stützbauwerk und aus einer durchgehenden Sickerleitung zur Ableitung des Wassers in den Vorfluter.

Die Ableitung des bergseitigen Oberflächenwassers ist im Zusammenhang mit der Mauerkrone zu studieren.

Die Drainageschicht kann aus Steinpackungen, Kies oder aus Filterplatten bestehen. Sickerbeton oder zementgebundene Filtersteine haben sich nicht bewährt, weil sie die Versinterung der Sickerrohre fördern. Ein entsprechender Forschungsbericht wird derzeit ausgearbeitet.

Die Sickerleitungen müssen reinigbar und kontrollierbar sein, d.h. sie müssen mit Spülstutzen und Kontrollschächten versehen sein. Als zusätzliche Sicherheit gegen den Aufstau von Wasser haben sich gegen hinten geneigte Mauerdurchlässe bewährt, welche knapp über den Sickerleitungen angeordnet sind und durch geeignete Massnahmen gegen Verstopfen geschützt werden.

5.1.6 Hinterfüllung und Verdichtung

Die Hinterfüllung der Stützmauer und deren Verdichtung stellt eine der grössten Beanspruchungen der Stützbauwerke dar und kann zu Instabilitäten und Setzungen der Mauer, sowie zu Spannungsrissen führen. Andererseits ist die Verwendung eines verdichtbaren Materials und eine fachgerechte Verdichtung wichtig, um spätere Setzungen der Hinterfüllung zu vermeiden. Diesem Bauzustand ist deshalb grosse Beachtung zu schenken. Bei grösseren Stützbauwerken empfiehlt sich deshalb die Ausarbeitung eines Planes für die Durchführung der Hinterfüllung. Auf alle Fälle sind geringe Schichtdicken (ca. 30 cm) einzubauen und mit möglichst leichten Geräten zu verdichten. Bei vorfabrizierten Stützmauern ist die Wahl des Füllmateriales und die Qualität der Verdichtungsarbeit von grösster Bedeutung.

5.1.7 Bepflanzung und Bewässerung

Für die Bepflanzung sollten nach Möglichkeit heimische Gewächse verwendet werden. Die natürliche Vegetation von vergleichbar exponierten und trockenen Standorten der betreffenden Landschaft kann als Leitbild dienen. Aus Kostengründen sind Anlagen anzustreben, welche nicht künstlich bewässert werden müssen.

Dem Füll- und Vegetationsboden ist grosse Bedeutung zu schenken. Die Drainageeinrichtung des Stützbauwerkes kann die Wasserversorgung der Pflanzen beeinträchtigen.

Die Anlagen sollten in Trockenzeiten bewässert werden. In extremen Fällen - bei besonders trockenen Standorten oder bei fehlender Verbindung mit dem natürlichen Boden ("Blumentröge") - sind Bewässerungsanlagen vorzusehen.

5.2 Umweltverträglichkeit

5.2.1 Gestaltung und Integration in die Landschaft

Verschiedene "Sünden" der letzten Jahrzehnte haben bewusst gemacht, dass eine gute ästhetische Gestaltung der Stützbauwerke und eine optimale Integration in die Landschaft von grosser Bedeutung sind. Folgende Ueberlegungen sind dafür wichtig:

- Kann das Bauvorhaben - z.B. die Strasse oder Bahnanlage - so angeordnet werden, dass keine grossen Eingriffe in das Gelände und damit keine oder nur kleine Stützbauwerke erforderlich sind?
- Wird ein Stützbauwerk überhaupt benötigt? Kann das Problem mit natürlichen Massnahmen wie mit Böschungen, gesicherten Felswänden etc. gelöst werden?
- Können bepflanzte Stützbauwerke oder Raumgitterwände verwendet werden? Kann deren Unterhalt und die Bewässerung der Bepflanzung gewährleistet werden?
- Können die Stützbauwerke "aufgelöst" und architektonisch gestaltet werden? Ist bei einer solchen Konstruktion die Massstäblichkeit (z.B. Mini-Pflanztröge auf grossen Wänden) gewährleistet?
- Wurde der Form bzw. Ansicht des Stützbauwerkes die nötige Aufmerksamkeit geschenkt? Die genaue Anpassung der Wand an das vorhandene Gelände bringt oft ästhetisch unbefriedigende Lösungen. Eventuell sind Abstufungen oder Abtreppungen besser.
- Welche Oberflächenstruktur oder Farbe ist zweckmässig? In letzter Zeit werden wieder vermehrt mit Naturstein verkleidete Stützmauern ausgeführt, die oft besser in das natürliche Landschaftsbild passen. Soll die Oberfläche mit speziellen Schalungen strukturiert werden? Ist es zweckmässig eine rauhe Schalung vorzusehen, welche das Entstehen von Flechten und Moosen auf der Betonoberfläche begünstigt (z.B. in Berggebieten). Sollen die Betonflächen farblich gestaltet werden? Die Vor- und Nachteile dieser Massnahmen sollten jeweils einander gegenübergestellt werden.
- Felspartien bei Stützbauwerken können bei der Integration vorteilhaft sein.

5.2.2 Lärm

Stützbauwerke können neben ihrer Funktion des Abstützens des Erdreiches auch Auswirkungen auf die Lärmbelastung haben. Sie können einerseits abschirmend wirken und die Umgebung vor Lärm schützen. Andererseits können sie aber auch durch Reflexion zusätzliche Lärmbelastungen mit sich bringen. Diese Auswirkungen sind bei der Wahl des Stützbauwerkes zu berücksichtigen. Durch entsprechende Ausbildung und schallschluckende Verkleidung können die Reflexionen wesentlich reduziert werden.

5.2.3 Auswirkungen auf Fauna, Flora, Hydrologie, Land- und Forstwirtschaft

Stützbauwerke werden auch vorgesehen, um die Beanspruchung von Land, Wald etc. im Vergleich zu Böschungen klein zu halten. Neben diesen positiven gibt es auch negative Auswirkungen der Stützbauwerke, die durch Spezialisten möglichst gering zu halten sind.

Aeltere bestehende Stützmauern können eventuell für die Begrünung von Stützmauern und für deren Funktion als Lebensraum Vorbild sein.

Anhang

A Grobstruktur der Norm

B Schadenkatalog

Anhang A

10. Dez. 1990

Stützbauwerke

Grobstruktur der neuen Norm

A) Allgemeines

1. Zweck

2. Geltungsbereich

- Stützmauern, Stützwände, verankert und nicht verankert.

Nicht behandelt werden :

- Oberflächensicherung und Bodenvernagelung
- Temporäre Baugrubenumschliessungen
- Wannen, Unterführungen, usw.
- Lärmschutzwände
- Sperren (z.B. Wildbachsperren)
- Schutzbauwerke gegen Steinschlag, Lawinen und Muren

B) Vorstudien

3. Aufgabe der Stützbauwerke

- Problemanalyse:
  - Notwendigkeit eines Stützbauwerkes?
  - Welcher Typ Stützbauwerk?

4. Generelle Anforderungen an das Bauwerk

- Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit
- Umweltverträglichkeit inkl. Gestaltung und Integration in Landschaft
- Wirtschaftlichkeit (Bau und Unterhalt)

5. Zusammenstellen vorhandener Unterlagen

- Topographie (Situationspläne und Querschnitte)
- Geologie (geologische Karten, Information oder Erfahrungen aus früheren Aktivitäten)
- Beobachtungen (z.B. Rutschungen)
- Baugrund- und Grundwasserverhältnisse (Geotechnische Karten, Bohraufschlüsse, frühere Untersuchungen, hydrologische Datensammlungen, Grundwasserkarten, Pizometer-ablesungen usw.)
- Oberflächenwasser (Erosion und Kolk)
- Umweltbezogene Daten (Fauna und Flora, Lärm, Bauzoneneinteilung etc.)

6. Anordnungen von zusätzlichen Untersuchungen

- Sofortmassnahmen zur Stabilisierung bestehender Verhältnisse
- Beobachtungen im Gelände
- Bohrungen
- Versuche

7. Typen von Stützbauwerken

- Uebersicht
- Klassierung
- Funktions- und Anwendungsbereich

8. Wahl der weiter zu bearbeitenden Varianten

- Auswahlkriterien
- Darstellung der Projektideen
- Vorberechnungen

C) Vorprojekt

9. Bearbeitung der Varianten

- Nutzung und Sicherheitsplan
- Umwelteinflüsse (Einfluss auf Bauwerke und umgekehrt)
- Planskizzen, Konstruktionsideen
- Vordimensionierung
- Baukosten (Erfahrungswerte)
- Bauabläufe, Bauprogramme

10. Wahl der Bestvarianten

- Vorgehen
- Bewertungskriterien

D) Bauprojekt

11. Entwurf und erforderliche Nachweise

- Grundsätze
- Modellbildung
- Einwirkungen auf Stützbauwerke
- Sensitivität bzgl. Bodenkennziffern (inkl. Methode der Rückwärtsrechnung)
- Bemessung
- Erforderliche Nachweise:
  - . Tragsicherheit
    - Gleiten (Quer- und Längsrichtung)
    - Kippen Quer- und Längsrichtung)
    - Grundbruch
    - Geländebruch
    - Erosion
    - Kolk
    - Bemessung Stützbaukörper
  - . weitere Sicherheitsaspekte
    - Anprallschutz
    - Absturzsicherheit
    - etc.
  - . Gebrauchstauglichkeit und Unterhaltsfreundlichkeit
    - Setzungen
    - Verkantungen
    - Wandverschiebungen
    - Dauerhaftigkeit der Bauteile (Korrosion etc.)
    - Dauerhaftigkeit der Bepflanzung

12. Konstruktive Aspekte

- Fundationstiefe
- Elementlängen und Fugen
- Anker

- Mauerkronenausbildung
- Entwässerung
- Hinterfüllung/Verdichtung
- Bepflanzung und Bewässerung

13. Umweltverträglichkeit

- Gestaltung und Integration in die Landschaft
- übrige Anforderungen an die Umweltverträglichkeit in Bau und Endzustand
  - Lärm
  - Sichtschutz

    Fauna, Flora

14. Wirtschaftlichkeit

- Bau- und Unterhaltskosten
- Bewertung

E) Art der Ausschreibung und Vorgehen bei Unternehmervarianten

15. Auschreibungsarten

15.1 Ausschreibungsarten:

- Ausschreibungen mit festen Einheitspreisen
- Ausschreibungen mit Globalpreisen
- Ausschreibungen mit Pauschalpreisen
- Ausschreibungen kombiniert mit Einheits- und Global- und Pauschalpreisen

Sie setzen ein vollständiges Leistungsverzeichnis oder ein genaues Plichtenheft voraus.

Der Projektverfasser entscheidet in der Regel schon nach der Vorstudie, mit welcher Variante er arbeiten wird. Eine Ausschreibung soll die Möglichkeit von Unternehmervarianten beinhalten. Falls Unternehmervarianten nicht erwünscht sind oder eingeschränkt werden, so sind die Gründe dafür anzugeben.

15.2 Die Einzelheiten der Ausschreibungsarten sind in den nachstehenden Normen geregelt

- SIA-Norm 117: Ausschreibung und Vergebung von Arbeiten und Lieferungen bei Bauarbeiten (Submissionsverfahren)
- SIA-Norm 118: Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten
- SIA-Norm 153: Submissionswettbewerbe im Bauingenieurwesen
- Einschlägige Erlasse von Bund, Kantonen und Gemeinden

15.3 Nebst den üblichen Angaben über allgemeine Bedingungen und besondere Bedingungen sowie das Leistungsverzeichnis für das offizielle Projekt sind die folgenden stützbauwerk-spezifischen Informationen bzw. Bedingungen in den Auschreibungsunterlagen anzugeben:

- Pläne und Beschrieb des offiziellen Projektes
- Baugrund- und Grundwasserverhältnisse
- Minimalanforderungen betr. Materialien (Hinterfüllung, Drainage usw.)
- Zwingend einzuhaltende Bauabläufe
  Hinweise auf kritische Bauzustände (Sicherheit bezüglich Stabilität bei Aushub und Schüttung)
- Einschränkungen im Arbeitsraum (bestehende Bauwerke, Verkehrswege, Werkleitungen)
- Einplanen von Eventualpositionen für kritische Fälle, wo Rutschungen im Bauzustand zu erwarten sind
- Einplanen von einigen der nachfolgenden Messungen für die Beobachtung während und nach dem Bau:
  - Piezometer
  - Slope Indicator (Klinometer)
  - Gleitmikrometer
  - Neigung (Verkippung)
  - Rissweiten (Fugengrössen)
  - Distanzen (Distometer)
  - Höhen der Fixpunkte (Nivellement)
  - Erschütterung
  - Lärm

- Hinweise auf den Schutz von Messeinrichtungen

16. Rahmenbedingungen für Unternehmervarianten

16.1 Um Offerten von Unternehmervarianten zu ermöglichen, sind nebst den obenerwähnten Informationen zusätzlich folgende Angaben in den Ausschreibungsunterlagen zu machen.

- Lichtraumprofile für die Stützbauwerke von Unternehmervarianten
- Zufahrtsverhältnisse:

Breite und Gefälle der Bauzufahrt, zulässige Achslasten für die Bauzufahrt

- Gestalterische und oekologische Anforderungen
- Anforderungen an die Benützersicherheit (Anfahrschutz, Absturzsicherung)
- Massgebende statische Werte, welche dem offiziellen Projekt zugrundegelegt wurden:
  - Bodenkennwerte: von anstehenden Böden und Schüttmaterialien
  - Sonderbelastungen
  - Grundwasserspiegel: hinter und vor dem Stützbauwerk
  - Sicherheitsfaktoren: gegen globales Gleiten (Gleitfläche)gegen lokales Gleiten (Fundamentsohle und innerhalb des Stützbauwerkes)gegen Biegung und Schub von Traggliedern
- Angenommene Gleitflächen sowie angewendete Methoden der Stabilitäts-berechnungen und deren Ergebnisse
- Eventuelle Einschränkungen bezüglich Materialien, Konstruktionsarten
- Besondere Qualitätsanforderungen

16.2 Folgende Unterlagen werden von Submittenten für Unternehmervarianten verlangt, damit ein genauer Vergleich mit dem offiziellen Projekt möglich ist

- Vollständige Offerte mit detailiertem Leistungsverzeichniss, Plänen und Beschrieb der Unternehmervariante
- Klarstellung der relevanten Unterschiede einschliesslich Bauprogramme, Kosten, Termine und Leistungsverzeichnisse gegenüber dem offiziellen Projekt
- Statische Nachwiese von Traggliedern
- Nachweise der Bauwerksstabilität (Elementbau)
- Nachweise der lokalen und globalen Standsicherheit
- Garantie - Bedingungen mit genauer Beschreibung der Messwertkriterien
- Hinweise auf spezielle Messeinrichtungen für die Beobachtungen während und nach dem Bau
- Anforderungen an den Unterhalt des Bauwerkes

F) Detailbearbeitung und Bauausführung

17. Generelles

- Entsprechen Verhältnisse an Ort den Projekt- und Dimensionierungsannahmen?
- Entspricht Bauablauf und Bauzustände den Projekt- und Dimensionierungsannahmen?

18. Detailbearbeitung

- Konstruktionspläne
- Absteckungspläne

19. Bauleitung

Ueberwachung von:

- Gelände / Umgebung / Bauwerk während Bau
- Bedingungen Umweltschutz
- Qualität
- Kosten

G) Dokumentation über das Bauwerk

20. Dokumente

- Ausführungspläne mit allen Aenderungen
- Unterhaltskonzept
- Ueberwachungs- und Kontrollkonzept (Kontroll- und Sicherheitsplan)

Anhang B

Allemand Jeanneret Schmid SA

802

Beilage zum Forschungsbericht

Forschungsauftrag Stützbauwerke Nr. 6/89

S C H A D E N K A T A L O G

Im Zusammenhang mit der Ausarbeitung des Forschungsauftrages erwies es sich als zweckmässig, eine **Bestandesaufnahme von Schäden bei Stützbauwerken** aufzunehmen, welche als Grundlage für den Forschungsbericht und die künftige Norm dienen kann.

In der Zeit von Februar bis Mai 1990 besuchten die Herren Hofer (ASB) und Hitzinger (AJS), die für Stützbauwerke zuständigen Vertreter der Kantone Bern, Zürich, Basel-Landschaft und Wallis. Unterlagen der Gespräche und der Besichtigungen bildete die beiliegende Frageliste vom 8. Februar 1990. Es zeigte sich, dass die Probleme der Kantone je nach topografischen Verhältnissen und nach der Organisation des Unterhaltes sehr verschieden sind.

Die Bestandesaufnahme von Schäden hat im wesentlichen folgendes ergeben:

1. Typen von Stützbauwerken, welche zu unterhalten sind

Die meisten Kantone besitzen **einen Kataster über grössere Stützmauern**, der neben den Plänen und Fotos auch verschiedene Angaben für den Unterhalt enthält.

- Die Kantone BE und VS verwenden in ihren Berggebieten vor allem **Schwergewichtsmauern**, entsprechend VSS-Norm bzw. "Stützmauernbuch", mit keiner oder nur wenig Armierung. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass bei diesem Mauertyp nur **wenige Schäden** auftreten.

- Vor allem im Zusammenhang mit dem Nationalstrassen- und Hauptstrassenbau wurden auch armierte **Winkelstützmauern, rückverankerte Stützmauern, Stützmauern mit Konsolen ("Rucksäcken") und Pfahlwände** mit und ohne Verankerungen, teilweise auch **Naturstein-Stützmauern, Steinkorb-Stützmauern, aufgelöste Stützmauern** und **Raumgitterwände** ausgeführt.

2. Kontrolle der Stützbauwerke

- Die Kontrollen sind je nach Organisation des Unterhaltes verschieden. Während einige Kantone sämtliche Kunstbauten und damit auch die Stützbauwerke in einem regelmässigen Zyklus von 2 bzw. 5 Jahren ingenieurmässig prüfen, werden bei anderen die Konstruktionen vom Strassenmeister oder den Werkhöfen, im Rahmen ihrer Tätigkeit, optisch kontrolliert.

Bei Feststellung von Schäden, oder bei speziellen, komplexen Stützbauwerken erfolgt eine ingenieurmässige Prüfung.

- **Verankerte, grössere Stützmauern** werden in einigen Fällen durch Kontrolle der Ankerkräfte oder der Ankerverformungen geodätisch oder mit Inklinometern geprüft.

- Der Kanton BL hat sogar ein **Pflichtenheft** für die Ueberwachung und Erhaltung der Kunstbauten herausgegeben, welches detailliert regelt, welche Kontrollen bei Stützmauern auszuführen und welche Checklisten dabei anzuwenden sind.

3. Probleme und Schäden bei Stützbauwerken

3.1 Schäden, welche die Tragsicherheit beeinträchtigen

- **Schäden infolge Gleiten, Kippen, Grundbruch o.ä.** sind nur wenige Fälle bekannt. Da solche Schadenfälle selten und praktisch immer auf das Nichtbeachten der Regeln der Baukunde durch Geologen und Ingenieure zurückzuführen sind, wäre es nicht zweckmässig, sie in einer neuen Norm "regeln" zu wollen. Auf eine detaillierte und um- fassende Untersuchung solcher Schadenfälle im Zusammenhang mit diesem Katalog wurde deshalb verzichtet.

- **Korrosionsschäden an Ankern** werden offenbar immer wieder festgestellt und haben die Kantone zu Massnahmen bewogen, welche unter Kap. 4 umschrieben sind.

3.2 Schäden, welche die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen

- **Risse infolge Setzungen** treten vor allem bei Unstetigkeiten der Konstruktionen, wie bei Fugen oder bei Uebergängen von Widerlagern in Flügelmauern auf. Schubdorne sind bei grossen Kräften meist nicht ausreichend. Auch "Schwalbenschwanz-Verzahnungen" sind problematisch und nur bei dicken Bauteilen sinnvoll.
  Eine oftmalige Ursache von Setzungen und Verschiebungen stellt **die Verdichtung der Hinterfüllung im Bauzustand** dar. Die auftretenden Erdkräfte sind dabei meist grösser als im späteren Gebrauchszustand.

- Die **Abplatzungen des Betons** infolge **Korrosion der Armierungseisen** durch Karbonatisierung und Frost/Tausalz sind vor allem bei starkarmierten Stützkonstruktionen ein grosses Problem.

- Neben den genannten Setzungsrissen treten insbesondere **Schwind- und Temperaturrisse** an den Luftseiten der Stützkonstruktionen auf. Sie sind abhängig von den Elementlängen, von der Längsarmierung der Stützmauern, sowie von den Massnahmen bei der Herstellung der Konstruktion (Art des Betons, Nachbehandlung usw.).

- Ein häufiges Problem sind **undichte Fugen**. Kittfugen oder ähnliche Konstruktionen an der Mauervorderseite haben sich nicht bewährt.

- Der **Entwässerung und Drainage** von Stützmauern wurden früher oft nicht die nötige Beachtung geschenkt. Die Drainagen sind in vielen Fällen versintert und damit funktionsuntüchtig.

Hinter der Stützmauer kann sich Wasserdruck aufbauen! Die Ursachen der Versinterung sind Kalkablagerungen oder Ablagerungen aus Sickerbeton, der an der Rückseite der Stützmauer angeordnet ist. Hinzu kommt, dass oft Kontroll- und Spüleinrichtungen fehlen.

3.3 Probleme mit der ästhetischen Einfügung von Stützbauwerken in das Landschaftsbild

In der heutigen Zeit stellt die Aesthetik von vorhandenen und neuen Stützbauwerken einen wichtigen Faktor für die Akzeptanz dieser Bauwerke dar.

4. Massnahmen, welche ergriffen wurden und werden, um die Qualität und Lebensdauer der Stützbauwerke zu verbessern

- Wenn möglich **Schwergewichtsmauern** mit einem geringen Armierungsgehalt vorsehen. Die kompakten Mauern sind weniger empfindlich und weniger anfällig für die "Betonkorrosion".

- **Keine filigranen Bauteile** verwenden. Betonstärken grösser als 20 cm bzw. 30 cm!

- Hohe Qualitätskriterien für die **Herstellung und Nachbehandlung des Betons.**

- **Betonüberdeckung der Stahleinlagen** mindestens 3,0 bis 4,0 cm.

- **Elementlängen** möglichst nicht über 8,0 m.

- **Anker** nur dort, wo sie unbedingt nötig sind. Im Kanton Zürich werden permanente Anker nur zugelassen, wenn die Konstruktion auch ohne Anker noch eine Standsicherheit > 1,0 aufweist. Keine extrem hochwertigen und empfindlichen Stahlsorten verwenden (Sprödbruchgefahr). Kontrollanker vorsehen, bei welchen die freie Ankerlänge nicht injiziert ist, die regelmässig geprüft werden. In den Kantonen BS und BL sind permanente Erdanker nicht mehr gestattet!

- In den meisten Kantonen wird die Meinung vertreten, dass **Fugen grundsätzlich dicht sein sollen.** Abdichtung von **hinten** nicht vorne. In gewissen Fällen können auch **"offene" Fugen** z.B. bei Bächen ausgeführt werden.

- Hinter den Stützmauern möglichst **keine zementgebundenen Filterschichten,** damit die Versinterung der Drainage möglichst verhindert wird.

- **Drainagen** mit Kontrollschächten und Spülstutzen ausbilden.

- **Stützmauerkronen** sorgfältig mit grossem Gefälle gegen das Terrain ausführen. Geländer nicht einbetonieren sondern aufdübeln.

- **Die Integration der Stützbauwerke in das Landschaftsbild** muss genau geprüft werden. Perspektivezeichnungen anfertigen. Betonmauern mit Naturstein verkleiden. Aufgelöste und begrünte Stützbauwerke vorsehen; aber nur dort, wo auch der Unterhalt und die Bewässerung gewährleistet sind.

Biel, 26. November 1990 Hi/br
Revidiert: Biel, 5. Dezember 1990

Allemand Jeanneret Schmid SA

VSS-Forschungsauftrag über Stützbauwerke

Fragen zum Schadenkatalog

---

1. Welche Typen von Stützbauwerken unterhalten Sie?

- o Schwergewichtsmauern
- o Winkelstützmauern armiert
- o Rückverankerte Stützmauern
- o Stützmauern mit Konsolen ("Rucksäcken")
- o Aufgelöste Stützmauern, Raumgitterwände
- o Naturstein-Stützmauern
- o Steinkorb-Stützmauern
- o
- o

2. Wie wird die Kontrolle der Stützmauern durchgeführt?

- o Sporadisch bzw. bei Feststellung von Schäden
- o In einem regelmässigen Kontrollzyklus von ... Jahren
- o Das Bauwerk wird optisch kontrolliert
- o Das Bauwerk und das Gelände werden geometrisch kontrolliert
- o Das Verhalten grösserer Stützmauern wird mit Inklinometern bzw. mit elektronischen Messmethoden überprüft
- o Das Bauwerk wird mit einem Hammer abgeklopft
- o Das Tragvermögen bzw. der Zustand der Erd- bzw. Felsanker wird stichprobenartig überprüft. Wie?
- o
- o

3. Welche Schäden haben Sie festgestellt?

3.1. bezüglich Tragsicherheit

- o Gleiten
- o Kippen
- o Grund-/Geländebruch
- o Korrosion der Erd- bzw. Felsanker
- o
- o

3.2. bezüglich Gebrauchstauglichkeit

- o Setzungen
- o Verschiebungen
- o Korrosion Armierungsstahl-, Betonschäden

- o Abplatzungen infolge Frost/Tausalz
- o Risse
- o Undichte Fugen
- o Sonstige Undichtigkeiten
- o Setzungen der Hinterfüllung
- o Mangelhafte Entwässerung
- o Versinterte Drainageleitungen
- o
- o

4. Welche Massnahmen haben Sie in den letzten Jahren ergriffen, um die Qualität / Lebensdauer der Stützbauwerke zu verbessern?

- o Ich verwende nur noch bestimmte Typen von Stützbauwerken Welche? Warum?
- o Minimale Betondimensionen festgelegt. Welche?
- o Eisenüberdeckung vergrössert. Auf welches Mass?
- o Längen der Stützmauernelemente verlängert oder verkürzt. Auf welches Mass? Warum?
- o Fugenausbildung verbessert. Wie?
- o Drainagesysteme verbessert. Wie?
- o Durch Massnahmen bei der Bauausführung. Welche?
- o Schutzanstriche an der Vorderseite von Stützbauwerken. Welche?
- o Schutzanstriche an der Hinterseite von Stützbauwerken (gegen Erdreich). Welche?
- o Filtersteine oder Filtermatten gegen Erdreich. Wie?
- o
- o

5. Sonstiges

- o Kennen Sie die derzeit gültigen Stützmauer-Normen des VSS? Was sollte Ihres Erachtens verbessert werden?
- o Was sollte Ihrer Meinung nach in einer neuen Norm für Stützbauwerke vorrangig geregelt werden?

Biel, den 8. Februar 1990
802 Hi/na