

Zustandsüberprüfung von Foundationen bestehender Kunst- bauten

Contrôle de l'état des fondations d'ouvrages d'art existants

**Dr. Vollenweider AG, Zürich
Geotechnik Grundbau Tunnelbau**

**U. Vollenweider, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
A. Lutz, dipl. Bauing. ETH**

**Forschungsauftrag 87/00 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung**

April 2000

544

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie
und Kommunikation
Bundesamt für Strassen

Zustandsüberprüfung von Foundationen bestehender Kunstbauten

Dr. Vollenweider AG, Zürich

**Forschungsauftrag Nr. 87/00 auf Antrag der
Arbeitsgruppe Brückenforschung**

April 2000

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	2
2. Auftrag	3
2.1 Veranlassung	3
2.2 Vorausgesetzte Erfahrung	4
2.3 Expertenkollegium	4
3. Zustandsüberprüfung	5
3.1 Ziel und Inhalt	5
3.2 Zustandserfassung	6
3.3 Zustandsbeurteilung	7
3.4 Massnahmenempfehlung	9
4. Gefahren für die Foundation	10
5. Gefährdete Bauwerke	11
6. Schlussbemerkung	13

ANHANG

	<u>Anhang</u>
- Kurzfassung Zustandsüberprüfung	1
- Gefahren für Foundationen	2
- Untersuchungsmethoden	3
- Bewertung der Foundation aufgrund von Beobachtungen und Feststellungen	4
- Bewertung der Foundation aufgrund von Erhebungen und Prüfungen	5
- Entscheidungshilfe für die Massnahmenplanung	6
- Datenblatt für ein Bauwerk	7

Vorwort

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen der Forschungsaufträge des Bundesamtes für Strassen erarbeitet. Die Arbeit wurde durch die Begleitkommission C der Arbeitsgruppe Brückenforschung (Mitglieder: M. Donzel, Prof. R. Favre, H. Figi, H. Fleischer und P. Wüst) unter Leitung von P. Matt begleitet. Die Arbeitsgruppe hatte durch Anregungen und substanzielle Kritik einen wertvollen Beitrag zum vorliegenden Bericht geliefert.

Der Bericht hat zum Ziel bei Zustandsüberprüfungen von Bauwerken die unsichtbare Foundation mit ins Bewusstsein zu bringen. Mit zielgerichteten Beobachtungen und einfachen Kontrollen kann meist bereits sehr viel über den Zustand der Foundation ausgesagt resp. können Schwächeanzeichen frühzeitig erkannt werden. Der Bericht soll die Bauherren wie die Prüfer für die nicht selten vernachlässigten Belange der Foundation von Bauwerken sensibilisieren.

Abschliessend möchte der Autor des Berichtes dem ASTRA und insbesondere M. Donzel für den Auftrag zur Erstellung des Berichtes und der Begleitkommission C der Arbeitsgruppe Brückenforschung für die aktive Begleitung herzlich danken.

Zürich im April 2000

Dr. U. Vollenweider
Dr. Vollenweider AG

1. Einleitung

Zur Gewährleistung der Nutzung und der Dauerhaftigkeit sind Kunstbauten zu überwachen. Die Überwachung kann aus periodischen Beobachtungen, Inspektionen und/oder Kontrollmessungen bestehen. Lässt die Überwachung auf Mängel und Schäden am Bauwerk schliessen, ist der Zustand des Bauwerks im Detail zu überprüfen. Eine solche Überprüfung ist auch vorgängig einer Nutzungsänderung oder einer Tragwerksveränderung vorzunehmen.

Mit der Bauwerksüberprüfung wird der Zustand des Bauwerks erfasst und die zukünftige Nutzung unter Berücksichtigung aller vorhersehbaren Einwirkungen und Umwelteinflüsse beurteilt. Der Befund wird in einem Attest festgehalten. Dem Eigentümer wird attestiert, dass sein Bauwerk entweder in Ordnung ist oder aber Mängel und Schäden aufweist, die die gesicherte Nutzung in Frage stellen. Dieses Attest hat in der Regel den Zustand des ganzen Bauwerks, einschliesslich der Foundation zu erfassen. Es genügt nicht, sich bei der Überwachung und Überprüfung nur auf den sichtbaren Teil des Bauwerks zu konzentrieren, die Foundation, den Baugrund und das Umgelände von der Erfassung aber ausgeklammert zu lassen. Nur unter Einbeziehung der geotechnischen und foundationstechnischen Aspekte kann dem Auftraggeber ein verlässliches Attest über den Gesamtzustand des Bauwerks ausgestellt werden.

Bereits die Überwachung des Verhaltens einer Foundation bietet Schwierigkeiten. Mehr noch aber deren Überprüfung, will man nicht mit unverhältnismässigem Aufwand den Zustand von Baugrund und Foundation im Detail untersuchen. Die Foundation von Kunstbauten ist in den seltensten Fällen einsehbar und das interaktive Zusammenwirken von Bauwerk und Baugrund meist nur näherungsweise erfassbar. Dennoch muss unter Berücksichtigung aller vorhersehbaren Einwirkungszustände über die Dauerhaftigkeit der Foundation eine konkrete Aussage gemacht werden. Dies ist auch richtig, denn es ist besser, die greifbaren Fakten zusammenzutragen, die Rückschlüsse auf die Foundation zulassen, als sich mangels gesicherter Daten über diesen wichtigen Teilbereich des Bauwerks gänzlich auszuschweigen. Allein schon die Fragestellung nach der Dauerhaftigkeit der Foundation vermag nicht selten auf erkennbare Risiken aufmerksam zu machen, welcher man sich ohne konkrete Fragestellung nie bewusst geworden wäre: dass Setzungen und Verschiebungen, Geländebewegungen, Terrainveränderungen, Hochwasser, Erosionen, Murgänge usw. den Bestand und die Dauerhaftigkeit des Bauwerks gefährden können.

Nun ist es aber nicht so, dass über den Zustand von Foundationen nur hypothetische und unverbindliche Aussagen möglich wären. Werden alle relevanten und greifbaren Fakten zu Geologie, Geotechnik, Bauweise, Bauausführung, Baugrundverhalten, Tragwerkverhalten, Einwirkungen und Risiken zusammengetragen und ausgewertet, kann in den meisten Fällen eine recht gesicherte Aussage über die Verlässlichkeit der Foundation gemacht werden. Mindestens aber können Risiken ausgemacht werden, die es speziell zu überwachen gilt. Damit wäre das Ziel erreicht, zu erkennen und vorherzusehen, was erkennbar und vorhersehbar ist. Ist eine Gefahr erkannt, kann man sich dagegen auch angemessen schützen. Ob dieser Schutz nun in einer speziellen Überwachung, Tragwerksverstärkung oder Gefahrenminderung zu bestehen hat, ist im Einzelfall objektbezogen zu entscheiden.

Die vorliegende Dokumentation stützt sich bezüglich der Begriffe als auch der Systematik der Bauwerksüberprüfung auf die Empfehlung SIA 162/5 "Erhaltung von Betontragwerken" [2]. Während sich die Empfehlung SIA 162/5 schwergewichtig auf den "sichtbaren" Teil des Betontragwerks konzentriert, soll die vorliegende Schrift eine sinnvolle Ergänzung resp. Interpretation für den "unsichtbaren" Fundationsbereich liefern. Hinweise in SIA 162/5, die generell auch für den Gründungsteil von Kunstbauten gelten, werden in der vorliegenden Arbeit als bekannt vorausgesetzt und nicht mehr näher behandelt.

2. Auftrag

Es werden im folgenden einige wesentliche Aspekte diskutiert, die bei einer Auftragserteilung zur Überprüfung der Foundation eines Bauwerks zu beachten sind.

2.1 Veranlassung

Eine Zustandsüberprüfung wird in der Regel nur bei besonderem Anlass durchgeführt. Es müssen Gegebenheiten vorliegen, die eine Überprüfung erfordern oder mindestens angebracht erscheinen lassen. In folgenden Fällen besteht Veranlassung, den Zustand und die Tragfähigkeit der Foundation eines bestehenden Bauwerks zu überprüfen:

- bei Feststellung einer Gefährdung für die Foundation ganz allgemein
- bei Änderung der Bauwerksnutzung mit Auswirkung auf die Foundation
- bei Eingriffen am Tragwerk mit Einfluss auf die Foundation (Veränderung des Tragsystems, Durchbrüche)
- bei Feststellung von Mängeln und Schäden am Tragwerk, welche von einer ungenügenden Tragfähigkeit der Foundation herrühren können (Risse, Deformationen, Abplatzungen, Korrosion)
- bei Feststellung von Mängeln und Schäden an der Foundation
- bei Feststellung von bedeutenden Baugrundbewegungen (Setzungen, Verschiebungen, Quellhebungen)
- bei Eingriffen ins Bauwerksgelände (Baugruben, Hanganschnitte, Grabenaushübe)
- bei besonderen externen Einwirkungen (Rammerschütterungen, Sprengarbeiten)
- bei besonderen geotechnischen Gefahren (Hangbewegungen, Hangrutschungen, Murgänge, Flusserosionen)
- nach aussergewöhnlichen Einwirkungen (Anprall, Entgleisung, Brand, Explosion, starkes Erdbeben)
- falls neue Erkenntnisse dies als angebracht erscheinen lassen.

Die vorstehende Aufzählung bedarf zweier erklärender Hinweise. Erstens, die aufgezählten Ereignisse und Umstände können, müssen aber nicht die Foundation negativ tangieren.

Es ist daher immer erst die Wirkung auf die Foundation zu analysieren und erst nach Prüfung der Relevanz die Ausführung einer Zustandsüberprüfung anzuordnen. Zweitens, die Aufzählung macht deutlich, dass die periodischen Beobachtungen und Inspektionen immer auch Geländeänderungen und geotechnische Erscheinungen in die Bauwerksüberwachung mit einbeziehen müssen. Vieles, was in der Folge zu Schwierigkeiten führt, kann bei nötiger Sensibilisierung und sorgfältiger Beobachtung frühzeitig erkannt werden.

2.2 Vorausgesetzte Erfahrung

Das Ergebnis der Überprüfung mündet in einem Attest über den Bauwerksbefund. Dieses bescheinigt dem Bauwerk eine genügende Dauerhaftigkeit oder nennt Mängel und Schäden, denen es mit entsprechenden Massnahmen zu begegnen gilt. Die Ausstellung eines solchen Zustandsattestes ist eine höchst anspruchsvolle Aufgabe. Da die Schlussfolgerungen vielfach nur deduktiv gezogen werden können, verlangt der Auftrag eine ausreichende Erfahrung auf den Gebieten Geotechnik und Grundbautechnik sowie fundierte Kenntnisse in Bautechnik und Ingenieurtechnik. Bei unklaren Verhältnissen bezüglich Geologie und Baugrundbeschaffenheit ist der Beizug eines erfahrenen Geologen angezeigt. Sowohl der Auftraggeber als auch der mit der Untersuchung beauftragte Prüfer haben sich den hohen Anforderungen an das Prüfmandat und der damit verbundenen Verantwortung bewusst zu sein.

2.3 Expertenkollegium

Bei besonders schwieriger Aufgabenstellung mit weitreichenden Konsequenzen der Entscheidung und insbesondere in Fällen, in denen über den Zustand der Foundation keine verlässliche Kenntnis besteht und auch nicht sinnvoll gewonnen werden kann, wird gemäss Empfehlung SIA 462 [3] die Bestellung eines Expertenkollegiums empfohlen. Bei unsicherer Ausgangslage hat man stets zwischen Risiko und Kosten abzuwägen, eine Entscheidung, die für den Einzelnen bei der Übernahme der Verantwortung häufig Schwierigkeiten beinhaltet. Eine Beratung im Gremium ist in diesen Fällen angezeigt, um sowohl eine breitere Basis an Fachwissen in die Entscheidungsfindung einbringen als auch dem Gebot der Sorgfaltspflicht nachkommen zu können.

Die Einsetzung eines Expertenkollegiums ist vor allem bei schwierigen geotechnischen Fragen angezeigt. In der Geotechnik steckt naturgemäss viel Unwägbares. Der Zustand einer mangelhaften Foundation beinhaltet nicht selten grosse Risiken und deren Behebung enorme Folgekosten. Die Abwägung von Risiko und Kosten beruht auf etwelchem bis weitgehendem Ermessen. Ein Umstand, der nach kompetenter Unterstützung in der Entscheidungsfindung geradezu verlangt.

Beinhaltet die Entscheidung akzeptierte Risiken oder aber hohe Bau- resp. Folgekosten, darf mit der Einsetzung eines Expertenkollegiums mindestens der Anspruch an die gebotene Sorgfaltspflicht als erfüllt betrachtet werden. Eine Voraussetzung, die aus vertragsrechtlicher Sicht für beide Parteien, den Auftraggeber wie den Auftragnehmer, nicht unerheblich ist.

3. Zustandsüberprüfung

3.1 Ziel und Inhalt

Die Zustandsüberprüfung ¹⁾ hat zum Ziel, eine Aussage zur Dauerhaftigkeit ²⁾ des Bauwerks einschliesslich der Foundation zu machen. Sie dient dem Eigentümer zur Wahrnehmung seiner Verantwortung als Halter des Bauwerks und zur Optimierung der Kosten aus der Nutzung des Bauwerks. Sie ist ein wesentliches und zwingendes Ordnungsmittel zur Gewährleistung von Bestand und Nutzung des Bauwerks.

Die Zustandsüberprüfung umfasst allgemein eine Zustandserfassung, eine Zustandsbeurteilung und, als Schlussfolgerung, eine Massnahmenplanung. Wann eine Zustandsüberprüfung zu erfolgen hat wurde in Kapitel 2.1 erläutert. Was sie im Detail zum Inhalt hat wird nachstehend diskutiert.

Inhalt und Umfang der Zustandsüberprüfung hängen sehr stark vom Einzelfall ab, das heisst von der Bedeutung des Bauwerks, vom Kenntnisstand über Bauwerk und Baugrund, vom Gefährdungspotenzial aus Nutzung und Umwelt und von den Absichten des Eigentümers hinsichtlich der zukünftigen Nutzung. Die Prüfung einer Schwergewichtsmauer mit beschränkter Restnutzungsdauer auf gesundem Fels erfordert klar eine andere Betrachtungsweise als die pfahlfundierte Brücke einer Nationalstrasse in einem latent gefährdeten Kriechhang. Im ersten Fall kann das Studium der Bauwerksakten und eine visuelle Inspektion des Bauwerks ausreichend sein, während im zweiten Fall die Umstände zusätzlich geotechnische Untersuchungen, messtechnische Aufnahmen und statische Nachrechnungen erfordern. Der Inhalt und Umfang der Zustandsüberprüfung richtet sich klar nach den objektbezogenen Gegebenheiten.

Da die Foundation in der Regel weder eingesehen noch direkt geprüft werden kann, versteht sich die Aussage der Überprüfung stets als eine bestmögliche Prognose. Der Weg dazu führt über einen interaktiven Prozess von Erheben, Prüfen, Beurteilen und Bewerten von Unterlagen und Fakten, bis die Basis für eine verlässliche Aussage ³⁾ über die Dauerhaftigkeit der Foundation geschaffen ist. Eine Aufgabe, die den Verfasser der Überprüfung in hohem Masse fordert und, was nicht zu unterschätzen ist, zugleich auch verpflichtet.

Eine Kurzfassung über Ziel, Zweck und Inhalt der Zustandsüberprüfung ist im Anhang 1 enthalten. Das Ergebnis der Überprüfung ist in einem Bericht festzuhalten (Anhang 1, Punkt 6) und die wesentlichen Daten in einem Datenblatt zusammen zu fassen (Beispiel: Anhang 7).

¹⁾ Überprüfung: bei besonderem Anlass durchgeführte Zustandserfassung und Beurteilung samt Massnahmenempfehlung (SIA 162/5).

²⁾ Dauerhaftigkeit: Erfüllung der Anforderungen an Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Erscheinungsbild im Rahmen der vorgesehenen Nutzung oder Restnutzung sowie der vorhersehbaren Einwirkungen, ohne unvorhergesehenen Aufwand für Instandhaltung und Instandsetzung (SIA 162/5).

³⁾ verlässliche Aussage: Aussage, auf die man sich mit hoher Wahrscheinlichkeit verlassen kann. Das Mass der geforderten Wahrscheinlichkeit hängt von der Schwere der Konsequenzen bei Nichtzutreffen der Aussage ab.

3.2 Zustandserfassung

Die Zustandserfassung beinhaltet die Beschaffung von Informationen über den aktuellen Zustand und die bisherige Zustandsentwicklung der Foundation mit dem Ziel, wesentliche Mängel, Schäden sowie Schädigungsmechanismen und Gefahren zu erkennen. Bezüglich der Klärung der Frage der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Foundation wird sich die Zustandserfassung hauptsächlich mit der Beschaffung von Informationen zu folgenden Punkten befassen:

- Konstruktion und Funktionsweise von Tragwerk und Foundation
- Geometrie von Tragwerk und Foundation
- Bemessung und Beanspruchung von Tragwerk und Foundation
- natürlicher und künstlich geschaffener Terrainverlauf
- Angaben zur Bauausführung, Materialwahl und Bauwerks- und Materialprüfungen (Bauprotokolle)
- Baugrundbeschaffenheit mit Geologie und Wasserverhältnissen
- Baugrundverhalten bezüglich Konsolidationssetzungen, Kriech- und Terrainbewegungen
- bisher erfolgte Überwachungen und Überprüfungen
- Feststellungen über
 - Mängel und Schäden
 - aussergewöhnliche Einwirkungen
 - geotechnische Gefahren
 - besondere Beobachtungen von Dritten
 - erfolgte und aktuelle Bauarbeiten in der Umgebung
 - allfällige weitere Hinweise, welche relevant für die Foundation sein können
- potenzielle Schwachstellen der Foundation und des Foundationskonzeptes
- potenzielle Gefahren für Foundation und Baugrund
- Folgen eines teilweisen oder vollständigen Versagens der Foundation.

Aufgrund der Datenerhebung werden die Massnahmen zur Erfassung geplant.

Die genannten Punkte können, müssen aber nicht für die Zustandserfassung von Bedeutung sein. In den meisten Fällen wird man auch nicht ohne weiteres zu allen Punkten relevante Hinweise erhalten können. Die Aufzählung macht aber deutlich, dass die Zustandserfassung in der Regel weit mehr als nur den engeren Tragwerksbereich zu erfassen hat. Einfach erfassbare Informationen über den Baugrund, das Umgelände und relevante geotechnische Gefahren sollten immer, auch bei der einfachen Bauwerksinspektion, Inhalt der Zustandserfassung sein.

Die Zustandserfassung hat, wie zum Beispiel Anhang 7 zeigt, mindestens zu folgenden Punkten kurze und prägnante Hinweise zu enthalten:

- Art der Foundation
- generelle Beschaffenheit des Baugrundes
- Setzungs- und Verschiebungsverhalten des Bauwerks
- geotechnische Gefahren

Hinweise auf das Setzungs- und Verschiebungsverhalten des Bauwerks sind dabei immer als die wichtigsten und zugleich auch aussagekräftigsten Informationen zu werten. Aus den Verformungen sind sowohl Informationen über die Beanspruchung als auch den Widerstand der Bauwerksfoundation zu gewinnen. Zur Entschlüsselung bedarf es allerdings weiterer Kenntnis zu Bauwerk und Baugrundbeschaffenheit. In kritischen Fällen, das heisst bei Bauwerken, deren Foundation als problematisch taxiert wird, sollte das Setzungs- und Verschiebungsverhalten des Bauwerks, allenfalls auch das des Baugrundes immer mit einfachen Mitteln messtechnisch überwacht werden. Wesentlich ist dabei nicht nur die Gewinnung einer absoluten Grösse der Verschiebung, sondern immer auch die Erfassung des zeitlichen Verlaufes der Bewegung, nach Möglichkeit in Abhängigkeit der äusseren Einwirkungen (Nutzlasten, Wasserdrücke, Niederschläge, Temperaturen usw).

Eine Aufzählung von Untersuchungsmethoden ist im Anhang 3 enthalten. Im weiteren wird diesbezüglich auf die IP Bau Dokumentation "Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau" verwiesen [4].

3.3 Zustandsbeurteilung

Die Zustandsbeurteilung beinhaltet eine zusammenfassende Analyse und Bewertung der Informationen über den aktuellen Zustand und die bisherige Zustandsentwicklung, verbunden mit einer Voraussage der weiteren Entwicklung und deren Konsequenzen im Laufe der festgelegten Restnutzungsdauer. Die Beurteilung hat zum Ziel, die wesentlichen Fragen bezüglich der Dauerhaftigkeit des Tragwerks und insbesondere der Tragwerksfoundation während der Restnutzungsdauer zu klären. Es gibt im wesentlichen zwei Fälle, die im Rahmen der Zustandsbeurteilung gesondert zu betrachten sind.

- Die Foundation des Bauwerks weist zum Zeitpunkt der Zustandserfassung keinerlei Anzeichen von Mängeln und Schäden auf. Es gibt auch keine Hinweise, die für die Restnutzungsdauer auf eine ungenügende Tragfähigkeit der Foundation schliessen lassen (Fall A).
- Die Foundation des Bauwerks zeigt zum Zeitpunkt der Zustandserfassung Mängel und/oder Schäden, welche die Tragfähigkeit der Foundation als gefährdet erkennen lassen (Fall B).

Fall A mängelfreie Foundation

Im Fall A darf in der Regel bei bestehenden Bauwerken von einem Genügen der Foundation ausgegangen werden. Für ein verlässliches Attest sollten aber gleichwohl noch zwei Aspekte geprüft und bewertet werden: die Robustheit ⁴⁾ der Foundation und das Potenzial an geotechnischen Gefahren. Wird die Robustheit als ausreichend und das Risiko geotechnischer Gefahren als sehr gering oder nicht existent bewertet, darf die Foundation im allgemeinen als in Ordnung befunden werden. Andernfalls sollte die Dauerhaftigkeit der Foundation unter Prüfung der Ausnutzung unter normalen und aussergewöhnlichen Einwirkungen untersucht und bewertet werden.

Fall B mangel- resp. schadhafte Foundation

Im Fall B ist eine eingehendere Untersuchung immer angezeigt. Bei Bauwerken, die bereits foundationstechnisch bedingte Mängel und Schäden aufweisen, kann aus dem Schadensbild und dem Verformungsverhalten auf das integrale Bauwerk - Baugrundverhalten geschlossen werden. Daher ist es bei diesen Bauwerken sehr wichtig, dass man frühzeitig alle relevanten Erscheinungen wie Setzungen, Verschiebungen, Risszunahmen durch Beobachtung oder messtechnisch erfasst. Solche Aufnahmen sollten dabei stets von einer möglichst zuverlässigen Zustandsbeschreibung des Bauwerks begleitet sein, die die verursachenden Umstände (Lasten, Aufschüttungen, Erdabtragungen, Wasserstände, usw.) aufführt. Mit Hilfe der Kenntnis der Geotechnik kann auf den Grundlagen

- Baugrundbeschreibung
- Bauwerkszustand
- Deformationsverlauf

eine meist recht verlässliche Aussage über den Mechanismus des Tragwerksverhaltens gemacht werden, insbesondere ob der beobachtete Prozess (Rissverhalten, Setzungsverhalten usw.) degressiv, stationär oder aber progressiv verläuft. Bei all diesen Untersuchungen sollte immer beachtet werden, dass eine Aussage aufgrund eines beobachteten und messtechnisch festgestellten Tragwerksverhaltens immer zuverlässiger ist, als wenn die gleiche Aussage allein aufgrund theoretischer Überlegungen gemacht werden muss. Grundsätzlich sollte immer aus dem Umstand Nutzen gezogen werden, dass ein Bauwerk mit Mängeln und Schäden stets als ein Grossversuch im Massstab 1:1 betrachtet werden kann. Durch eine sorgfältige Analyse von Tragwerkszustand und Tragwerksverhalten kann dadurch vielfach und besser als mit anderen Mitteln auf die massgebenden Ursachen und Bestimmungsgrössen geschlossen werden. In der Geotechnik können dies sein: Erddruck, Wasserdruck, Scherfestigkeit, Steifigkeit, Kriechmass usw. In Kenntnis dieser Daten kann im allgemeinen eine verlässliche Voraussage über die weitere Zustandsentwicklung und insbesondere über die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Foundation gemacht werden. Zu überprüfen und bewerten sind dabei, wie bereits im Fall A, die Robustheit der Foundation und das Potenzial an geotechnischen Gefahren.

⁴⁾ Robustheit: Fähigkeit eines Tragwerks, seiner Bauteile und Verbindungen, Schäden oder ein Versagen auf Ausmasse zu begrenzen, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen (SC 0, E 1999).

Die Zustandsbewertung soll einfach, transparent und nachvollziehbar sein. Zur Bewertung eignen sich allgemein die Bewertungsstufen nach SIA 469 [5], Tabelle 1, für Foundationen die Bewertungsmodelle im Anhang 4 und 5.

Bewertungs- stufe*	Beschreibung
gut	Es bestehen weder Hinweise auf Schäden oder Mängel noch Vermutungen oder Gewissheit über Gefährdungen für das Bauwerk.
annehmbar	Kleine Schäden oder Mängel sind entdeckt worden oder es besteht eine kleine potenzielle Gefahr für einen Bauwerksschaden. Diese stellen mittelfristig keinerlei Gefährdung für das Bauwerk dar. Es besteht keine Vermutung oder Gewissheit über weitere Gefährdungen.
schadhaft	Es besteht ein tatsächlicher oder potenzieller Schaden oder Mangel am Bauwerk. Langfristig kann sich der Schaden zu einer Gefahr für das Bauwerk entwickeln.
schlecht	Es besteht eine tatsächliche oder potenzielle Gefahr für einen schweren Bauwerksschaden oder eine Bauwerksgefährdung. Mittel- bis langfristig wird mit einem schweren Bauwerksschaden gerechnet.
alarmierend	Hohe Gefährdung für den Bestand des Bauwerks.

Tabelle 1: Bewertungsstufen nach SIA 162/5 Ziffer 4 12

3.4 Massnahmenempfehlung

Zur Bauwerksüberprüfung gehört auch immer eine Empfehlung von Massnahmen, um die Dauerhaftigkeit des Bauwerks für die Zukunft zu sichern. Dies gilt sowohl für die einfache Inspektion wie für die detaillierte Zustandsüberprüfung.

Aufgrund des Ergebnisses der Zustandserfassung und der Beurteilung ist zu entscheiden, ob und welche Massnahmen erforderlich sind. Die Empfehlungen haben zum Ziel, der Eigentümerschaft Entscheidungsgrundlagen für die weitere Nutzung und die Erhaltung des Bauwerks zu liefern. Wird der aktuelle Zustand alarmierend beurteilt, sind umgehend Sofortmassnahmen in die Wege zu leiten.

Bei der Empfehlung von Massnahmen ist den Aspekten Kenntnisstand, Schädigung, Gefährdung, Schadensrisiko, Verlässlichkeit der Entscheidungsgrundlagen, Bedeutung des Bauwerks und Absichten des Eigentümers Rechnung zu tragen. Je nach Zustandsbeurteilung und/oder Zustandsprognose der Foundation können als geeignete Massnahmen in Frage kommen:

- keine Massnahmen erforderlich
- weitere Erhebungen erforderlich
- Beratung durch Experten

- Überwachung nach der Beobachtungsmethode
- weitere Überprüfungsstufe anordnen
- Schutz der Bausubstanz der Fundation
- Sicherung des Geländes zum Schutz der Fundation
- Tragwerksmodifikation im Überbau
- konstruktive Verstärkung der Fundation
- Ersetzen der Fundation
- Nutzungsbeschränkung
- Ausserbetriebnahme des Bauwerks
- Abbruch des Bauwerks
- Sofortmassnahmen zur Sicherung des Bauwerks (Notmassnahmen).

In der Massnahmenempfehlung ist festzuhalten, in welchem Zeitraum die einzelnen Massnahmen ergriffen werden müssen.

Die Liste der möglichen Massnahmen ist je nach Art des Tragwerks und Ursache der Schäden und Mängel sehr vielseitig. Die Massnahmen sollen aber immer so angelegt sein, dass man mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Nutzen erhält. Nirgends so sehr wie in der Geotechnik bietet die Beobachtungsmethode [6] eine zweckmässige Strategie zur Lösung des Problems. Bevor man eine Verstärkung der Fundation als Massnahme vorschlägt, sollten erst alle Möglichkeiten zur exakten Klärung der Fundationsverhältnisse ausgeschöpft werden. Der Weg wird dabei in der Regel immer über Archivrecherchen, Datenerhebungen, Verformungsmessungen, Rissaufnahmen, Baugrunduntersuchungen, erdstatische Berechnungen bis hin zum Beizug von Spezialisten (Expertengremium) führen. Verstärkungen und Änderungen der Fundation dürften meistens die aufwendigsten Massnahmen darstellen und können ohnehin nur auf der Grundlage einer fundierten Kenntnis über das Tragwerk, den Baugrund, das Baugrundverhalten und das Tragwerksverhalten wirtschaftlich vertretbar konzipiert werden [7].

Im Anhang 6 ist eine Entscheidungshilfe für die Massnahmenplanung enthalten.

4. Gefahren für die Fundation

Bei der Zustandsüberprüfung gilt als Grundsatz: **Gefahren und Gefährdungszustände erkennen**. Unerkannte Gefahren stellen für das Bauwerk immer eine Bedrohung dar. Also hat sich der Ingenieur bei der Zustandsaufnahme und -überprüfung auch auf das Erkennen von Gefahren zu konzentrieren [8]. Ist eine Gefahr erkannt, so ist der Ingenieur von seiner Ausbildung her befähigt, gegen diese Gefahr entsprechende Massnahmen zu ergreifen. Dabei ist es besser, einer erkennbaren Gefahr mit etwas unangemessenen Mitteln zu begegnen, als ihr überhaupt nicht zu begegnen. Das erste ist allenfalls als unsachgemäss, das zweite aber als im geringeren oder höheren Grade unsorgfältig zu nennen.

Das Erkennen von Gefahren ist gerade für die Dauerhaftigkeit von Foundationen von besonderer Bedeutung. Die Gefahren lauern zwar nicht unerkennbar, jedoch meistens versteckt. In aller Regel sind sie auch nicht wie z.B. Wind- oder Schneelasten in einem Normenwerk katalogisiert. Sie müssen objektbezogen über zielgerichtete Beobachtungen und geologische und/oder geotechnische Untersuchungen in Erfahrung gebracht werden.

In der Liste Anhang 2 sind die häufigsten Gefahren zusammengestellt, die zum Versagen einer Foundation durch Überbeanspruchung oder Widerstandsverlust führen können. Die Gefahrenliste ist als Checkliste gedacht. Ob eine Gefahr als real bestehend, wahrscheinlich, potenziell möglich, unwahrscheinlich oder physikalisch nicht möglich zu betrachten ist, ist im Einzelfall zu prüfen. Das Bedrohungspotenzial vieler Gefahren, insbesondere der Gefahren geologischen oder geotechnischen Ursprungs, kann meist nur indirekt über das Verhalten des Bauwerks und der näheren und weiteren Umgebung abgeschätzt und beurteilt werden. Einer sorgfältigen Beachtung aller Zeichen, die auf die Existenz solcher Gefahren hindeuten (z.B. Risse und Rissverhalten des Tragwerks, Verschiebungen, Verformungen und Bewegungen am Bauwerk und in der Umgebung und/oder Veränderungen und Erscheinungen in der Umgebung), ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken [9].

Die weitaus häufigste Gefahr für die Foundation von Kunstbauten ist die mangelnde Tragfähigkeit des Baugrundes. Die ungenügende Tragfähigkeit kann materialbedingt sein (schlechter Boden) oder aber ihre Ursache in einem Widerstandsverlust haben (Kolkwirkung, Geländeabtrag). Da sich der Baugrund in den allermeisten Fällen duktil verhält - Ausnahme z.B.: plötzlicher Scherbruch bei steifen, überkonsolidierten Böden - kündigt sich diese Gefahr in der Regel frühzeitig an. Aus diesem Grund sollte bei jeder Inspektion und Zustandsaufnahme das Setzungsverhalten des Bauwerks kontrolliert und beurteilt werden. Aber auch die besonderen Gefahren der Umwelt wie Rutschungen, Kolkbildung, Erosionen, Unterspülungen usw. sollten beachtet werden.

5. Gefährdete Bauwerke

Ein wesentliches Merkmal für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit eines Bauwerks ist die Robustheit resp. das Gegenteil, die Empfindlichkeit einer Foundation. Es gibt sehr robuste Foundationen, zum Beispiel der tief im Boden eingebundene massige Fundamentkörper einer Schwergewichtsmauer, aber auch sehr empfindliche Foundationen, zum Beispiel die feingliedrige Foundation auf Einzelfundamenten ohne lastverteilende Fundamentwände. Da der Baugrund sich selten als ein homogenes Kontinuum präsentiert und die Fundamentbeanspruchung nicht immer zuverlässig vorherbestimmt werden kann, ist die Fähigkeit der Foundation zur schadensfreien Lastaufnahme und Lastumlagerung zu prüfen und zu bewerten.

Nachfolgend werden beispielhaft fünf Bauwerkstypen diskutiert, die unter besonderen Umständen (Abweichung der Beanspruchung oder der Tragfähigkeit von den Bemessungswerten) generell als potenziell gefährdet zu betrachten sind und daher stets speziell überwacht resp. untersucht werden sollten.

Winkelstützmauern

Bei Winkelstützmauern wirkt die Stützwand als Kragarm. Bei Versagen der Wandeinspannung in der Fussplatte kommt es zum Versagen der Konstruktion. Eine Überbeanspruchung ist durch erhöhten Erddruck (Erdauflast, Hangkriechen, Wandverkipfung durch Setzungsmulde), erhöhten Wasserdruck (Unwirksamkeit der Drainage, Änderung des Wasserregimes) oder durch Korrosion der Bewehrung möglich. Der kritischste Bereich der Winkelstützmauer kann in der Regel, da im erdseitigen Bereich gelegen, nicht kontrolliert werden.

Verankerte Stützwand

Die Spannglieder von älteren, verankerten Stützwänden (Erstellung ca. vor 1995) haben in der Regel keinen hinreichenden Korrosionsschutz. Ein Versagen der Wand durch Spannstahlkorrosion kann daher nicht ausgeschlossen werden. Ob sich das Versagen der Wand durch Deformationszunahme vorankündigt, hängt vom Konstruktionstyp und vom Ausnutzungsgrad der Verankerung ab. Grundsätzlich ist ein sprödes als auch ein duktiler Verhalten der Wand im Bruchzustand möglich. Der Zustand der Verankerung kann nur beschränkt aussagekräftig kontrolliert werden (siehe dazu ASTRA Richtlinie "Boden- und Felsanker" [10]).

Sprengwerke mit Zugband

Sprengwerke mit Zugband wurden in der Regel bei Baugrundverhältnissen mit ungenügendem Horizontalschubwiderstand ausgeführt. Bei Versagen des Zugbandes versagt in der Regel auch die gesamte Konstruktion. Das Zugband, nicht selten knapp unter Terrain von Verkehrswegen gelegen, kann einer erhöhten Korrosionsgefährdung (Salzeinwirkung, Wassertransport) ausgesetzt sein. Ein Versagen des Zugbandes wird ohne Vorwarnung eintreten. Der Zustand des Zugbandes kann nur durch Freilegung kontrolliert werden.

Brücken mit Widerlagerfundation in Dammschüttung

Überführungsbauwerke mit ein- oder beidseitiger Dammschüttung sind sehr häufig. Vielfach ist das Widerlager in der Dammschüttung flach fundiert. In vielen Fällen erfährt die Dammschüttung, vor allem wenn auf schlechtem Baugrund erstellt, grosse und langandauernde Konsolidationssetzungen, die in Längs- wie in Querrichtung sehr unterschiedlich verlaufen können. Dieser Umstand zwingt zu ständigen Lagerkorrekturen und somit zu einer intensiven Überwachung der Setzungen der Brücke. Besondere Aufmerksamkeit ist bei Brücken mit kurzen und/oder schief gelagerten Endfeldern und bei Dammschüttungen mit in Querrichtung stark unterschiedlichen Schütthöhen geboten (ungleichmässige Setzung). In der Regel ist das Setzungsverhalten messtechnisch kontrollierbar. Kritische Zustände kündigen sich meistens durch beobachtbare Phänomene an.

Foundation bei Flussbrücken

Die Foundationen von Flussbrücken sind generell als gefährdet zu betrachten. Hochwasser kann zu gewaltigen hydrodynamischen Kräften führen. Durch die Kolkwirkung (Geschiebebetrieb durch Strömungskräfte) können Fundamentkörper bis mehrere Meter unter die Flusssohle freigelegt und durch die Erosionswirkung ganze Uferpartien unterspült, abgetragen und destabilisiert werden. Die Wirkung der hydrodynamischen Kräfte wird vielfach unterschätzt, wie auch die Möglichkeit, dass eher harmlos erscheinende Gewässer zu Wildwassern mit enormem Wirkungspotenzial werden können. Durch ständige Überwachung der gefährdeten Zonen (Flussbett, Wasserläufe, Uferpartien, Einzugsgebiet) und durch Analysen des Gefährdungspotenzials können Gefährdungen durch Kolkwirkung und/oder Ufererosionen frühzeitig erkannt werden. Weltweit dürfte die Flusserosion (Kolk, Uferabtrag) als häufigste Ursache für den Einsturz von Brücken gelten [11].

Brücken und Stützmauern in Hanglage

Ab einer gewissen Steilheit stellen Hänge immer eine potenzielle Gefahr für Kunstbauten dar. Bei Böden mit geringer Scherfestigkeit (Gehängeschutt, Gehängelehm, verrutschte und verwitterte Molasse) kann die kritische Steilheit bereits bei 10 bis 20°, bei Böden mit grosser Scherfestigkeit (Moräne, Schotter, Bergsturzmaterial) bei 30 bis 35° liegen. Solche Böden haben in der Regel eine geringe Stabilitätsreserve. Bereits geringe Veränderungen im Gleichgewichtszustand (Anschnitte, Aufschüttungen, Hangwasserströmungen, Erosionen) können zu Geländebewegungen führen, welche die Bauwerksfoundationen durch Verschiebungen und/oder Staudruckbelastung beeinträchtigen können. Kritische Hanglagen können in der Regel durch geologische Erkundungen (Kartierungen), besser aber noch durch sorgfältige Beobachtungen und entsprechende Messungen (Slope Indikatoren) erkannt werden. Bei Bauwerken in Hanglagen ist im Rahmen der Überwachung auf alle Anzeichen von Veränderungen (Rutschungen, Erosionen, Wasseraustritte) und Bewegungen (Risse, Klüfte, Aufstauchungen) sorgfältig zu achten. In der Regel gibt es Anzeichen, die auf kritische Situationen schliessen lassen [9].

6. Schlussbemerkung

Dass Bauwerke wegen eines Versagens der Foundation Schaden erleiden, ist relativ selten. Dennoch kommt es immer wieder vor. Man denke zum Beispiel an die Brücke von Wassen. Es ist deshalb gerechtfertigt, sich im Rahmen der periodischen Inspektionen und der Zustandsüberprüfungen auch über den Zustand und die Gefährdung der Foundation Gedanken zu machen.

Nach bisheriger Erfahrung ist die Tragfähigkeit der Foundation weniger durch Widerstandsverlust der Konstruktion infolge Alterungs- und Korrosionserscheinungen gefährdet, als vielmehr durch aussergewöhnliche Einwirkungen und Ereignisse. Hierbei ist vor allem zu denken an die Kolkwirkung bei Hochwasser, die Wirkung von Geländerutschungen und Hangkriechbewegungen mit Staudruckerzeugung, die Beeinträchtigung der Tragfähigkeit

bei Terrainveränderungen, die Setzungserzeugung bei Geländeaufschüttungen, die Wirkung der Eigenkonsolidation über negative Mantelreibung bei Pfahlfoundationen und die Folgen des zeit- und deformationsabhängigen Scherfestigkeitsverlustes bei überkonsolidierten Böden.

Bei der Zustandsüberprüfung von Foundationen gilt es vor allem, die latent vorhandenen geotechnischen Gefahren zu erfassen. Diese können meistens nur auf Grund von Recherchen und Indizien erkannt werden. Die Projektunterlagen sind daher sorgfältig auf geotechnische Schwachstellen zu überprüfen, das Bauwerk auf mögliche Setzungsschäden zu kontrollieren, das Gelände und Umgelände hinsichtlich besonderer geotechnischer Anzeichen und Gefahren zu beobachten, vorhandene Messungen mit Blick auf Bewegungen und Verschiebungen im Boden zu analysieren und für alle gewöhnlichen und aussergewöhnlichen Erscheinungen eine plausible Erklärung zu finden. Sind einmal Gefahren erkannt, können sie in aller Regel mit den zur Verfügung stehenden ingenieurtechnischen Mitteln gebannt oder mindestens unter Kontrolle gehalten werden.

Die im Gefährdungsfall zu ergreifenden Massnahmen können sehr vielfältig sein. So kann die gefährdete Foundation zum Beispiel mit geeigneten Mitteln gesichert, instandgesetzt, verstärkt oder gar ersetzt werden, das Gelände verbaut, der Baugrund verfestigt, das Terrain verändert, der Überbau modifiziert, die Bauwerksnutzung geändert oder die Fundamentbelastung vermindert werden. Welche Massnahme zweckmässig ist, wird im Einzelfall entschieden. Eine allgemeine Empfehlung kann aufgrund Besonderheiten des Einzelfalles und der Vielfalt der Möglichkeit nicht gegeben werden.

Die vorliegende Empfehlung soll den Ingenieur auf die Besonderheiten der Geotechnik sensibilisieren, ihm eine Strategie bei der Auftragserledigung aufzeigen und ihn anhand von Checklisten auf potenzielle geotechnische Gefahren aufmerksam machen. Auf das Gebot, die Zustandsüberprüfung stets stufengerecht anzugehen und dabei durch Nachforschungen, Beobachtungen und Messungen mit geringstem Aufwand ein Maximum an Information zu gewinnen, ist besonders eindringlich hinzuweisen.

Die Zustandsüberprüfung beinhaltet ein Attest über den Zustand und insbesondere die Dauerhaftigkeit des Bauwerks. Zur Abgabe hat der Verfasser eine Prognose über die zukünftige Entwicklung unter Einbeziehung aller vorhersehbaren Gefährdungen zu machen. In Berücksichtigung der Unwägbarkeiten in der Geotechnik ist dies nicht selten eine höchst anspruchsvolle und auch verantwortungsvolle Aufgabe. Sie verlangt hohe Fachkompetenz und äusserste Sorgfalt. Zur Wahrnehmung der Verantwortung wird in schwierigen Fällen der Beizug von Spezialisten oder eines Expertenkollegiums empfohlen.

Literatur

- [1] ASTRA, Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen, EDMZ 1998
- [2] SIA 162/5, Erhaltung von Betontragwerken, SIA 1997
- [3] SIA 462 Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, SIA 1994
- [4] IP Bau, Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, EDMZ 1991
- [5] SIA 469, Erhaltung von Bauwerken, SIA 1997
- [6] U. Vollenweider, Die Beobachtungsmethode, SIA Heft 21 1994
- [7] IP Bau, Beurteilung und Verstärkung von Tragwerken, Verstärkungen im Grundbau, EDMZ 1994
- [8] U. Vollenweider, Gedanken zur Sicherheit im Grundbau, SIA Heft 39 1988
- [9] U. Vollenweider, Erkennen und Erfassen von Rutschgefahren, Fachveranstaltung TFB 4401, 1999
- [10] ASTRA, Boden- und Felsanker, EDMZ 1999
- [11] ASTRA, Sicherheit von Bauwerken im Wasser, EDMZ 1998

ANHANG

Kurzfassung Zustandsüberprüfung

1. Ziel

Die Zustandsüberprüfung hat zum Ziel, den aktuellen Zustand und die Zustandsentwicklung der Foundation mit angemessenem Aufwand zu erfassen, die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zu beurteilen und der Eigentümerschaft Massnahmenempfehlungen für die weitere Nutzung und Erhaltung des Bauwerks zu liefern.

2. Inhalt

Die Zustandsüberprüfung einer Foundation beinhaltet grundsätzlich folgende Tätigkeiten:

- Zustandserfassung
- Zustandsbeurteilung
- Massnahmenempfehlung

Der Umfang der bau- und ingenieurtechnischen Untersuchungen richtet sich nach der Stufe der Zustandsüberprüfung.

3. Stufen

Um den Ablauf und die Abhängigkeiten transparenter zu gestalten, wird die generelle und die detaillierte Überprüfung um die Stufen Inspektion und vertiefte Überprüfung ergänzt.

Stufe	Resultat
Inspektion*	Genereller Überblick über den Zustand der Foundation und des Umfeldes aufgrund einer visuellen Inspektion
Generelle Überprüfung	Beurteilung des Zustandes und der Zustandsentwicklung aufgrund des Aktenstudiums, einfacher Untersuchungen und überschlägiger Nachrechnungen
Detaillierte Überprüfung	Beurteilung des Zustandes und der Zustandsentwicklung aufgrund vertiefter Untersuchungen und Nachrechnungen
Vertiefte Überprüfung**	Beschaffung von zusätzlichen Informationen über ausgewählte Merkmale. Beurteilung aufgrund spezieller Untersuchungen

* Die Inspektion ist Teil der Überwachung. Falls vor der Überprüfung keine Inspektion stattgefunden hat, ist sie nachzuholen.

** Die vertiefte Überprüfung ist Teil der detaillierten Überprüfung.

Die Überprüfungsmassnahmen sind unter Beachtung von Kosten - Nutzenüberlegungen der Art, der Bedeutung und dem Versagensrisiko des Bauwerkes anzupassen.

Die nächste Stufe der Überprüfung wird nur durchgeführt, wenn die vorangehende Stufe ergeben hat, dass sie notwendig und vom Erkenntnisbedarf her gerechtfertigt ist.

Eine Notwendigkeit besteht immer dann, wenn:

- im Vergleich zu der letzten Zustandsüberprüfung Hinweise auf neue oder grössere Schäden vorliegen
- Hinweise auf neue oder intensivere Gefährdungen bestehen oder vermutet werden
- Kenntnis von oder Verdacht über aussergewöhnliche Einwirkungen besteht
- der Zustand, die Zustandsentwicklung und die Tragfähigkeit bei gleichzeitig hohem Risiko nicht eindeutig abgeschätzt werden können
- die Folgen und Auswirkungen von Tragwerks- und Nutzungsänderungen auf die Foundation nicht eindeutig abgeschätzt werden können.

Keine Notwendigkeit besteht in all jenen Fällen, in denen:

- über den Zustand und die Tragfähigkeit der Foundation ausreichend Gewissheit besteht
- feststeht, dass das Bauwerk oder die Foundation auch ohne weitere Untersuchung verstärkt, ersetzt oder ausser Betrieb genommen werden muss.

4. Vorarbeiten

Zu Beginn der Zustandserfassung sind die vorhandenen, für die jeweilige Stufe relevanten Daten anhand der vorliegenden Bauwerksakten (SIA 469, Ziffer 4) zu erheben und zu analysieren:

- Konstruktion und Funktionsweise von Tragwerk und Foundation
- Geometrie von Tragwerk und Foundation
- Bemessung und Beanspruchung von Tragwerk und Foundation
- natürlicher und künstlich geschaffener Terrainverlauf
- Baugrundbeschaffenheit mit Geologie und Wasserverhältnissen
- Baugrundverhalten bezüglich Konsolidationssetzungen, Kriech- und Terrainbewegungen
- bisher erfolgte Überwachungen und Überprüfungen
- festgestellte Mängel und Schäden
- Feststellungen über
 - aussergewöhnliche Einwirkungen
 - geotechnische Gefahren
 - besondere Beobachtungen von Dritten

- erfolgte und aktuelle Bauarbeiten in der Umgebung
- allfällige weitere Hinweise, welche relevant für die Foundation sein können
- potenzielle Schwachstellen der Foundation und des Foundationskonzeptes
- potenzielle Gefahren für Foundation und Baugrund
- Folgen eines teilweisen oder vollständigen Versagens der Foundation.

Aufgrund der Datenerhebung werden die Massnahmen zur Erfassung geplant.

5. Projekt zur Zustandserfassung

Für jede Stufe der Überprüfung ist ein Projekt zu erstellen, das Angaben enthält über:

- Ziele der Untersuchungen
- fehlende Daten, die erhoben werden müssen
- geplante Untersuchungen mit Festlegung der Methoden und Stichproben zur Feststellung der :
 - Übereinstimmung von bestehender Foundation mit der Bauwerksdokumentation
 - Übereinstimmung des vorliegenden Baugrundes mit der Bauwerksdokumentation
 - effektiven Lastabtragung in den Baugrund
 - Wirksamkeit der konstruktiven Lösungen (Drainagen, Schutz vor Tausalz, ...)
 - vorhandenen Baustoffeigenschaften
- Untersuchungsablauf
- Nebenarbeiten (z.B. Gerüste, Aushübe, Verkehrsumleitungen, ...)
- Spezialisten für die Untersuchungen (Geologe, Hydrologe, Dynamiker, ...).

Im Projekt sind Massnahmen vorzusehen, damit durch die Tätigkeiten der Erfassung:

- Foundation, Tragwerk und Untergrund nicht unzulässig geschwächt werden
- Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit nicht eingeschränkt werden
- Leib und Leben von Beteiligten und Dritten während und nach der Zustandsaufnahme geschützt sind, insbesondere bei Arbeiten im Verkehrsraum, im und am Wasser oder bei geschädigten Bauwerken
- Klima, Witterung und Temperatur die Zustandserfassung nicht verfälschen (Nässe, Schnee, Eis, direkte Sonneneinstrahlung, ...)
- nur unumgänglicher, vereinbarter Schaden am Eigentum Dritter entsteht
- Bauteile, welche durch zerstörende Prüfung Schaden erlitten haben, instandgesetzt werden.

Erhebungen von fehlenden Daten über die Foundation und den Baugrund sind oft sehr aufwendig. Sie sind auf das Notwendige zu beschränken.

Es ist ein technischer Bericht mit Begründung für die Untersuchungsmassnahmen und mit detailliertem Kostenvoranschlag zu erstellen.

6. Überprüfungsbericht

Der Bericht der Überprüfung soll im Allgemeinen folgende Teile enthalten:

- Auftrag mit Begründung der Auftragserteilung
- Kurzbeschreibung des Bauwerks
- Beteiligte an der Überprüfung
- Grundlagen und Unterlagen
- Überprüfungsarbeiten
- Ausgeführte Unterhaltsarbeiten
- Resultate der Zustandsermittlung
- Beurteilung des Zustandes
- Prognose über die Zustandsentwicklung
- Angeordnete Sofortmassnahmen
- Massnahmenempfehlung
- Offene, ungeklärte Fragen und Probleme
- Sämtliche Protokolle der Zustandserfassung.

Im Bericht der Überprüfung soll immer zwischen Feststellungen, Vermutungen und Hypothesen unterschieden werden.

Gefahren für die Fundation

In der nachfolgenden Liste sind die häufigsten Gefahren zusammengestellt, die zum Versagen einer Fundation durch Überbeanspruchung oder Widerstandsverlust führen können. Die Gefahrenliste ist als Checkliste gedacht.

Baugrundbedingte Gefahren	Ursache	Anzeichen, Hinweise	Wirkung
Fundamentsetzungen	Überbeanspruchung Fundation Ungenügende Steifigkeit Baugrund Bewegungen im Boden Terrainaufschüttungen	Messungen / Beobachtungen Verschiebungen Verformungen / Verkantungen Risse / Stauchungen im Tragwerk	Überbeanspruchung Tragkonstruktion Verlust Gebrauchstauglichkeit Verlust Tragsicherheit Auftreten langsam oder plötzlich
Geländeerutschungen	Scherfestigkeitsverlust Terrainveränderungen Hangwassereinwirkung Baugrundbelastung	Messungen / Beobachtungen Verschiebungen Morphologie / Vegetation Risse im Boden	Überbeanspruchung Widerstandsverlust Tragwerksverschiebungen Auftreten plötzlich oder langsam
Kriechen	Grenzzustand Gelände Überbeanspruchung des Baugrundes Terrainveränderungen	Messungen / Beobachtungen Verschiebungen Verformungen Risse im Terrain Langzeiterfahrung	Überbeanspruchung der Fundation und Tragkonstruktion Staudruckbildung Auftreten langsam oder plötzlich
Murgänge	Lockergestein und Hangwasser Stauung von Gewässern Lange Niederschlagsperioden	Oberflächenerosion Stauung von Gewässern Langzeiterfahrung	Überbeanspruchung der Fundation Verlust an Grundbruchwiderstand
Steinschlag	Felsabbrüche oder Geröllfelder Frost/Tau Wasser	Geländebeobachtung Langzeiterfahrung	Überbeanspruchung der Fundation
Geländeveränderungen	Künstliche Eingriffe durch Einschnitte und Anschüttungen, Baustellen Rutschungen Erosion	Beobachtung siehe auch Geländeerutschung Geländekontrollen	Überbeanspruchung der Fundation Verlust an Grundbruchwiderstand
Hochwasser	Klimatische Verhältnisse Änderungen im Abflussregime	Veränderung des Gewässerlaufes Hydrologische Messungen Langzeiterfahrung	Überbeanspruchung durch Einstauung Verlust an Widerstand durch Kolk und Erosion
Grundwasserspiegeländerung	Natürliche Schwankungen künstliche Veränderungen GW - Entnahme GW - Stauung	Messungen / Beobachtungen Hebungen / Setzungen Quellaustritte / feuchte Stellen	Überbeanspruchung der Fundation Setzungserscheinungen Auftriebsverlust / -erhöhung Verlust Gebrauchstauglichkeit Auftreten langsam oder plötzlich

Baugrundbe- dingte Gefahren	Ursache	Anzeichen, Hinweise	Wirkung
Innere Erosion im Boden	Feinkörnige siltig- sandige Böden Hangwasser/Quellen Defekte Leitungen und Drainagen Bohrungen	Ausschwemmungen Erosionserscheinungen, Hohl- räume Neue Quellaustritte Materialführung in Drainagen	Setzungen Terraineinbrüche Verlust an Widerstand
Kolkwirkung	Exponierte Flusslage Hochwasser Hindernis im Abfluss- querschnitt	Flussbettveränderungen Geschiebetrieb Langzeiterfassung	Fundamentsetzungen Überbeanspruchung Auftreten meist plötzlich
Quellen des Bo- dens	Quellfähige Böden Anhydrit, tonige Mergel Spezielle Tonminerale	Hebungen Verschiebungen Risse Druckzunahmen	Fundamenthebungen Überbeanspruchung der Foundation Auftreten langsam
Schrumpfen des Bodens	Bindige Böden mit gros- ser Plastizität Wasserentzug durch Bäume Austrocknen Drainage	Setzungen Verschiebungen Risse	Fundamentsetzungen Überbeanspruchung der Konstruktion Auftreten langsam
Bauwerksbe- dingte Gefahren	Ursache	Anzeichen, Hinweise	Wirkung
Belastungsände- rungen	Nutzungsänderungen beim Überbau Umbauten Unterhaltszustände	Bauarbeiten	Überbeanspruchung der Foundation Überbeanspruchung des Baugrundes
Verlust innere Tragfähigkeit Foundation	Überbeanspruchung Alterung Korrosion Umwelteinflüsse	Visuell meist nicht feststellbar Indirekte Hinweise über Set- zungen und Verformungen	Widerstandsverlust Auftreten langsam oder plötz- lich
Verlust der Bau- stoffqualität	Chloridversalzung Aggressive Stoffe im Boden, im Wasser oder in der Luft	Visuell meist nicht feststellbar Analyse der chemischen Zu- sammensetzung Indirekte Hinweise über Set- zungen und Verformungen	Widerstandsverlust Auftreten langsam oder plötz- lich
Ungenügende Pfahlfoundation	Korrosion in Gelenken von Fertigpfählen Faulen von Holzpählen Korrosion von Zugs- schlüsseln	Visuell meist nicht feststellbar	Versagen der Foundation

Andere Gefahren	Ursache	Anzeichen, Hinweise	Wirkung
Unfälle (Stoss, chemisch aggressive Mittel, ...), Katastrophen	Natürlich, künstlich	Nicht vorhersehbar	Überbeanspruchung von Tragwerk, Fundation oder Baugrund Verlust der Baustoffqualitäten
Erschütterung	Künstlich Verkehr	Setzungen	Überbeanspruchung Tragwerk, Fundation und Baugrund Setzungen Strukturveränderung im Boden
Erdbeben	Natürlich	Langzeiterfahrung	Überbeanspruchung Tragwerk, Fundation und Baugrund Setzungen Strukturveränderung im Boden
Bauarbeiten in näherer oder weiterer Umgebung			Geländeänderungen Änderungen im Grundwasserregime Baugrunddeformationen
Bemessungsfehler, falsche Einschätzung des Baugrundes	Fehlerhafte Grundlagen Menschliches Versagen	Visuell feststellbar Messungen von Setzungen, Verkippungen Risse im Tragwerk	Überbeanspruchung der Fundation Überbeanspruchung des Baugrundes

Besondere Beachtung verdienen dabei Konstruktionen, die nicht oder nur sehr schlecht kontrollierbar sind (Fundationen generell) und die bei Überbeanspruchung ohne oder nur mit geringen Anzeichen zu einem Versagen führen (zum Beispiel Scherbruch bei überkonsolidierten, steifen Böden, Spannstahlkorrosion bei verankerten Stützbauwerken).

Untersuchungsmethoden

Im folgenden sind einige Untersuchungsmethoden aufgeführt. Die meisten Methoden werden für die Prüfung von neu erstellten Bauteilen angewendet. Ihre Eignung für die Untersuchung von Fundationen bestehender Bauten ist oft eingeschränkt.

	Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
1	Freilegen einer Fundation	Freilegung von Teilen oder gesamten Fundationen (Platten, Pfähle, ...). Visuelle Prüfung und Entnahme von Materialproben	- Freilegung der Fundation muss statisch zulässig und technisch ausführbar sein	- Visuelle Beurteilung von Übergang Fundation-Bauwerk und Fundation-Baugrund - Geometrie / Abmessungen / Betonüberdeckung - Materialprüfungen im Labor	- Geometrie - Materialeigenschaften - Wirkungsweise der Gesamtheit Bauwerk – Fundation – Baugrund	- Aushubtiefe - Extrapolation für grosse Tiefen (Pfähle) bei stark wechselndem Baugrund beschränkt möglich
2	Kernbohrung / Probenentnahme	Gewinnung einer Materialprobe z.B. mittels Kernbohrung	- Zugänglichkeit	- Laboruntersuchungen - Visuelle Beurteilung	- Materialqualitäten	- Bohrgenauigkeit bei langen Bohrungen - Nur Stichproben
3	Baugrunduntersuchung	Untersuchen der Baugrundverhältnisse mittels Bohrung, Sondierschacht, Rammsondierung etc.	- Zugänglichkeit	- Visuelle Baugrundbeurteilung - Laborversuche - In Situ-Versuche - Grundwasserverhältnisse	- Baugrundmodell - Baugrundeigenschaften - Interaktion Baugrund / Bauwerk	- Genauigkeit der ermittelten Bodenkennwerte - Modellunsicherheiten
4	Deformationsmessungen im Bauwerk	Messung der Verschiebungen im Fundament und im Untergrund mittels Trivec, Slope-Indicators, Extensometer. I.d.R. werden die Messeinrichtungen in die Bohrlöcher eingebaut.	- Bauteil und Umgebung muss sinnvoll instrumentiert werden - Nullmessung frühzeitig erstellen - Erstellen einer Messreihe	- Verschiebungen und Setzungen - Verkippungen - Dehnungen/Stauchungen - Zeit - Lage	- Setzungen und Verschiebungen der Fundation in Funktion der Zeit - Ortung von Gleitflächen und setzungsanfälligen Bodenschichten	- Genauigkeit bei grossen Messdistanzen - grosse Deformationen können Messstellen zerstören

	Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
5	Deformationsmessung an der Oberfläche des Bauwerks	Vermessung des Bauwerks und der Umgebung mittels GPS, Präzisionsfotogrammetrie, Geodäsie, Laser, Messband, Distometer, Risslupe, Neigungsmesser, Schlauchwaage etc.	- Bauteil und Umgebung müssen sinnvoll instrumentiert werden - Nullmessung frühzeitig erstellen - Erstellen einer Messreihe	- Verschiebungen und Setzungen - Verkippungen - Dehnungen/Stauchungen - Zeit - Lage	- Setzungen und Verschiebungen der Fundation und der Umgebung in Funktion der Zeit	- Sichtverhältnisse bei optischen Geräten
6	Bohrlochseismik Crosshole Seismic Method	In einem Bohrloch werden in einer bestimmten Tiefe seismische Signale erzeugt. Diese pflanzen sich im Baugrund fort und werden an Fremdkörpern, z. B. Fundament, reflektiert. Die reflektierten Signale werden im gleichen oder einem anderen Bohrloch durch Geophone aufgenommen. Die Tiefenlage der seismischen Signalquelle und der Geophone wird variiert.	- Speziell eingebaute Verrohrung im Bohrloch - Lage und Richtung des Bohrloches müssen bekannt sein - Kenntnis über Aufbau des Baugrundes - Wellengeschwindigkeit im Baugrund muss bekannt sein (durch Eichmessungen in situ oder Labor) - Baugrund sollte möglichst homogen sein	- Tiefenlage der seismischen Signalquelle und der Geophone - Laufzeit der reflektierten Wellen in Abhängigkeit von der Tiefenlage	- Tiefenlage und Abmessungen des Fundationskörpers entlang einer Profilinie (Bohrloch) - Baugrundbeschaffenheit	- Erkundungstiefe ist abhängig von der Bohrlochtiefe - Inhomogenitäten im Baugrund können seismische Signale verändern

Zustandsüberprüfung von Fundationen bestehender Kunstbauten

Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
7 Georadar Ground Penetrating Radar	Mit einer Senderantenne werden elektromagnetische Wellen (Radarsignale) in den Prüfkörper ausgesandt. Die Radarsignale werden an den Anomalien (Änderung der Dielektrizitätskonstanten) reflektiert. Die reflektierten Radarsignale werden an der Oberfläche des Prüfkörpers von einer Empfängerantenne aufgenommen. Die Lage der Sender- und Empfängerantenne wird variiert, so dass die verschiedenen Messungen ein Tiefenprofil ergeben.	- Für die Anordnung der Antennen muss die Oberfläche des Prüfkörpers zugänglich und möglichst eben sein	- Lage der Antennen - Laufzeit der Radarsignale - Frequenz der Radarsignale	- Lage von Objekten, welche die Radarsignale reflektieren - Mögliche Reflektoren sind: • Bewehrungsstahl im Beton • Hohlräume und Schichtung im Boden / Beton • Werkleitungen Trennflächen im Fels / Beton • Grundwasserspiegel • Schichtwechsel im Lockergestein • Metallgegenstände • Archäologische Objekte	- Je höher die gewünschte Auflösung desto geringer ist die Eindringungstiefe - Eindringungstiefe bei tonig – siltigen Böden ca. 2 bis 3 m - Eindringungstiefe in trockenem Kies: ca. 20 bis 30 m - Starke Beeinträchtigung durch elektrische Leitungen
8 Ankerüberprüfung	Freilegen des Ankerkopfes mit visueller Kontrolle, Abheben des Ankers und spezielle Spannpole sowie elektrische Widerstandsmessung zur Beurteilung des Korrosionsschutzes (Anker-Richtlinie, ASTRA, 1997)	- Zugänglichkeit - Ankerkopfausbildung (Kontrollanker)	- Verschiebungen des luftseitigen Zuggliedendes - Verschiebung des Ankerwiderlagers - Ankerkraft P in Abhängigkeit von der Zeit - Elektr. Widerstand	- Kraft-Verschiebungsverhalten - Kriechverhalten - Tragwiderstand des Ankers - Güte des Korrosionsschutzes	

Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
9	Statische Pfahlprüfung	- Aufbau einer Belastungseinrichtung - Vermessung und Instrumentierung der Pfähle (z. B. Extensometer)	- Aufgebrachte Kraft - Verschiebungen des Pfahlkopfes in Abhängigkeit der Zeit und der Kraft - Verformungen entlang des Pfahles in Abhängigkeit von Zeit und Kraft	- Tragwiderstand des Pfahles - Anteil und Verteilung der Mantelreibung - Kraft-Setzungsverhalten	- Beeinflussung des Bodens durch die Belastungseinrichtung - Aufwendige Installation - Zugänglichkeit der Pfahlköpfe
	Krafteinleitung am Pfahlkopf mit Deformationsmessungen des Pfahles	- Einbau Pfahlfusspresse - Vermessung und Instrumentierung der Pfähle (z. B. Extensometer)	- Aufgebrachte Kraft - Verschiebungen des Pfahlkopfes in Abhängigkeit von der Zeit und der Kraft - Verformungen entlang des Pfahles in Abhängigkeit von Zeit und Kraft	- Kraft-Hebungsverhalten des Pfahles - Kraft-Setzungsverhalten des Widerlagers im Pfahlfuss - Tragwiderstand des Pfahles - Anteil und Verteilung der Mantelreibung	- Nachträglicher Presseneinbau bei bestehenden Pfählen nicht möglich.
10	Low Strain - Integritätsprüfung Reflexionsmethode Hammerschlagmethode Impakt-Echo-Methode	- Glatter und rissfreier Pfahlkopf - Messaufnehmer senkrecht und unverschieblich auf dem Pfahlkopf positioniert - Mind. 10 % der Pfähle bzw. 3 Pfähle pro Pfahltyp prüfen - Möglichst freistehende Pfähle	- Beschleunigung bzw. Geschwindigkeit der Stosswelle am Pfahlkopf und Intensität der Reflexionen mittels Oszilloskop - Zugehörige Laufzeiten der Stosswellen im Pfahl	- Länge des Pfahles ($\pm 5\%$) - Grössere geometrische Unregelmässigkeiten des Pfahlschaftes (Einschnürungen, Verdickungen) - Änderung der Betonqualität (Kiesnester, Einschlüsse, Auswaschungen) - Sprunghafte Änderungen der Mantelreibung - Risse - Tragverhalten des Pfahles (Spitzenwiderstand vorhanden oder nicht)	- Maximale Pfahlänge ca. 20-30 m - Felsartige Böden weisen eine hohe Dämpfung auf (begrenzte Messlänge) - Zugänglichkeit der Pfahlköpfe - Qualitative Unterscheidung, ob Querschnitts- oder Materialveränderungen nur bedingt möglich - Diskontinuitäten in den oberen Metern des Pfahles und Kupplungen können die Eindringung der Stosswellen vermindern
	Durch einen Schlag auf den Pfahlkopf wird eine Stosswelle erzeugt, die den Pfahlschaft axial durchläuft und am Pfahlfuss reflektiert wird.				

	Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
11	High Strain - Integritätsprüfung Schlagversuch	Durch einen Ramm- schlag auf den Pfahl- kopf wird eine Stoss- welle erzeugt, die den Pfahlschaft axial durchläuft und am Pfahlfuss reflektiert wird. (Das Rammge- wicht soll gem. DIN 4026 1:1 bis 1:2 zum Pfahlgewicht betra- gen.)	- Schutz des Pfahl- kopfes mit gut pas- sender Rammhaube - Messbereich muss unversehrt bleiben - Keine Risse im Mess- bereich - Pro Pfahl mehrere Messsignale aufneh- men - Mind. 10 % der Pfähle bzw. 3 Pfähle pro Pfahltyp prüfen	- Event. Feinnivelle- ment beim Einram- men - Beschleunigung bzw. Geschwindigkeit bei der Stosseinleitung mittels Oszilloskop - Verformung bei der Stosseinleitung - Zugehörige Laufzei- ten der Stosswellen im Pfahl	Durch Vergleich von Messgrössen aufeinan- derfolgender Schläge sind folgende Resultate erkennbar: - Vorhandensein und Veränderung der Mantelreibung und des Spitzenwiderstandes - Bildung von Rissen - Abscheren des Pfahles - Schäden an den Pfahl- kupplungen	- Zugänglichkeit für Ramme - Mehrfache Kupplun- gen - Störstellen im Kopfbe- reich - Risse durch vorange- gangenes Rammen - Unregelmässige Pfahlgometrie (Ort- betonpfähle)
12	Ultraschall – Methode Tomographie	Mehrere Messrohre (mind. zwei) werden an den Bewehrungs- korb des Pfahles ge- schweisst. Die Sonden (ein Sender und ein Empfänger) werden in den Messrohren abge- senkt und anschlies- send miteinander vom Pfahlfuss bis zum Pfahlkopf hochgezo- gen.	- Messrohre müssen mit Wasser gefüllt sein - Präzise parallele An- ordnung der Messroh- re	- Wellenausbreitungs- geschwindigkeit in Funktion von Mess- rohrabstand und Messtiefe	- Wellenausbreitungs- geschwindigkeit in Ab- hängigkeit der Tiefe - Homogenität des Be- tons - Abschätzung der Druckfestigkeit des Betons - Lage der Fehlstellen im Beton (Kiesnester, Auswaschungen) - Fugen, Risse - Fremdkörperein- schlüsse	- Nachträgliche Instal- lation schwierig

	Bezeichnung	Beschreibung	Randbedingungen	Messgrössen	Resultat / Interpretation	Anwendungsgrenzen
13	γ -Strahlen – Methode	Mehrere Messrohre (mind. zwei) werden an den Bewehrungskorb des Pfahles geschweisst. Zwei Sonden (ein Sender und ein Detektor) werden in je einem Rohr abgesenkt und anschliessend miteinander hochgezogen. Die ausgesendeten γ -Strahlen werden im Beton gestreut.	- Abstand der Messrohre begrenzt (Reichweite der γ-Strahlen) - Präzise parallele Anordnung der Messrohre	- Anzahl der ankommenden γ-Strahlen, in Abhängigkeit der Tiefe	- Homogenität des Betons - Qualität (Dichte) des Betons	- Nachträgliche Installation schwierig
14	Vibrationsverfahren	Vibrationen werden über den Pfahlkopf kontinuierlich in den Pfahl eingeleitet und die Frequenz am Pfahlkopf gemessen.	- Pfahlkopf muss glatt sein	- Eigenfrequenz des Pfahles - Laufzeit der Stosswellen	- Länge des Pfahles - Vorhandensein und Lage von Fehlstellen	- Zugänglichkeit - Verhältnis $20 < l/d < 50$ - Gekuppelte Rampa-fähle sind problematisch (Reflexion an den Kupplungen)

Zustandsüberprüfung Bauwerk / Foundation

Bewertung der Foundation aufgrund von Beobachtungen und Feststellungen

Kriterium	Beobachtung / Feststellung Charakterisierung Zustand	Bewertung siehe Fussnote
a) Schädigung Tragwerk		
b) Schädigung Foundation		
c) Setzungen Bauwerk		
d) Terrainverschiebungen		
e) Terrainveränderungen		
f) Exponiertheit Lage		
g) Einwirkungen		
Bewertung: Bewertung bezieht sich auf den Zustand der Foundation hinsichtlich Gewährleistung der vereinbarten Bauwerknutzung. Skalierung nach SIA 162/5 Ziffer 4 12		
A gut	keine Gefährdung, Foundation unproblematisch	
B annehmbar	Gefährdung möglich, Überwachung angezeigt	
C schadhaft / problematisch	Gefährdung vorhanden, Überwachung notwendig, Untersuchungen angezeigt	
D schlecht	Gefährdung bedrohlich, Untersuchung dringend	
E alarmierend	hohe Gefährdung, Sofortmassnahmen erforderlich	

Hinweise zu:

- Tragwerksschäden, die auf ein Ungenügen der Foundation schliessen lassen, z.B. Setzungsrisse, Widerlagerverkantung, Tragwerksverschiebungen usw.
- Festgestellte oder durch Indizien begründete Fundamentschäden
- Beurteilen der Setzungen bezüglich Setzungsursache (Auflast, Eigenkonsolidation usw.) und Setzungsverlauf (abklingend, stationär, progressiv)
- Beurteilen von Art und Ursache der Terrainverschiebungen (Kriechbewegungen, Rutschungen usw.) mit Ausmass der Fundamentgefährdung
- Beurteilen von Terrainveränderungen (Aufschüttungen, Anschnitte, Aushübe usw.) bezüglich Einfluss auf die Tragfähigkeit der Foundation
- Beurteilen der Exponiertheit der Lage z.B. Flusslauf / Kolkwirkung, Rutschhang, Murgang usw.
- Besondere Einwirkungen mit hoher Gefährdung z.B. Korrosion, Erosion, Erschütterungen Kriechdruck usw.

Zustandsüberprüfung Bauwerk / Fundation

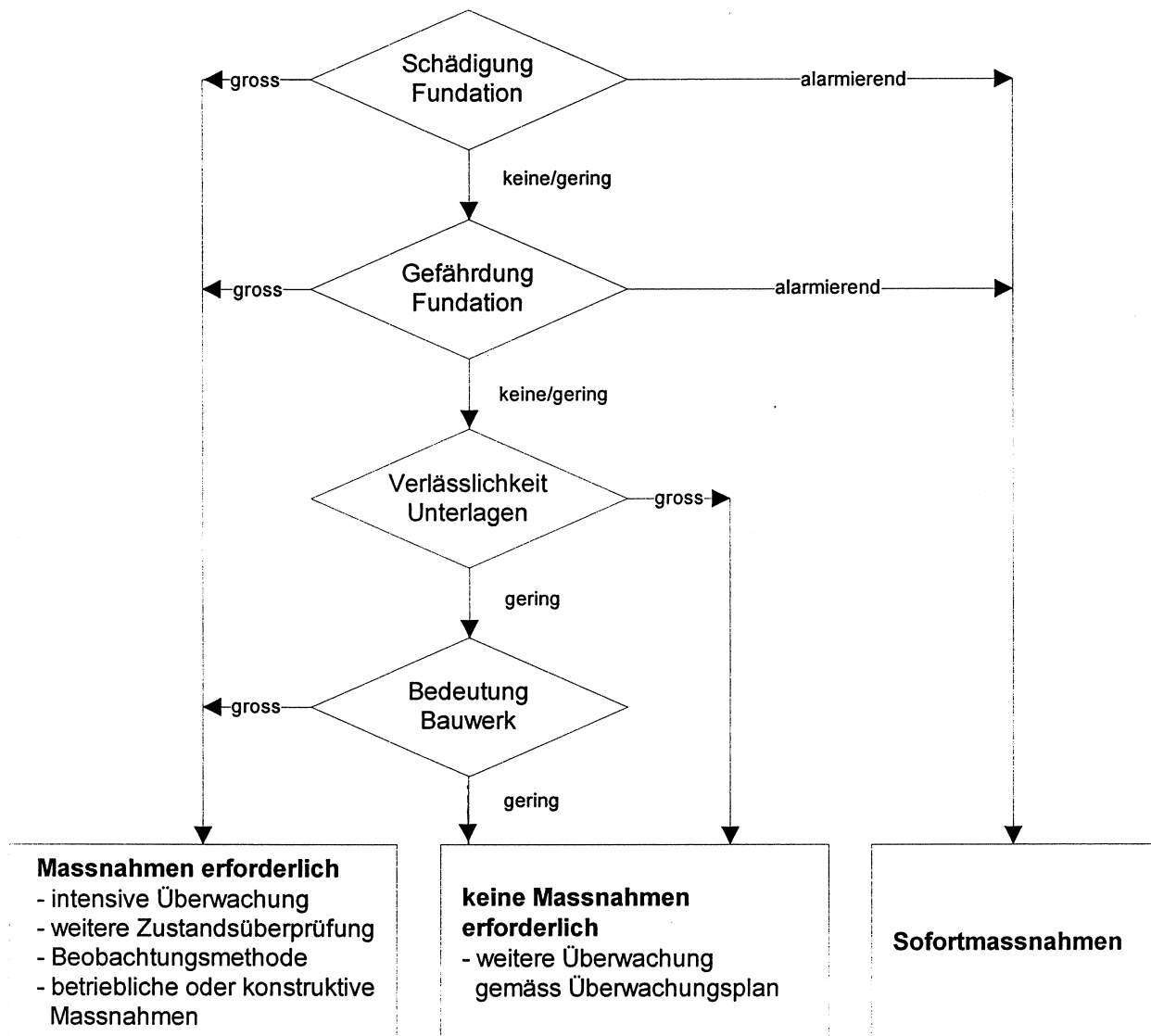
Bewertung der Fundation aufgrund von Erhebungen und Untersuchungen

Kriterium	Beobachtung / Feststellung Charakterisierung Zustand	Bewertung siehe Fussnote										
h) Baugrund												
i) Konstruktion Fundation												
k) Standfestigkeit Fundation												
l) Geländebruchsicherheit												
m) Gesamtbeurteilung												
Bewertung: Bewertung bezieht sich auf den Zustand der Fundation hinsichtlich Gewährleistung der vereinbarten Bauwerknutzung. Skalierung nach SIA 162/5 Ziffer 4 12 <table><tr><td>A gut</td><td>keine Gefährdung, Fundation unproblematisch</td></tr><tr><td>B annehmbar</td><td>Gefährdung möglich, Überwachung angezeigt</td></tr><tr><td>C schadhaft / problematisch</td><td>Gefährdung vorhanden, Überwachung notwendig, Untersuchungen angezeigt</td></tr><tr><td>D schlecht</td><td>Gefährdung bedrohlich, Untersuchung dringend</td></tr><tr><td>E alarmierend</td><td>hohe Gefährdung, Sofortmassnahmen erforderlich</td></tr></table>			A gut	keine Gefährdung, Fundation unproblematisch	B annehmbar	Gefährdung möglich, Überwachung angezeigt	C schadhaft / problematisch	Gefährdung vorhanden, Überwachung notwendig, Untersuchungen angezeigt	D schlecht	Gefährdung bedrohlich, Untersuchung dringend	E alarmierend	hohe Gefährdung, Sofortmassnahmen erforderlich
A gut	keine Gefährdung, Fundation unproblematisch											
B annehmbar	Gefährdung möglich, Überwachung angezeigt											
C schadhaft / problematisch	Gefährdung vorhanden, Überwachung notwendig, Untersuchungen angezeigt											
D schlecht	Gefährdung bedrohlich, Untersuchung dringend											
E alarmierend	hohe Gefährdung, Sofortmassnahmen erforderlich											

Hinweise zu:

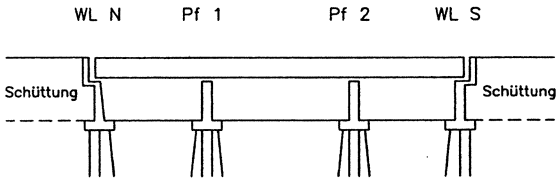
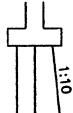
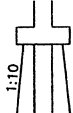
- h) Bewerten des Baugrundes bezüglich besonderer Risiken, z.B. hohe Setzungsempfindlichkeit, geringe Tragfähigkeit, Erosionserscheinungen usw.
- i) Bewerten der Fundation bezüglich Art, Verlässlichkeit, Robustheit, Einfachheit usw.
- k) Beurteilen der Standfestigkeit der Fundation aufgrund von Erfahrung / Messungen / Nachrechnung
- l) Beurteilen der Geländebruchsicherheit bezüglich Gefährdung der Fundation aufgrund von Erfahrung / Messungen / Nachrechnung
- m) Gesamtbeurteilung mit Bewertung und Hinweis auf empfohlene Massnahmen z.B. periodische Überwachung, intensive Überwachung, permanente Überwachung, weitere Messungen, weitere Überprüfungen, Expertenberatung, Sofortmassnahmen usw.

Entscheidungshilfe für die Massnahmenplanung



Hinweise

- Qualifizierung:** Der Entscheid über die zu empfehlenden Massnahmen erfolgt aufgrund der Beurteilung der aufgelisteten Kriterien.
Die Qualifizierung der Beurteilung in alarmierend, gross oder keine/gering erfolgt aufgrund von erhärteten Fakten oder begründeten Prognosen.
- Massnahmen:** Die zu empfehlenden Massnahmen richten sich hauptsächlich nach der Art und dem Grad der Schädigung und Gefährdung. Als Massnahme kommen in Frage: nächste Stufe Zustandsüberprüfung, Fundationsverstärkung, Baugrundverbesserung, Geländesicherung, Terrainveränderung, Tragwerksveränderung, Nutzungsänderung, Ausserbetriebnahme, Notmassnahmen.
- Sofortmassnahmen:** Ist der Bestand des Bauwerks unmittelbar durch die Schädigung und/oder Gefährdung der Fundation bedroht, sind Sofortmassnahmen zu ergreifen.

Datenblatt Bauwerk N2 Viadukt Schopflibach, Baujahr 1976 / 77	Feldaufnahmen: Juli 1992 / August 1996 Zustandsbericht: 8. Oktober 1996
System Tragwerk: durchlaufender Kastenträger  Baugrund: Seeablagerungen weich / locker tonig-siltig, zum Teil organisch tragfähige Schicht $t > 35$ m	System Fundation: Pfahlfundation schwimmend Widerlager N + S durchgehend  Pfeiler 1 + 2 Doppelpfeiler  Pfähle: Franki ϕ 52 Anzahl: $15 \times 3 = 45$ pro WL Länge: 25 - 28 m Pfähle: Franki ϕ 52 Anzahl: $2 \times (4 \times 6) = 48$ Länge: 28 - 33 m

Kriterium	Bewertung A: gut B: annehmbar C: schadhaft / problematisch D: schlecht E: alarmierend	Qualifizierung a: festgestellt b: Indizien c: vermutet	Bemerkung
1. Zustand Überbau Fundation Baugrund Umgebung Setzungen Verschiebungen	A B D A C B	a b a a a a	guter Zustand, Aufnahmen 92/96 Projektpläne, Probelastung 76 Geologischer Bericht 75/82 eben bis leicht geneigt Setzungsmessungen 77-96 Verschiebungsmessungen 77-96
2. Gefährdung Überbeanspruchung innere Tragfähigkeit äussere Tragfähigkeit Setzungen Kriechbewegungen Geländerutschung Geländeveränderung Hochwasser weitere Gefahren Murgänge, Erosion, Quellen, Schrumpfen, Erdbeben usw.	C B C C B A B A A	b c b a b b c a a	möglich, negative Mantelreibung Nachrechnung i.O.; Zustand? Setzungsverhalten Pfähle Setzungsmessungen, Expertise infolge Dammschüttungen kein Problem, Terrain $\pm$ eben keine geplant kein Problem keine
3. Gesamtbeurteilung	C	a	Tragverhalten kontrollierbar Risiko überblickbar
4. Bemerkungen grosse Widerlagersetzungen als Folge der Dammschüttung auf weichem Untergrund. Setzungen Widerlager: $s_o = 150 - 210$ mm; $\Delta s_{96} = 1 - 2$ mm/Jahr, monoton Pfeiler: $s_o = 40 - 60$ mm; $\Delta s_{96} < 1$ mm/Jahr, monoton Damm: $s_o = 200 - 350$ mm; $\Delta s_{96} \cong 4 - 6$ mm/Jahr, monoton 5. Beurteilung Baugrund schlecht. Weitere Setzungszunahme. Tragkonstruktion derzeit direkt nicht gefährdet. Expertise liegt vor. Bauwerk muss überwacht werden			

