



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Problematik im Spezialtiefbau

Statistische Untersuchungen zu Schadensfällen im Spezialtiefbau in Österreich

Problems in civil engineering

Statistical studies of damages in civil engineering in Austria

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter
der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkende Assistenten

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Andreas Jurecka

und

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Andreas Makovec

am

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Walter Bednář

9825993

Thomas Münzer Gasse 30

1100 Wien

Wien, November 2011

.....
(Walter Bednář)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Baufirmen, Auftraggebern und Planern bedanken, die den Fragebogen ausgefüllt haben. Ohne ihren Einsatz beim Ausfüllen der Fragebögen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Auf Grund der versprochenen Geheimhaltung werde ich hier nicht all die Personen erwähnen, die meinen besonderen Dank verdient haben.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.tech. Hans Georg Jodl und seinen Mitarbeitern Herrn Dipl.-Ing. Andreas Jurecka und Herrn Dipl.-Ing. Andreas Makovec bedanken. Besonders für Ihre Geduld, während der langen Bearbeitungszeit dieser Diplomarbeit, möchte ich mich in besonderer Weise bedanken.

Desweiteren möchte ich mich bei meinen Freunden und Kollegen bedanken, die mich immer wieder bei der Bearbeitung unterstützt haben.

Besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Helmut Hausmann, Herrn Mag. Gabriel Panzenböck sowie meiner Schwester Frau Brigitte Panzenböck möchte ich mich für das Korrekturlesen bedanken. Bedanken möchte ich mich für die Unterstützung bei Herrn Mag. Gabriel Panzenböck beim Erstellen der Arbeit in der Textverarbeitungssoftware „Lyx“.

Mein größter Dank gehört meinen Eltern Herrn Walter Bednar sen. und Frau Maria Bednar für das Ermöglichen meines Studiums. Danke für Euer Vertrauen.

Kurzfassung

Nach einer einleitenden Darstellung des Problems folgt eine kurze Zusammenfassung der rechtlichen Situation zum Thema Mangel und Schaden in Österreich.

Danach folgt eine Aufzählung der verschiedenen Ursachen und Arten von Schäden unter verschiedenen Gesichtspunkten. Im Folgenden werden einige Sanierungsmethoden und einige Vermeidungsstrategien präsentiert.

Zur Datenerhebung für eine statistische Auswertung der aktuellen Schadenssituation wurde ein Fragebogen entworfen und an wichtige, in Österreich tätige Baufirmen, Auftraggeber und Planer versandt. Abgefragt wurde in den Fragebögen folgende Themenbereiche: Neben den Fragen zum verwendeten Spezialtiefbauverfahren, wurde nach Details zum Bauschaden gefragt. Dies umfasste neben den direkten Fragen zum einzelnen Schadensereignis auch Fragen zu den Schadensursachen. Danach wurde nach Sofortmaßnahmen, Ersatzleistungen, Sanierungsmethoden und Vermeidungsstrategien gefragt. Der nächste Themenbereich des Fragebogens behandelte die Kosten dieser einzelnen Abschnitte. Der letzte Teil des Fragebogens widmete sich den Bereichen Planung und Voruntersuchungen sowie Ausschreibung und Vertrag.

Die Ergebnisse der Befragung sind in Diagrammen und Tabellen dargestellt, und geben unter anderem Aufschluss über die Verteilung der Fehler im Bereich des Spezialtiefbaus. Ein weiteres interessantes Ergebnis ist die Verteilung der Kosten für den Schadensfall. Desweiteren werden die Kosten für Sofortmaßnahmen, Sanierung bzw. Vermeidungskosten dargestellt und verglichen.

Den Abschluss bildet ein Vergleich dieser Untersuchung mit anderen Untersuchungen zu Thema Bauschadensfälle. Als Vergleichsuntersuchung werden der „1. Österreichische Bauschadensbericht“ und die deutsche Untersuchung „Bauschäden im Spezialtiefbau“ herangezogen.

Abstract

The thesis starts with an introductory presentation of the problem and a brief summary of the legal situation with regard to defects and damages in Austria. The next part lists the different causes and types of damage from different points of view. Afterwards some prevention strategies and remediation techniques are presented.

The next part consists of a statistical analysis of the current damage situation for civil engineering in Austria. The author drafted a questionnaire and sent it to major construction companies, planners and commissioners.

The questionnaire started with direct questions about the details of the building damage, followed by questions about the building process used. In this context detailed questions about the incident as well as the source of the damage were asked. Further questions dealt with immediate actions, compensations, rehabilitation methods and prevention strategies. The next part of the questionnaire consisted of questions about the costs of each of these sections. The final part of the questionnaire covered the topic planning and preliminary investigations as well as tendering and contracting.

The survey results are presented in graphs and tables and give information on the distribution of errors in the field of civil engineering. Another interesting result is the distribution of costs for the damage. Furthermore, the cost of emergency measures, rehabilitation and prevention costs are presented and compared.

The conclusion compares this study with other studies of this topic. As a comparison study the Austrian report “1. Österreichische Bauschadensbericht” and the German study “Bauschäden im Spezialtiefbau” are used.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was ist ein Spezialtiefbauverfahren	1
1.2	Zweck der Arbeit	2
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Allgemeine Begriffe	4
2.1	Begriffsklärung	4
2.2	Juristischer Schadensbegriff	5
2.3	Technischer Schadensbegriff	6
2.4	Wirtschaftlicher Schadensbegriff	6
2.5	Schluss	7
3	Rechtliche Grundlagen	8
3.1	Begriffe und Arten des Schadens	8
3.1.1	Nach ABGB	8
3.1.2	Nach ÖNormen	10
3.2	Begriffe und Arten des Mangel	10
3.2.1	Nach ABGB	11
3.2.2	Nach ÖNormen	12
3.3	Folgen aus Schaden und Mangel	12
3.3.1	Gewährleistung	12
3.3.2	Schadenersatz	14
3.3.3	Haftungseinschränkungen	15
3.3.4	Garantie	17
3.3.5	Baugrundrisiko	17
3.3.6	Andere Haftungsbegriffe im Bauwesen	17
4	Ursachen und Arten von Problemen bei Spezialtiefbauverfahren	19
4.1	Einleitung	19
4.2	Nach der Schwere des Schadens	20
4.2.1	Verlust des Gesamten Bauwerkes, Verlust der Tragfähigkeit: „Totalschaden“	20
4.2.2	Verlust der Gebrauchstauglichkeit	22
4.2.3	Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit	22
4.2.4	Bagatellschäden	23
4.3	Nach der Schadenshöhe	23
4.4	Nach dem Zeitpunkt	24
4.4.1	während der Planung	24
4.4.2	während dem Bau	24
4.4.3	während der Nutzung	24
4.5	Nach dem Ort des Schadensereignisses	25
4.5.1	am Spezialtiefbauwerk selbst	25
4.5.2	am Bauwerk	25
4.5.3	am Nachbarbauwerk	25

4.6	Nach der angestrebten Funktion	26
4.6.1	Gründung	26
4.6.2	Abdichtung	26
4.6.3	Baugrube	26
4.6.4	Bodenverbesserung	27
4.7	Nach dem Bauverfahren	27
4.7.1	Allgemeine Schadensursachen:	27
4.7.2	Spundwandverfahren	28
4.7.3	Schlitzwandverfahren	31
4.7.4	Pfähle	32
4.7.5	Schmalwandverfahren	37
4.7.6	Tiefreichende Bodenstabilisierung	37
4.7.7	Tiefenrüttelverfahren	38
4.7.8	Düsenstrahlverfahren	40
4.7.9	Injektionen	41
4.7.10	Nägel, Anker, Spritzbeton	43
4.8	Nach Sphären	44
4.8.1	Auftraggeber	45
4.8.2	Planer	45
4.8.3	Auftragnehmer	45
4.8.4	Neutral	45
4.9	Schäden durch Spezialtiefbauverfahren	45
5	Sanierungsmethoden	47
5.1	Nach der angestrebten Funktion	47
5.1.1	Gründung	47
5.1.2	Abdichtung	48
5.1.3	Baugrube	48
5.1.4	Bodenverbesserung	48
5.2	Nach Bauverfahren	48
5.2.1	Spundwandverfahren	49
5.2.2	Schlitzwandverfahren	49
5.2.3	Pfähle	49
5.2.4	Schmalwandverfahren	50
5.2.5	Tiefreichende Bodenstabilisierung	50
5.2.6	Tiefenrüttelverfahren	50
5.2.7	Düsenstrahlverfahren	50
5.2.8	Injektionen	50
5.2.9	Nägel, Anker, Spritzbeton	51
6	Vermeidungsmöglichkeiten	52
6.1	Nach der angestrebten Funktion	53
6.1.1	Gründung	53
6.1.2	Abdichtung	53

6.1.3	Baugrube	54
6.1.4	Bodenverbesserung	54
6.2	Nach Bauverfahren	54
6.2.1	Spundwandverfahren	54
6.2.2	Schlitzwandverfahren	55
6.2.3	Pfähle	57
6.2.4	Schmalwandverfahren	58
6.2.5	Tiefreichende Bodenstabilisierung	59
6.2.6	Tiefenrüttelverfahren	59
6.2.7	Düsenstrahlverfahren	60
6.2.8	Injektionen	61
6.2.9	Nägel, Anker, Spritzbeton	62
7	Auswertung der Fragebögen	64
7.1	Spezialtiefbauverfahren	65
7.2	Bauschaden/Mangel/Fehler	66
7.3	Kosten	75
7.4	Planung/Voruntersuchung	78
7.5	Ausschreibung/Vertrag	82
7.6	Blick über den Tellerrand: Vergleich mit anderen Bauschadensberichten	83
7.6.1	Der 1. Österreichische Bauschadensbericht	83
7.6.2	Bauschäden im Spezialtiefbau	85
8	Einige Schlussfolgerungen und Zusammenfassung	89
8.1	Schadensursachen	89
8.2	Kosten	90
8.3	Vergleich mit der Untersuchung in Deutschland und dem 1. österreichischen Bauschadensbericht	90
8.4	Folgerungen für die Schadensvermeidung	92
8.5	Weiterer Forschungsbedarf	94
8.6	Fazit	94
A	Fragebogen	A

Abkürzungen und Symbole

Abkürzungen

Abb. Abbildung

ABGB Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch

Abs. Absatz

AG Auftraggeber

AN Auftragnehmer

bzw. beziehungsweise

ca. circa (zirka)

d.h. das heißt

DSV Düsenstrahlverfahren

etc. et cetera

event. eventuell

EU Europäische Union

GOK Geländeoberkante

GW Grundwasser

i.A. im Allgemeinen

i.d.g.F. in der geltenden Fassung

i.d.R. in der Regel

iSd. im Sinne des

Kap. Kapitel

k.A. keine Angaben

lt. laut

OGH Oberste Gerichtshof

ÖN Österreichische Norm

ÖNorm Österreichische Norm

PHG Producthaftungsgesetz

S. Seite

sog. sogenannte

Tab. Tabelle

Tsd Tausend

usw. und so weiter

vgl. vergleiche

z.B.: zum Beispiel:

Symbole

§ Paragraph

§§ Paragraphen

1 Einleitung

Wir Menschen konstruieren Bauwerke, die verschiedene Zwecke zu erfüllen haben. Sie schützen uns z.B.: vor Wind und Wetter, ermöglichen Verkehrswege wie Straßen, Eisen- bzw. Untergrundbahnen oder liefern uns Energie wie Kraftwerksbauten sowie Leitungsbauwerke. Um all diese Zwecke im Einzelnen zu erfüllen, müssen die Bestandteile unserer Bauwerke einzelne Funktionen erfüllen. Das Dach eines Gebäudes sollte dicht sein, die Fahrbahn einer Straße fest sowie z.B.: der Speicher eines Wasserkraftwerks groß genug um die auftretende Schwankungen der Wassermenge ausgleichen zu können. Dies gilt auch für Bauwerke oder Teilen von Bauwerken die mittels Spezialtiefbauverfahren hergestellt werden.

1.1 Was ist ein Spezialtiefbauverfahren

Bei den Spezialtiefbauverfahren wird Fremdmaterial (Beton, Stahl, event. Holz, Zementsuspension, oder Energie) im Untergrund eingebracht, ohne ihn wie bei einer offenen Bauweise zuerst komplett zu entfernen. Es findet lediglich im Bereich der Maßnahme eine Verdrängung (z.B.: Spundwand oder Rammpfahl) oder eine relativ kleine, im Vergleich zu einer offenen Baugrube, Entnahme und Austausch (z.B.: Bohrpfahl oder Schlitzwand) statt.

Zu den Spezialtiefbauverfahren in dieser Arbeit zählen¹:

1. Spundwandverfahren,
2. Schlitzwandverfahren,
3. Pfähle,
4. Schmalwandverfahren,
5. Tiefreichende Bodenstabilisierung,
6. Tiefenrüttelverfahren,
7. Düsenstrahlverfahren,
8. Injektionen,
9. Nägel, Anker, Spritzbeton.

Diese Verfahren werden im Spezialtiefbau eingesetzt und haben ebenfalls spezielle Funktionen zu erfüllen:

- Tragende Funktion als Gründungselement für Neubauten oder Unterfangung von Bestandsbauten z.B.: eine Gründung auf einer Pfahlgruppe oder eine Unterfangung durch ein Düsenstrahlverfahren.
- Baugrundverbesserung um die bodenphysikalischen oder hydrologischen Eigenschaften des Bodens zu verbessern, z.B.: durch das Einbringen eines Tiefenrüttlers oder durch Zementinjektionen.

¹ Vgl. Brandl, H./Jodl, H. G./et.al.: *Ökoeffiziente Entscheidungskriterien im Tiefbau Modul 3*. Wien: Magistratsabteilung 22 und 29 der Stadt Wien, Juni 2005 – Technischer Bericht.

- Schutzfunktion z.B.: durch eine Spundwand oder eine mit Spritzbeton und Nägel gesicherte Baugrube oder eine Hangsicherungsmaßnahme mit Bohrpfählen und Ankerbalken.
- Abdichtende Funktion z.B.: durch eine Schmalwand abgedichtete Deponie oder ein durch Injektionen hergestellter Dichtschirm bei einem Kraftwerk.

Natürlich sind auch Kombinationen möglich, z.B.: eine im Schlitzwandverfahren hergestellte Baugrubensicherung, kann bei entsprechender statischer Ausbildung auch als Gründungselement dienen. Werden die Fugen entsprechend ausgebildet so gilt sie i.A. als wasserdicht.

Diese angestrebten Funktionen werden im Bauvertrag zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, oder je nach genauer vertraglicher Situation, zwischen Auftraggeber, Planer und Auftragnehmer entweder direkt (Pläne, statische Berechnungen, Biegelisten, vorgeschriebene Fugenausbildungen, etc.) oder indirekt (Funktionale Ausschreibungen, das Gelten von diversen Fachnormen oder ein Baugrubenverbau nach Wahl des AN) vereinbart. Wenn eine oder mehrere dieser Funktionen nicht erfüllt werden, spricht man vom Mangel. Aus ein oder mehreren Mängeln bzw. Fehlern kann dann ein Schaden entstehen.

1.2 Zweck der Arbeit

Diese Arbeit versucht die Probleme, die bei der Planung, dem Bau oder während der Nutzung auftreten, zu klassifizieren. Sie soll als Entscheidungshilfe dienen, um Fehler zu erkennen und um diese später zu vermeiden. Auch wurde versucht den aktuellen Zustand der Schadensfälle beim Spezialtiefbau in Österreich mittels einer Umfrage zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Fragebogenaktion wurden statistisch ausgewertet, um zu klären, in welchen Bereichen die meisten Probleme oder Fehler auftreten. Zusätzlich erfolgt noch ein Vergleich mit anderen Bauschadensberichten aus Österreich und Deutschland.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn erfolgt eine allgemeine Betrachtung des Begriffes „Schaden“, und der mit diesem Begriff verwandte Begriffe wie Mangel, Fehler oder Problem (siehe Kap. 2 auf Seite 4).

Weiters folgt eine kurze Einführung der rechtlichen Definitionen dieser Begriffe, sowie die notwendigen Rechtsgrundlagen (siehe Kap. 3 auf Seite 8). Eine genauere Darstellung aller rechtlichen Zusammenhänge kann auf Grund des Umfanges dieser Thematik hier nicht ausgeführt werden, weshalb ich auf die hierfür zur Verfügung stehende Rechtsliteratur verweise. Insbesondere möchte ich auf Fr. WEIHSINGER hinweisen, die sich in ihrer Arbeit über das neue Gewährleistungsrecht² speziell dem Thema rechtliche Schadensbegriffe im Bauwesen und deren Folgen angenommen hat.

Danach folgt der eigentliche Kern der Arbeit, die Auseinandersetzung mit den verschiedenen Ursachen und Arten der Probleme beim Spezialtiefbau (siehe Kap. 4 auf Seite 19). Dabei werden verschiedene Einteilungsmöglichkeiten der Ursachen gegenübergestellt und analysiert. Weiters werden Probleme vorgestellt die in der Literatur zu finden waren, sowie aus der Auswertung von Fragebögen stammten. Im Folgenden wird auch versucht zu den einzelnen typischen Bauverfahren typische Fehler aufzuzeigen und zu klassifizieren.

² Weihsing, Natascha: *Das neue österreichische Gewährleistungsrecht - seine Auswirkungen auf Bauleistungen im internationalen Vergleich*. Dissertation, TU-Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2005.

Im nächsten Kapitel (siehe Kap. 5 auf Seite 47) werden die Sanierungskonzepte zu den einzelnen Spezialtiefbauverfahren vorgestellt, damit die einzelnen Bauwerke ihre Funktion wieder erfüllen können.

Des weiteren folgt in Kap. 6 auf Seite 52 die Vorstellung von möglichen Vermeidungsstrategien, die sich als Resultat aus dem Kapitel über die Ursachen und Arten von Problemen ergeben.

Ein weiterer Kernbereich der Arbeit ist die Auswertung der Fragebögen (ein Muster findet sich im Anhang A), die an die größten in Österreich tätigen Baufirmen, Planer und Bauherren sowie Versicherungen gesendet wurden. (siehe Kap. 7 auf Seite 64). Hier wird versucht, durch statistische Auswertung dieser Fragebögen, Fehlerhäufigkeiten heraus zu lesen. Es folgt ein Vergleich zu anderen Untersuchungen zum Thema Bauschaden.

2 Allgemeine Begriffe

Schon zu Beginn zeigt sich die Schwierigkeit die Begriffe Schaden, Mangel oder Fehler einzuteilen, da genau diese Begriffe, die rund um die Problematik im Spezialtiefbau verwendet werden, von verschiedenen Berufsgruppen anders ausgelegt werden. So wird der Jurist bei dem Begriff Schaden immer etwas anderes sehen als ein Techniker. Auch im allgemeinen Sprachgebrauch haben die meisten Begriffe um das Thema Schaden eine erweiterte Bedeutung als z.B. die strenge juristische Sicht.

2.1 Begriffsklärung

Ein *Schaden* ist ein durch ein Ereignis, einen Umstand, verursachte Beeinträchtigung eines Gutes oder Wertminderung des ursprünglichen Zustandes einer Sache. Diese Definition eines Objektschaden gilt natürlich nicht für den Personenschaden.

Ein *Mangel* im allgemeinen Sinne bedeutet einerseits ein Defizit des Vorrats einer Sache oder im Sinne des Qualitätsmanagement beschreibt ein Mangel die Fehlerhaftigkeit eines Produktes.

„Ein *Fehler* ist eine Abweichung von einem optimalen oder normierten Zustand oder Verfahren in einem bezüglich seinen Funktionen determinierten System“³.

RIZKALLAH beschreibt einen Fehler als eine im allgemein außerhalb der Toleranzen liegende Abweichung von Ziel und Ergebnis⁴.

Es ist festzuhalten, dass man grundsätzlich zwischen einer allgemeineren, umgangssprachlichen und einer strengen juristischen Definition unterscheiden muss. Eine genaue Abgrenzung der einzelnen umgangssprachlichen Begriffe untereinander ist nicht möglich, da es im täglichen Sprachgebrauch „fast“ keinen Unterschied zwischen diesen Begriffen gibt.

Im Bauwesen gibt es die Begriffe des Baumangels und des Bauschadens.

Ein *Baumangel* ist eine Bauwerksbeeinträchtigung als Folge einer Verletzung von Vertragspflichten.

Der Begriff des *Bauschadens* kennzeichnet den Objektschaden als Folge eines oder mehrerer Baumängel⁵. Auch diese Begriffe lassen sich i.A. schwer abgrenzen, da man schon eine gewisse Fachkenntnis braucht (ja sogar vertragsrechtliche Fachkenntnisse, da es sich beim Baumangel bereits um einen juristischen Begriff handelt). Lediglich die allgemeine Festlegung das aus einem Baumangel ein Bauschaden folgen kann, scheint hier sinnvoll. Weitere, für das Bauwesen relevante Begriffe mit Bezug auf die Bauschäden, sind nach RIZKALLAH die Bauschadensarten, Bauschadensursachen und die Bauschadensquellen⁶.

Bauschadensarten beschreiben welches Bauteil in welcher Weise beschädigt wurde.

Eine *Bauschadensursache* ist die bautechnische oder physikalische Bedingung, die zum Auftreten eines Bauschadens führt, z.B.: starke Niederschläge, Erschütterungen oder eine Überschreitung der zulässigen Spannungen. Man könnte dies auch als Bauschadensauslöser bezeichnen.

³ Wikipedia (05.01.2007).

⁴ Vgl. Rizkallah, Victor: Kap. Schadensursachen und Schadensminimierung bei Tiefbauarbeiten von Victor Rizkallah. In Bauschäden im Hoch- und Tiefbau. Band 1, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2007, Seite 13.

⁵ Vgl. Rizkallah (2007), S. 14.

⁶ Vgl. Rizkallah (2007), S. 14.

Bauschadensquellen sind die Ursachen oder Ereignisse, die den Schadenshergang eintreten haben lassen. Als die eigentliche Schadensursache, bzw. als der Schadensverursacher (unabhängig von einer natürlichen, juristischen Person oder Sache), gilt es diese Quellen zu erkennen und zu vermeiden. Oft gibt es nicht nur eine Quelle als Ursache von Schäden. Des weiteren wäre auch eine idente Bauschadensursache bzw. -quelle möglich wie z.B.: bei einer extremen Überschwemmung.

Der Zusammenhang Bauschadensart, -ursache und -quelle wird mit folgenden Beispiel hoffentlich klarer. Bei einer Baugrubenwand bricht ein Teil des Verbaus, bestehend aus Spritzbeton, Anker und Boden aus (Bauschadensart). Dies geschah nach starken Regenfällen (Bauschadensursache). Eine genauere Untersuchung zeigt, dass bei der Berechnung falsche Bodenparameter einfließen sind (Bauschadensquelle: mangelnde bzw. keine Voruntersuchung). Ebenfalls wurde von der ausführenden Firma keine Drainageöffnungen in der Spritzbetonschale vorgesehen (Bauschadensquelle: mangelnde Ausführung), wodurch sich ein Wasserdruck aufbauen konnte, der in der statischen Berechnung nicht berücksichtigt wurde.

2.2 Juristischer Schadensbegriff

Hierzu liefern Gesetze wie das Allgemeine Bürgerliche Gesetzbuch (ABGB) oder das Produkthaftungsgesetz (PHG) sowie Normen, Definitionen für Begriffe wie Schaden, Mangel und Fehler. Diese Definitionen sind unabhängig von technischen oder wirtschaftlichen Eigenschaften, die einerseits physikalisch messbar sind wie Setzungen, Durchflüsse in l/s, etc. oder andererseits in Geld ausgedrückt werden können. Als Schaden im rechtlichen Sinne ist jeder Nachteil definiert, den eine Person, Sache oder Recht erfährt. (siehe Kap.3.1). Die Folgen aus diesen Begriffen regeln die einzelnen Rechtsbücher (ABGB, PHG), Normen (ÖNorm) oder der Bauvertrag selbst. Der rechtliche Schadensbegriff und die Folge daraus, der Schadenersatz, ist an sich sehr streng definiert. Grundsätzlich gilt, dass derjenige den Schaden zu tragen hat, in dessen Vermögen er sich ereignet hat (siehe Kap.3.3.2). Wenn jedoch ein anderer den Schaden (mit)verursacht hat, so hat er Schadenersatz zu leisten. Um aber Anspruch auf Schadenersatz zu bekommen, müssen vier Grundvoraussetzungen erfüllt werden⁷:

1. Schaden,
2. Kausalität,
3. Rechtswidrigkeit,
4. Verschulden.

„Juristisch liegt ein Mangel dann vor, wenn die abgelieferte Leistung von der vertraglich geschuldeten abweicht“⁸. Das heißt aber auch das dieser Mangel eindeutig im Vertrag beschrieben sein muss, da es ja sonst keine Definition für eine mangelhafte Leistung gibt. Nun wird man nicht für jedes Bauwerk neue Qualitätstandards für gleiche oder gleichartige Bauteile entwerfen, sondern auf allgemeine Richtlinien zurückgreifen. Diese Standards sind in Österreich die ÖNormen und diese werden normalerweise mittels Bauvertrags zu Vertragsbestandteilen erklärt.

Ein Versuch einer genaueren Beschreibung all dieser Begriffe aus der rechtlichen Sicht befindet sich im Kapitel 3.

⁷ Kurbos, Rainer: *Baurecht in der Praxis*. 5. Auflage. Wien: Linde Verlag, 2006, S. 193.

⁸ Kurschl, Irene: *Die Gewährleistung beim Werkvertrag*. Wien: Manz Verlag, 1989, S. 15.

2.3 Technischer Schadensbegriff

Der technische Schadensbegriff umfasst den eigentlichen schad-, mangel oder fehlerhaften, technischer Vorfall im Spezialtiefbau. Dieser Schadensbegriff bezieht sich auf eventuell bedingt greifbare (z.B.: eine Setzung ist zwar nicht greifbar aber messbar), in physikalischen Einheiten messbare Eigenschaften von Gütern, in unserem Falle dem Spezialtiefbauwerk, dass die angestrebte, vertragliche Funktion nicht erfüllen kann. Messbar wären: Setzungen oder Hebungen eines Bauwerkes und/oder des Baugrundes, Spannungen, Durchflüsse bzw. Wasserstände, Verformungen bzw. Bewegungen, wie z.B.: die Verformung einer Spundwand.

Als Beispiel für einen bekannten technischen Mangel ist die Maßabweichung, also das Abweichen einer Istlage von einer Sollage. Wobei die Sollage in einem Bauvertrag sowie in den dazugehörigen Teilen, wie den Plänen, vorgegeben wird und damit kommt es zu einem Übergreifen mit dem juristischen Bereich vor allem mit dem Begriff des Mangels (Vertragsverletzung). Die Normen kennen in diesem Zusammenhang auch den Begriff der Maßtoleranz, Plantoleranz oder der Bautoleranz.

Im Vordergrund bei dem technischen Schadensbegriff steht das Nichterfüllen der angestrebten Funktion bzw. das Nichtbringen einer vertraglich vereinbarten Leistung der Spezialtiefbaumaßnahme z.B.: das Ableiten der Bauwerkslasten in den Untergrund (Gründung, Fundament), Sicherung eines Geländesprunges, sei es als Baugrube oder permanent, die Baugrundverbesserungen mit geeigneten technischen Maßnahmen, sowie die Abdichtungen gegen Grundwasser. Es sind aber auch andere Möglichkeiten der Einteilung der Schäden, Mängel oder Fehler möglich wie z.B.: das Einteilen der Schäden nach der Schwere oder nach dem Spezialtiefbauverfahren. (mehr siehe Kap. 4).

2.4 Wirtschaftlicher Schadensbegriff

Unter dem wirtschaftlichen Schadensbegriff versteht man den einerseits den Wertverlust oder die Wertminderung einer Sache, sowie die zusätzlichen Kosten die zur Erreichung oder Wiederherstellung der gewünschten Funktion nötig sind. Weiters ist unter diesem Schadensbegriff der entgangene Gewinn anzusiedeln, der z.B.: durch eine verspätete Eröffnung einer Straße oder den Wasserverlust durch einen undichten Dichtschirm bei einem Staubauwerk entstehen kann.

Der wirtschaftliche Schadensbegriff umfasst weiters alle Aufwendungen, die zur Erreichung der gewünschten Funktion nach einem Schadensfall nötig sind. Unter diesen Schadensbegriff fällt auch die monetäre Bewertung des juristischen (Anwaltskosten, Schiedsgutachten, etc.) und des technischen Aufwandes (technisch einwandfreie Herstellung des Spezialtiefbauwerkes). Weiters sind für eine genaue Betrachtung und Bewertung von Schäden oder Mängel im wirtschaftlichen Sinn noch die Kosten für die Sanierung zu berücksichtigen. Für eine vollständige wirtschaftliche Risikoabschätzung sind noch Vermeidungskosten zu berücksichtigen. Vor allem im Sinne einer wirtschaftlichen Bauweise sind die gesamten Tiefbaukosten, mögliche Schadenskosten, event. Sanierungskosten oder Vermeidungskosten genau abzuwägen. Nur wer dies berücksichtigt wird einen wirtschaftlichen Erfolg erzielen und dabei ein akzeptables Risiko eingehen können.

2.5 Schluss

Generell lässt sich der Begriff Schaden nur sehr schwer eindeutig einem Fachbereich zuordnen. Auch gibt es ein Übergreifen der einzelnen Kategorien dieser Begriffe. Aus einem technischen Vorfall, seien es z.B.: bei der Herstellung einer Bauwerksunterfangung mittels DSV-Säulen mit zu hohem Druck oder das zu schnelle Ziehen eines Schutzrohres bei einem Bohrpfahl, folgt ein juristischer Mangel bzw. Schaden, eine Vertragsverletzung. Im Falle des Bohrpfahles kann eine vertraglich oder generell eine normgemäße Ausführung vorgeschrieben sein. Diese sieht keine „Kiesnester“, die durch das zu schnelle Rohrziehen entstehen können, als mögliche Leckstellen im Pfahlbeton vor. Bei der Herstellung von DSV-Säulen kann ein zu hoher Druck die Hebung des zu unterfangenden Gebäudes bzw. die Hebung oder Zerstörung des Nachbargebäudes bzw. seiner Bestandteile hervorrufen. Weiters bedingt dieser technische Vorfall einen wirtschaftlichen Schaden, der sich aus den Sanierungskosten, der Wertminderung und einem event. entgangenen Gewinn ableitet. Wollte man diesen Vorfall vermeiden, so würden Vermeidungskosten anfallen.

Als Wurzel für die juristischen und wirtschaftlichen Schäden gilt es diese technischen Schadensvorfälle zu beseitigen.

3 Rechtliche Grundlagen

Das Recht gibt in einer Gesellschaft Rahmenbedingungen zum Verhalten der Mitglieder dieser Gesellschaft untereinander vor. In Österreich wird im ABGB das Recht im privaten Bereich geregelt, damit meint man z.B.: die Beziehungen der Staatsbürger untereinander wie sie durch Verträge entstehen. Es herrscht zwar Vertragsfreiheit, d.h. es ist alles erlaubt was nicht verboten ist, es liegt aber im Gemeinschaftsinteresse, dass gewisse Regeln kodifiziert d.h. schriftlich, den Schwächeren vor dem Stärkeren schützen. Weiters dient dieses schriftliche Festhalten dazu, wiederkehrende Voraussetzungen und Eigenschaften, wie z.B.: das Auftreten von Abweichungen bei Verträgen, eine gewisse Kontinuität zu geben. Dies ist im Bauwesen insofern von großer Bedeutung, da man das genaue Endergebnis erst zu Bauende genau kennt, oder Eigenschaften die zum Erstellen eines Bauwerkes nötig sind, wie die Bodeneigenschaften, erst während des Bauens erfährt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe wie sie in Gesetzestexten oder Normen vorkommen rechtlich definiert. Die Gesetzestexte liefern dabei keine genauen technische Schadensbegriffe, sondern geben nur allgemeine Definitionen zu Schäden und Mängel an. Sie regeln die Folgen bei Schäden und Mängel d.h. die Haftung und teilen diese Begriffe generell z.B.: nach ihrer Schwere in geringfügiger Mangel oder nicht geringfügiger Mangel ein. Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung ist jene in Vermögensschäden oder immaterielle Schäden.

Für eine ausführliche Darstellung der Gesetzte kann, wegen der Umfangreiche des Stoffgebietes, nur auf weiterführende Rechtsliteratur verwiesen werden. Es wird im folgenden unterschieden zwischen Begriffen des allgemeinen bürgerlichen Gesetzbuchs sowie der ÖNormen A 2060:2002 Allgemeine Vertragsbestimmungen für Leistungen - Werkvertragsnorm⁹ oder B 2110:2002 Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm¹⁰. Bei übereinstimmenden Bestimmungen werden die Begriffe des ABGB als Urquelle des österreichischen Privatrechtes erklärt.

3.1 Begriffe und Arten des Schadens

Im ABGB wird jeder Nachteil den eine Person, Sache oder Recht erfährt als Schaden definiert. Nachfolgend werden kurze Definitionen der wichtigsten rechtlichen Schadensbegriffe gegeben. Auf Personenschaden und dem daraus forderbaren Schmerzensgeld wird nicht gesondert eingegangen.

3.1.1 Nach ABGB

§ 1293 „Schaden heißt jener Nachteil, welcher jemanden an Vermögen, Rechten oder seiner Person zugefügt worden ist. Davon unterscheidet sich der Entgang des Gewinnes, den jemand nach dem gewöhnlichen Laufe der Dinge zu erwarten hat.“¹¹

⁹ Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM A 2060: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Leistungen - Werkvertragsnorm*. 06 2002.

¹⁰ Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm*. 03 2002.

¹¹ ABGB § 1293 i.d.g.F..

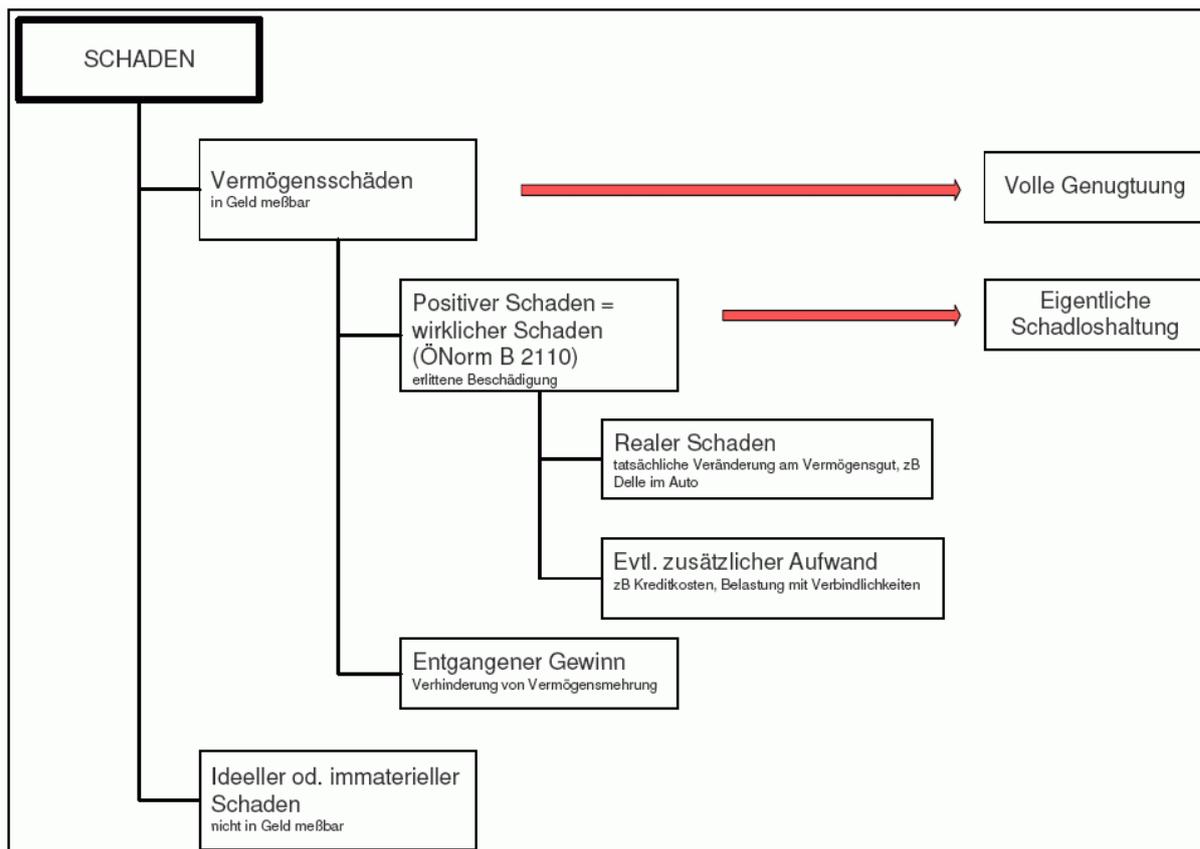


Abbildung 1: Arten der Schäden

Man kann den Begriff des Schadens im rechtlichen Sinne unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten (siehe Abbildung 1¹²): So teilt man abhängig davon, ob ein Schaden in Geld messbar ist oder nicht, in "Vermögensschäden" und "immaterielle bzw. ideelle Schäden" ein. Ideelle Schäden haben keine messbare Vermögensminderung zur Folge ("Gefühlsschäden" wie Schmerzensgeld, Entschädigung für Freiheitsentzug, Liebhaberwert, etc.)¹³. Ein Vermögensschaden liegt dann vor, wenn die nachteilige Veränderung der Rechtsgüter in Geld ausgedrückt werden kann¹⁴. „Als "rechnerischer Schaden" wird die gesamte, in Geld messbare, Verminderung des Vermögens oder des Vermögensgutes des Geschädigten verstanden, der sich aus dem sog. "positiven Schaden" und dem "entgangene Gewinn" zusammensetzt. Eine tatsächliche Veränderung am Vermögensgut wird als "realer Schaden" bezeichnet. Gemeinsam mit den eventuell erforderlichen zusätzlichen Aufwendungen ergibt sich der positive Schaden, den die ÖNormen A 2060:2002 und B 2110:2002 missverständlich "wirklicher Schaden" nennen, also die tatsächliche erlittene Beschädigung, eine Beeinträchtigung bestehender Vermögensgüter und Rechte.“¹⁵ Der entgangene Gewinn ist eine Beeinträchtigung künftiger Erwerbchancen (ein erhoffter Vorteil, eine abstrakte Chance, eine künftige Ausweitung der Geschäfte, usw.) und enthält auch vereitelte Vorteile, wie Folgeaufträge, Verbesserung der Marktposition, Werbeeffekte, Verbesserung der Auslastung, usw. (z.B.: Eröffnung eines Kaufhauses vor Weihnachten).

¹² Wehsinger (2005), S. 18.

¹³ Vgl. Wehsinger (2005), S. 18.

¹⁴ Vgl. Koziol, Helmut/Welser, Rudolf: *Grundriß des bürgerlichen Rechts*. Band 1, 9. Auflage. Wien: Manz Verlag, 1992, S. 438.

¹⁵ Wehsinger (2005), S. 18.

Nach der Berechnungsmethode unterteilt man Schäden in den objektiv-abstrakten Schaden und das sog. Interesse. Nach § 1332 ABGB i.d.g.F. ist ein Schaden dann objektiv-abstrakt zu berechnen, wenn sich die Ersatzpflicht auf den positiven Schaden beschränkt, was im Falle leichter Fahrlässigkeit zutrifft. Bei grober Fahrlässigkeit und Vorsatz (Eine Definition zu Vorsatz und Fahrlässigkeit findet sich unter 3.3.2 Schadenersatz) berechnet sich das Interesse mit Hilfe der Differenzmethode. Das Interesse ist somit die Differenz zwischen dem hypothetischen Vermögen des Geschädigten zum heutigem Zeitpunkt ohne schädigendes Ereignis und dem tatsächlichen heute vorhandenen Vermögen des Geschädigten¹⁶. Begriffe wie den

- Nichterfüllungsschaden, die Nichterfüllung eines Vertrages oder einer Bedingung aus einem Vertrag, den
- Verzugschaden, wenn eine vertraglich bedungene Leistung zu spät erbracht wird, oder den
- Vertrauensschaden, der durch das Vertrauen eines Vertragspartner auf das Zustandekommen eines Vertrages entsteht, sich später aber die Ungültigkeit der Erklärung oder das nicht Zustandekommen des Vertrages herausstellt,

werden zwar in der Rechtsliteratur verwendet, werden aber im ABGB oder in der ÖNorm nicht genannt.

3.1.2 Nach ÖNormen

Die ÖNormen A 2060:2002 oder B 2110:2002 führen nur den wirklichen Schaden als eigenen Schadensbegriff ein, der dem positiven Schaden entspricht. Weiters legen sie lediglich in einem Punkt (Die ÖNorm A 2060:2002 im Punkt 5.30 sowie die ÖNorm B 2110:2002 im Punkt 5.47) Details zum Schadenersatz (siehe 3.3.2) fest.

3.2 Begriffe und Arten des Mangel

„Ein Mangel liegt dann vor, wenn die abgelieferte Leistung von der vertraglich geschuldeten abweicht.“¹⁷ Zu den Mängeln zählen auch die allgemein üblich vorausgesetzten Eigenschaften einer bestellten Leistung. Dies zeigt auch den Unterschied zum Schaden, der keinen Vertrag voraussetzt. Damit stellt sich das Problem, was genau vertraglich vereinbart ist, ob es eine genaue Mängeldefinition im Vertrag gibt oder was als allgemein üblich gilt. Was sind z.B.: die üblichen Eigenschaften einer Dichtsohle aus DSV-Körpern im Vergleich zu einer durchgehend betonierte Sohle. Sind diese Bauverfahren als gleichwertig zu beurteilen, um eine geforderte Dichtsohle zu bekommen? Kann man die gleiche technische Dichtigkeit von diesen zwei Bauverfahren fordern? Eine genaue Mängeldefinition ist somit eine Frage der Anforderungen an das Bauwerk und an die Qualität des Vertrages. Oft fehlt eine genaue Beschreibung was genau ein Mangel ist bzw. ab wann eine Leistung als mangelhaft anzusehen ist.

Nachfolgend befinden sich einige Definitionen, die vom Gesetzgeber und dem Normungsinstitut für verschiedene rechtliche Mängelbegriffe gegeben werden. Es wird auch kurz auf die neueren gesetzlichen Entwicklungen eingegangen.

¹⁶ Vgl. Weigl, Johannes: *Schadensfälle im Tunnelbau*. Diplomarbeit, TU-Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2001, S. 10.

¹⁷ Kurschl (1989), S. 15.

3.2.1 Nach ABGB

Im Jahr 2002 kam es, durch eine Umsetzung einer EU Richtlinie¹⁸, zur Vereinheitlichung der Gewährleistungen der verschiedenen EU-Staaten. Dies fand Einzug in das ABGB und in die ÖNormen. Für eine ausführliche Beschreibung der Änderungen und deren Auswirkungen auf Bauverträge wird nochmals auf die Arbeit von Frau WEIHSINGER verwiesen.

Vor der Reform des Gewährleistungsrechtes wurde sowohl in der ÖNorm als auch im ABGB zwischen behebbaren und unbehebbaaren, wesentlichen und unwesentlichen sowie unerheblichen Mängeln unterschieden. Seit der Reform des Gewährleistungsrechtes 2002 existiert weder in der ÖNorm noch im ABGB eine Unterteilung der Mängel nach ihrer "Schwere" (d.h. die Wesentlichkeit), sondern es gibt nur noch die Unterscheidung zwischen behebbarem und unbehebbaarem Mangel sowie den Begriff des geringfügigen Mangels¹⁹. Da noch immer diese Begriffe in Verwendung sind, werden diese hier kurz beschrieben.

Ein Sachmangel liegt vor wenn ein Mangel an der Sache selbst anhaftet, wenn also die Leistung nicht alle körperlichen Eigenschaften aufweist, die es üblicherweise haben muss, oder wenn eine besonders vereinbarte Leistung nicht vorliegt²⁰. Ein Rechtsmangel liegt vor, wenn der Schuldner dem Gläubiger nicht jene Rechtsposition verschafft hat, zu deren Schaffung er verpflichtet war²¹.

Ein offenkundiger Mangel liegt vor, wenn der Mangel einer Sache ins Auge fällt, außer es lag eine ausdrückliche Zusage vor, dass die Sache von allen Fehlern und Lasten frei sei, oder der Mangel wurde arglistig verschwiegen. Ein offenkundiger Mangel ist grundsätzlich sofort bei der Übergabe zu rügen. Seit einem Beschluss des OGH²² ist die Unterscheidung von offenkundigen und verborgenen Mangel für unbewegliche Sachen rechtlich bedeutungslos geworden. Die Frist beginnt immer vom Tag der Übernahme an zu laufen, nur bei Rechtsmängel ab dem Tag, an welchem der von einem Dritten auf die Sache erhobenen Anspruch, dem Erwerber bekannt wurde. Gemäß § 933 Abs. 1 ABGB:2002 sind Gewährleistungsansprüche, betreffen sie unbewegliche Sachen, sowohl für verborgene, als auch für offenkundige Mängel, binnen drei Jahre, sonst hingegen binnen zwei Jahren (vor dem 01.01.2002 war diese Frist sechs Monaten) gerichtlich geltend zu machen.

„Ein wesentlicher Mangel lag vor, wenn der vertraglich vereinbarte Gebrauch einer Leistung verhindert und/oder eine ausdrücklich zugesagte Eigenschaft der Leistung widersprach.“²³ Ein Mangel, der kein wesentlicher Mangel ist, wurde als unwesentlicher Mangel bezeichnet. Unter einem unerheblichen Mangel versteht man einen Fehler der von Dritten nicht als Nachteil empfunden wird und deshalb nicht zur Erhebung von Gewährleistungsansprüchen berechtigt ist. Die Geltendmachung wäre Schikane²⁴.

Ein behebbarer Mangel ist ein Mangel der mit vernünftigen, wirtschaftlichen Mittel in angemessener Zeit verbessert werden kann, im Gegensatz zum unbehebbaaren Mangel, der entwe-

¹⁸ Richtlinie 1999/44/EG des Europäischen Rates vom 25.Mai 1999 zu bestimmten Aspekten des Verbrauchsgüterverkaufs und der Garantien für Verbrauchsgüter.

¹⁹ Vgl. Wehsinger (2005), S. 28.

²⁰ Vgl. Koziol/Welser (1992), S. 253f.

²¹ Vgl. Koziol/Welser (1992), S. 255.

²² OGH (verstärkter Senat) vom 7.3. 1990, 1 Ob 536/90.

²³ Oberndorfer, Wolfgang/Jodl, Hans Georg/et.al.: *Handwörterbuch der Bauwirtschaft*. 2. Auflage. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2001, S. 103.

²⁴ Vgl. Oberndorfer/Jodl/et.al. (2001), S. 104.

der tatsächlich nicht behebbar ist, bzw. nicht in vernünftiger Weise zu beheben ist. In letzter Konsequenz könnte man z.B.: jedes mangelhafte Bauwerk sprengen und neu aufbauen, um ein mangelfreies Bauwerk zu bekommen. Die Formulierung mit vernünftigen, wirtschaftlichen Mittel und in angemessener Zeit verhindert aber diese übertriebene Maßnahme.

Da der Begriff des geringfügigen Mangels erst mit der Reform des Gewährleistungsrechtes im österreichischen Recht eingeführt wurde, ist dieser für das Bauwesen noch nicht ausjudiziert und -diskutiert, was darunter genau zu verstehen ist. Es gilt der Rechtssatz, dass bei der Prüfung, ob ein die Wandlung ausschließender geringfügiger Mangel iSd § 932 Abs. 4 ABGB:2002 vorliegt, eine auf den konkreten Vertrag und die Umstände des Einzelfalls bezogene objektive Abwägung der Interessen der Vertragspartner vorzunehmen ist²⁵. „Sicher ist, dass der geringfügige Mangel nicht mit dem unerheblichen Mangel gleichzusetzen ist, da der unerhebliche Mangel keine Gewährleistungsfolgen auslöst, ein geringfügiger Mangel jedoch nur das Recht auf Wandlung ausschließt.“²⁶

3.2.2 Nach ÖNormen

Die ÖNormen A 2060:2002 oder B 2110:2002 verwenden nur die Begriffe des ABGB. Verfahrensnormen kennen noch andere Begriffe für mangelhafte Erbringung von Leistungen im Bauwesen wie z.B. die Maßabweichung. Weiters geben sie einen technischen Mindeststandard wieder, der im Allgemeinen von jedem Bauwerk erwartet wird. Abhängig vom Bauvertrag können genau diese Normen mit ihren Definitionen und technischen Eigenschaften als Teil des Bauvertrages geltend gemacht werden. Somit ist eine abweichende technische Eigenschaft von der vertraglich vereinbarten Norm auch eine Abweichung von der geschuldeten Leistung. Somit liegt eine Vertragsverletzung vor.

3.3 Folgen aus Schaden und Mangel

Wer etwas gegen Geld verspricht, der haftet auch für den Erfolg. Wenn sich der Erfolg nicht einstellt, die Leistung nicht in der ausgeschriebenen Form erstellt wird, stehen dem Geschädigten oder AG verschiedene Rechtsbehelfe zur Verfügung. „Die Gewährleistung stellt eine verschuldensunabhängige Erfolgshaftung dar, während beim Schadensersatz im Regelfall unter anderem auch das Verschulden bewiesen werden muss. Voraussetzung für den Schadensersatz ist ein Schaden, die Gewährleistung setzt einen Mangel voraus.“²⁷ Gewährleistung und Schadensersatz existieren im vollen Umfang nebeneinander d.h., bei entsprechenden rechtlicher Voraussetzung, kann sowohl Gewährleistung als auch Schadensersatz gefordert werden. Es wird hier auch noch auf andere wichtige Begriffe, wie z.B. die Haftung oder die Gewährleistung, eingegangen.

3.3.1 Gewährleistung

Die Rechtsordnung geht davon aus, dass bei einem entgeltlichen Geschäft jeder der beiden Vertragspartner das Geschäft deshalb abgeschlossen hat, weil ihm die Leistung, die er erhält, zumindest eben soviel Wert ist, wie seine Gegenleistung. Man bezeichnet dies als subjektive Äquivalenz.

²⁵ OGH vom 24.05.2005, RS0119978.

²⁶ Weihsinger (2005), S. 30.

²⁷ Weigl (2001), S. 16.

Wenn eine Leistung nicht dem entspricht, was vertraglich vereinbart worden war, dann ist diese Äquivalenz gestört²⁸.

§ 922. (1) „Wer einem anderen eine Sache gegen Entgelt überlässt, leistet Gewähr, dass sie dem Vertrag entspricht. Er haftet also dafür, dass die Sache die bedungenen oder gewöhnlich vorausgesetzten Eigenschaften hat, dass sie seiner Beschreibung, einer Probe oder einem Muster entspricht und dass sie der Natur des Geschäftes oder der getroffenen Verabredung gemäß verwendet werden kann.“²⁹

Die Rechte aus der Gewährleistung werden z.B. im § 932 geregelt:

§ 932. (1) „Der Übernehmer kann wegen eines Mangels die Verbesserung (Nachbesserung oder Nachtrag des Fehlenden), den Austausch der Sache, eine angemessene Minderung des Entgelts (Preisminderung) oder die Aufhebung des Vertrags (Wandlung) fordern.“³⁰

Zunächst kann der Übernehmer nur die Verbesserung oder den Austausch der Sache verlangen, es sei denn, dass die Verbesserung oder der Austausch unmöglich ist oder dies für den Übergeber, verglichen mit der anderen Abhilfe, mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden wäre. Ob dies der Fall ist, richtet sich auch nach dem Wert der mangelfreien Sache, der Schwere des Mangels und den mit der anderen Abhilfe für den Übernehmer verbundenen Unannehmlichkeiten. Die Verbesserung oder der Austausch ist in angemessener Frist und mit möglichst geringen Unannehmlichkeiten für den Übernehmer zu bewirken, wobei die Art der Sache und der mit ihr verfolgte Zweck zu berücksichtigen sind. Sind sowohl die Verbesserung als auch der Austausch unmöglich oder für den Übergeber mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden, so hat der Übernehmer das Recht auf Preisminderung oder, sofern es sich nicht um einen geringfügigen Mangel handelt, das Recht auf Wandlung (siehe Abb. 2 auf der nächsten Seite³¹). Dasselbe gilt, wenn der Übergeber die Verbesserung oder den Austausch verweigert, oder nicht in angemessener Frist vornimmt, wenn diese Abhilfen für den Übernehmer mit erheblichen Unannehmlichkeiten verbunden wären oder wenn sie ihm aus triftigen, in der Person des Übergebers liegenden Gründen unzumutbar sind³².

Der § 1167 ABGB:2002, der die Gewährleistung für Werkverträge regelte, verweist nur mehr im Gegensatz zu früher auf die §§ 922 bis 933b ABGB:2002 die für entgeltliche Verträge gelten.

Die ÖNormen für Werkverträge (ÖNorm A 2060:2002) und Bauverträge (ÖNorm B 2110:2002) legen in einigen ihrer Punkte Bestimmungen zur Gewährleistung, wie Umfang der Gewährleistung, Einschränkungen der Gewährleistung (siehe 3.3.3) oder die Geltendmachung von Mängel, fest. So wird im Punkt 5.29.1 der ÖNorm A 2060:2002, aber auch im Punkt 5.45.1 der ÖNorm B 2110:2002 wortgleich der Umfang der Gewährleistung wie folgt festgelegt:

„Der AN leistet Gewähr, dass seine Leistungen die im Vertrag bedungenen oder gewöhnlich vorausgesetzten Eigenschaften haben, dass sie seiner Beschreibung, einer Probe oder einem Muster entsprechen und sie der Natur des Geschäftes oder der getroffenen Verabredung gemäß verwendet werden können.“³³

²⁸ Vgl. Weigl (2001), S. 17.

²⁹ ABGB § 922 (1):2002.

³⁰ ABGB § 932 (1):2002.

³¹ Weihsinger (2005), S. 176.

³² ABGB § 932.

³³ Punkt 5.29.1 ÖNorm A2060:2002.

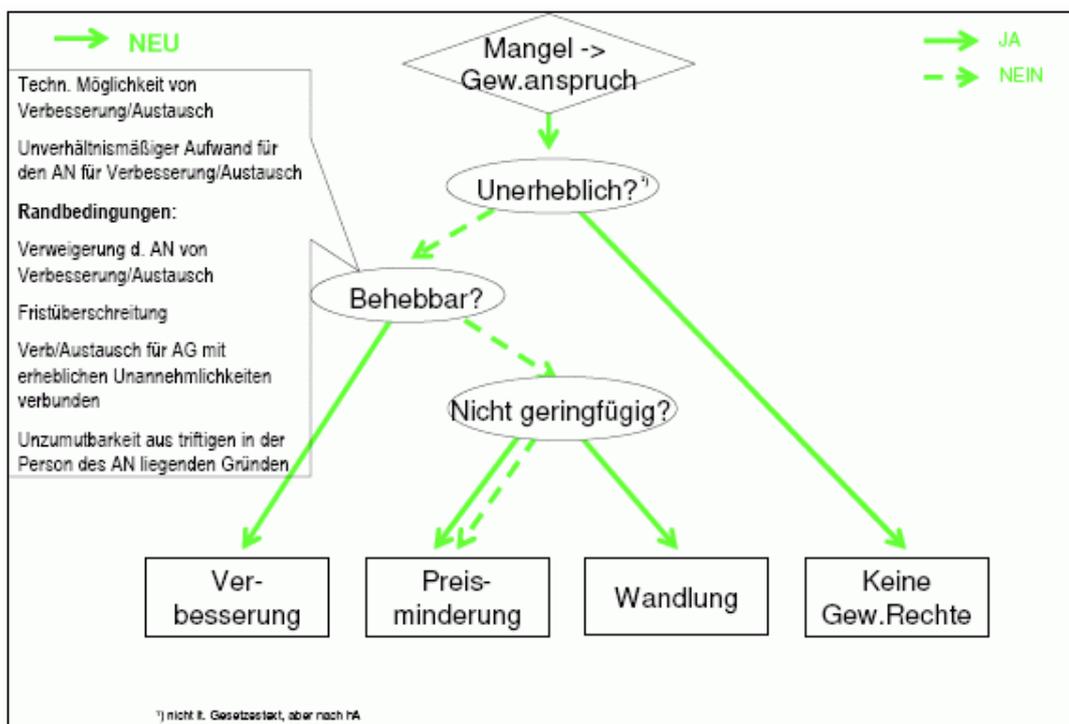


Abbildung 2: Rechte aus der Gewährleistung

Diese Bestimmung entspricht dem § 922 ABGB:2002.³⁴

3.3.2 Schadenersatz

Grundsätzlich gilt, dass derjenige den Schaden zu tragen hat, in dessen Vermögen er sich ereignet hat. Wenn jedoch ein anderer den Schaden (mit)verursacht hat, so hat er Schadenersatz zu leisten. Um aber Anspruch auf Schadenersatz zu bekommen müssen vier Grundvoraussetzungen erfüllt werden³⁵:

1. Schaden,
2. Kausalität,
3. Rechtswidrigkeit,
4. Verschulden.

„Das Vorhandensein eines Schadens, der Nachweis der Kausalität, das rechtswidrige Handeln sowie das Verschulden des Schädigers sind die Voraussetzungen für die Geltendmachung von Schadensersatzansprüchen.“³⁶ Zum Schaden selbst siehe 3.1 Begriffe und Arten des Schadens. Sobald ein Schaden vorliegt, ist zu prüfen, ob der angebliche Schädiger den Schaden durch sein Verhalten verursacht hat. Das Verhalten kann in einer Handlung oder in einer Unterlassung gelegen sein, wie z.B.: in der Nichterfüllung einer vertraglichen Verpflichtung (Nichtlieferung, verspätete Ablieferung von Plänen oder Materialien etc.). „Ein Ereignis, dass einen Schaden

³⁴ Vgl. Balak/Rosenberger/Michael (2005), S. 5.

³⁵ Kurbos (2006), S. 193.

³⁶ Weihsinger (2005), S. 19.

verursacht, ist ursächlich (kausal), wenn der Schaden entfällt, wenn das Ereignis, das auf Ursächlichkeit geprüft wird, weggedacht (dissimuliert) wird.“³⁷ Aus dem Verstoß von Gesetzen, den guten Sitten, bei Eingriffen in Rechten (z.B.: wie Freiheit, Eigentum, Ehre) oder dem Verstoß gegen vertraglichen Verpflichtungen, ergibt sich die Rechtswidrigkeit. Je nach Grad des Verschuldens wird die Höhe des Schadens berechnet. Ein Verschulden liegt dann vor, wenn eine Person ein Verhalten hätte vermeiden können und sollen, dass den Schaden verursachte (Kausalität). Dies setzt jedoch eine Deliktsfähigkeit des Schädigers voraus. OBERLEITNER unterscheiden³⁸:

- Vorsatz oder die böse Absicht: Der Schaden ist gewusst und gewollt,
- grobe Fahrlässigkeit: Die nötige Sorgfalt ist in hohem Maße außer acht gelassen. Der Schaden ist sehr wahrscheinlich und leicht vorhersehbar,
- leichte Fahrlässigkeit: Die nötige Sorgfalt ist in geringem Maße außer acht gelassen. Der Schaden ist wenig wahrscheinlich und nur mit Aufmerksamkeit vorhersehbar.

Das Arbeitsrecht kennt in dieser Aufzählung noch die entschuldbare Fehlleistung von Dienstnehmer. „Bei leichter Fahrlässigkeit ist nur der wirkliche (ÖNorm) oder positive (ABGB) Schaden zu begleichen. Der entgangene Gewinn ist zusätzlich bei grober Fahrlässigkeit bzw Vorsatz zu ersetzen.“³⁹

Bei einem sorglosen Verhalten des AG trifft ihn eine Mitschuld am Schaden und daraus resultiert eine Kürzung des Schadenersatzanspruches. Ist eine Schadenszuführung durch mehrere Personen erfolgt, haften die Schädiger entsprechend ihrem Verschuldensanteil. Dazu gibt es verschiedene Verfahren, die die Schuld entsprechend ihrer Mitverschuldung (Kausalitätsbeiträge) aufteilen (Aliquotierung nach Anzahl der Köpfe, Schadensquotelung mit Hilfe des Goldenen Schnittes, Kausalitätsbaum etc.)⁴⁰ Wurde der Schaden vorsätzlich zugefügt, haften alle Verursacher für einander solidarisch.

3.3.3 Haftungseinschränkungen

Haftungseinschränkungen sind Bedingungen unter denen die Gewährleistung oder der Schadenersatz eingeschränkt wird oder an besondere Vorschriften gebunden wird. Zum Beispiel ist eine Haftungseinschränkung im Falle von Schadenersatz und Vorsatz unwirksam⁴¹. Weiters findet sich eine Schadensminderungspflicht des Geschädigten, d.h. der Geschädigte muss daran mitwirken, einen Schaden zu verhindern (Prüf- und Warnpflicht).

So nennt die ÖNorm B 2110:2002 im Punkt 5.45.3 Geltendmachung von Mängeln:

1. Der AG hat dem AN Mängel, die nicht bereits bei der Übernahme beanstandet wurden, ehestens nach Bekanntwerden, jedoch innerhalb der vereinbarten Gewährleistungsfrist schriftlich bekannt zu geben (Mängelrüge).
2. Die Gewährleistungsfrist beginnt mit der Übernahme der Leistung.

³⁷ Kurbos (2006), S. 200.

³⁸ Oberleitner et al. (1996), S. 105.

³⁹ Balak/Rosenberger/Michael (2005), S. 5.

⁴⁰ Vgl. Hirnsperger (2004), S. 5.

⁴¹ Vgl. Hirnsperger (2004), S. 4.

3. Falls im Vertrag oder in den einschlägigen Fachnormen keine andere Gewährleistungsfrist festgelegt ist, beträgt sie drei Jahre; für Leistungen der Haustechnik, sofern diese bewegliche Sachen bleiben, zwei Jahre.
4. Werden Mängel innerhalb von sechs Monaten gerügt, wird vermutet, dass diese Mängel zum Zeitpunkt der Übernahme vorhanden waren. Die Vermutung tritt nicht ein, wenn sie mit der Art der Sache oder des Mangels unvereinbar ist (Beweislastumkehr).
5. Für Bauwerke oder haustechnische Anlagen vorübergehenden Bestandes endet die Gewährleistungsfrist spätestens mit dem Abbruch bzw. deren Demontage.
6. Zur Besichtigung oder Behebung der Mängel hat der AG dem AN zu den vereinbarten Terminen den Zutritt zum Gewährleistungsobjekt zu ermöglichen.

D.h. die ÖNorm schränkt die Form der Mängelrüge ein und setzt Fristen für die Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen. Weiters regelt der Punkt 5.45.2 der ÖNorm B 2110:2002 die Einschränkungen zur Gewährleistung bei Bauverträgen. Der Punkt entspricht fast wörtlich dem Punkt 5.29.2 der ÖNorm A 2060:2002:

5.45.2.1 Ist ein Mangel auf

- (1) eine besondere Weisung des AG,
- (2) die vom AG beigestellten Ausführungsunterlagen,
- (3) das vom AG beigestellte Material oder
- (4) Vorleistungen anderer AN des AG zurückzuführen, ist der AN von der Gewährleistung hinsichtlich dieses Mangels dann frei, wenn

(a) er im Sinne von 5.9⁴² die vorgesehene schriftliche Mitteilung erstattet hat und der AG den vorgebrachten Bedenken nicht Rechnung getragen hat, oder

(b) er diese Mängel trotz Beachtung der pflichtgemäßen Sorgfalt nicht erkannt hat oder nicht hätte erkennen können.

Eine Überwachung des AG schränkt die Gewährleistungspflicht des AN nicht ein⁴³.

Die Prüf- und Warnpflicht ist eine vertragliche Nebenpflicht die es bei allen Arten von Verträgen gibt. § 1168a ABGB regelt im dritten Satz für Werkverträge:

„... Misslingt aber das Werk infolge offenerer Untauglichkeit des vom Besteller gegebenen Stoffes oder offenbar unrichtiger Anweisungen des Bestellers, so ist der Unternehmer für den Schaden verantwortlich, wenn er den Besteller nicht gewarnt hat.“⁴⁴

Die ÖNorm B 2110:2002 ist in ihrem Punkt 5.9 Prüf- und Warnpflicht im Wesentlichen eine Zusammenfassung der geltenden Gesetze und Judikatur.

Es besteht eine Warnpflicht bei der offenbaren Untauglichkeit eines bereitgestellten Stoffes, wie z.B.: den Baugrund, Baumaterial oder der gegebene Anweisung, wie z.B.: Art der Durchführung der Arbeiten ist vertraglich vorgegeben. Ein wichtiger Punkt ist hier die Offenbarkeit

⁴² Prüf- und Warnpflicht lt Österreichisches Normungsinstitut (2002b).

⁴³ Punkt 5.45.2.2 der Österreichisches Normungsinstitut (2002b).

⁴⁴ § 1168a ABGB, dritter Satz, i.d.g.F.

der Untauglichkeit oder Unrichtigkeit. „Nur wenn die Untauglichkeit des Stoffes oder die Unrichtigkeit der Anweisung offenbar ist, greift die Warnpflicht des Unternehmers.“⁴⁵

3.3.4 Garantie

Eine Garantie ist ein vertragliches Versprechen. „Wer eine Garantie gibt, verspricht etwas, was er nach dem Gesetz grundsätzlich nicht zu leisten gehabt hätte.“⁴⁶ Sie ist etwas Freiwilliges. Da es keine gesetzliche Regelung zu Garantien gibt, sind im Zuge der Vertragsfreiheit und im Rahmen des Möglichen und Erlaubten, Garantien in großer Vielfalt bekannt und erstrecken sich im Bauwesen von Bankgarantien über Mengengarantien bis hin zu Qualitätsgarantien. Aufgrund dieser Vielfalt sind Garantien mit großen Risiko verbunden, da Art, Umfang und Dauer einer Garantie eine Frage der genauen Ausformulierung des Vertrages sind.

3.3.5 Baugrundrisiko

Das Baugrundrisiko ist das Risiko, dass der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Baugrund andere Eigenschaften aufweist, als dies aufgrund von Bodengutachten oder der gegebenen Verhältnisse zu erwarten war, und dadurch ein unerwarteter Bau- oder Kostenverlauf (Erschwernisse oder Erleichterungen, Mehr- oder Minderkosten) eintreten⁴⁷. Der Baugrund, im Sinne der Gewährleistung als ein vom AG beigestellter Stoff, fällt damit auch unter die Prüf- und Warnpflicht. Dazu zählen auch alle Eigenschaften des Bodens wie die Bodenqualität, geologische Zusammensetzung, Wetterverhältnisse, Einbauten, Hohlräume, Altlasten etc. In der Sphäre des AG liegen somit die Voraussetzungen für die Realisierung des Auftrages mit Bezug auf die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse. Eine vertragliche Überwälzung des Baugrundrisikos auf den AN ist nur in dem Ausmaß möglich und erlaubt, in dem es für den AN kalkulierbar ist, etwa weil Bodengutachten vorliegen. Dieser Risikoübertrag muss vom AN ausdrücklich akzeptiert werden. Eine bei der Ausführung festgestellte Abweichung des Gutachtens wiederum kann dem AN nicht angelastet werden, weil diese nicht kalkulierbar ist. Das Risiko dafür trägt der AG⁴⁸.

3.3.6 Andere Haftungsbegriffe im Bauwesen

Unter der Gehilfenhaftung ist einerseits die Haftung für einen Erfüllungsgehilfen, zum anderen die für einen Besorgungsgehilfen zu verstehen. Ein Erfüllungsgehilfe ist jemand der in einem besonderen Schuldverhältnis (Vertrag) zu seinem Geschäftsherrn steht. Dieser haftet für seinen Erfüllungsgehilfen, wie für sein eigenes Verhalten⁴⁹. Ein Besorgungsgehilfe oder Verrichtungsgehilfe ist ein zur Besorgung herangezogener Gehilfe ohne Schuldverhältnis, d.h. ohne Vertrag. Für ihn haftet sein AG nur, wenn er wissentlich eine gefährliche oder untüchtige Person beschäftigt⁵⁰. Unter Dienstnehmerhaftung nach dem Dienstnehmerhaftpflichtgesetz versteht man Personen im Dienstverhältnis, denen eine entschuldbare Fehlleistung zur Last gelegt wird. Für sie haftet der Dienstgeber.

⁴⁵ Hirsperger (2004), S. 15.

⁴⁶ Kurbos (2006), S. 209.

⁴⁷ Vgl. Hirsperger (2004), S. 34.

⁴⁸ Vgl. Weigl (2001), S. 20.

⁴⁹ Vgl. § 1313a ABGB.

⁵⁰ Vgl. § 1315 ABGB.

Die Produkthaftung ist, wie der Name schon sagt, die Haftung für ein Produkt. Sie regelt die schadenersatzrechtliche Verantwortung eines Herstellers für sein Erzeugnis. Als Produkt gilt jede bewegliche körperliche Sache⁵¹. Ein Bauwerk ist aber naturgemäß keine bewegliche Sache, somit unterliegt es nicht dem PHG. Sehr wohl gilt es aber für Produkte, wie Baumaterialien, die in unbeweglichen Sachen eingebaut werden. Im Sinne der Produkthaftung haftet man nur für Schäden, die ihre Ursache im Fehler eines Produktes haben, wenn durch diesen Fehler ein Personenschaden verursacht oder eine andere Sache beschädigt wird⁵². Es werden also nur Schäden an Dritten ersetzt, nicht aber das fehlerhafte Produkt. Für Schäden bzw. Mängel am Produkt selbst ist das Gewährleistungs- bzw. Schadensersatzrecht heranzuziehen.

⁵¹ Vgl. § 4 PHG:2000.

⁵² Vgl. Kurbos (2006), S. 216.

4 Ursachen und Arten von Problemen bei Spezialtiefbauverfahren

Hinweis: Zum besseren Verständnis wird im Folgenden nur der Begriff „Schaden“ für den technischen Schaden verwendet, und nur wenn es sich um juristische oder wirtschaftliche Schäden handelt, diese extra erwähnt.

4.1 Einleitung

Welche Probleme sind nun im Spezialtiefbau relevant? Dies sind zweifellos jene Schäden, Mängel oder Fehler die zu einem Nichterfüllen der gewünschten bzw. ausgeschrieben Leistungen führen. Die Ursachen von Arten und Problemen im Spezialtiefbau lassen sich nach verschiedenen Punkten einteilen. Diese hier aufgeführte Klassifikationen von Schäden, Problemen oder Mängel sollen bei der Ursachenfindung helfen und die verschiedensten Arten von Problemen im Spezialtiefbau aufzeigen.

Der wirtschaftliche Schaden ist nicht Gegenstand dieser Aufzählung, da er nicht direkt an die technischen Eigenschaften der Spezialtiefbaumaßnahme gebunden ist. Z.B.: ein Bohrpfahl kann sowohl für die Gründung eines Wohn- oder Bürohauses, als auch für die Gründung einer Straßenbrücke verwendet werden. In beiden Fällen hat man, kommt es zum Schadensfall bei der Bohrpfahlherstellung, durch das spätere oder zu späte Fertigstellen des betroffenen Bauwerks, einen Verdienstentgang. Wohl werden die Sanierungskosten recht ähnlich ausfallen, der entgangene Gewinn wird sich aber unterscheiden. Wobei sich der Verdienstentgang bei einem Gebäude über die entgangenen Mieten sicher besser darstellen lässt, als bei einem Strassenbauprojekt mit all seinen weitreichenden Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft.

Es folgen verschiedenste Aufzählungen und Einteilungen der Arten und Ursachen. Es zeigt sich schon eine gewisse Schwierigkeit bei der Unterscheidung von Arten und Ursachen. Diese Begriffe lassen sich, wie bereits in Kap. 2.1 erwähnt, wie folgt unterscheiden⁵³:

- Die *Bauschadensart* beschreibt, welches Bauteil in welcher Weise beschädigt wurde.
- *Bauschadensursachen* sind die bautechnisch oder physikalischen Bedingungen, die zum Auftreten eines Bauschaden führten, z.B.: starke Niederschläge, Erschütterungen, Überschreitung zulässiger Spannungen oder Überschreitung von Verformungstoleranzen.
- *Bauschadensquellen* sind die Umstände oder Ereignisse, die den Schadenshergang eintreten lassen. Die Erfassung solcher, der eigentlichen Schadensursache, übergeordneter Zusammenhänge ist ein wesentliches Ziel der Bauschadensforschung .

Hier stellten sich fließende Übergänge dieser einzelnen Bauschadensbegriffe dar, weshalb in manchen Punkten nicht diese Unterscheidungen getroffen werden kann. So werden in manchen Punkten entweder die Begriffe Bauschadensursachen und Bauschadensquellen zusammengefasst, oder es ist überhaupt keine klare Unterscheidung zwischen Arten, Ursachen und Quellen möglich.

Die eigentliche Einteilung der Schäden erfolgt nach mehreren Gesichtspunkten. So lassen sich Schäden nach der Schwere derselben einteilen (siehe Punkt 4.2 auf der nächsten Seite). Dabei richtet sich das Augenmerk auf die technische Verwendbarkeit des Spezialtiefbauwerkes, d.h. es

⁵³ Rizkallah (2007), S. 14.

wird unterschieden ob es sich um einen Totalschaden, den Verlust der Gebrauchstauglichkeit, eine Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit oder lediglich um einen Bagatellschaden handelt. Eine weitere Möglichkeit der Einteilung und Klassifizierung ist die Schadenshöhe (siehe Punkt 4.3 auf Seite 23). Dabei sind die verschiedenen wirtschaftlichen Schadensbegriffe zu unterscheiden. In der hier angeführten Form wird nur auf die reine Schadenssumme eingegangen. Eine weitere Möglichkeit der Einteilung ist nach dem Zeitpunkt des Eintretens (siehe Punkt 4.4 auf Seite 24). Dies ist besonders zur Einteilung der Bauschadensursachen und Bauschadensquellen wichtig. Als Feineinteilung wurden die Zeitabschnitte während der Planung, Bau und Nutzung gewählt. Nach dem Ort des Schadensereignisses lassen sich ebenfalls Arten und Ursachen von Schäden und Mängel unterscheiden (siehe Punkt 4.5 auf Seite 25). Dabei wurde zwischen Schäden am Spezialtiefbauwerk selbst, am gesamten zu errichteten Bauwerk sowie Schäden an Nachbarbauwerken unterschieden. Die Einteilung nach der Funktion des Spezialtiefbauwerkes, also Gründung, Abdichtung, Baugrundverbesserung oder Baugrubensicherung, liefert eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit für die Arten und Ursachen von Schäden, Mängel und Fehlern (siehe Punkt 4.6 auf Seite 26). Der Hauptpunkt bildet die Aufzählung von möglichen Schadensarten, -ursachen und -quellen in Zusammenhang mit den einzelnen Spezialtiefbauverfahren (siehe Punkt 4.7 auf Seite 27). Die letzte gewählte Zuordnungsmöglichkeit ordnet die Schadensarten und Ursachen den Sphären der am Bauprozess beteiligten zu (siehe Punkt 4.8 auf Seite 44). Den Abschluss bildet eine kurze Auflistung der Schäden die durch Spezialtiefbauverfahren entstehen können (siehe Punkt 4.9 auf Seite 45).

Aufgrund der Fülle der Einteilungsmöglichkeiten ergibt sich keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Die nachfolgende Einteilung soll lediglich die wichtigsten Klassifizierungsmöglichkeiten aufzeigen und kurz beschreiben.

4.2 Nach der Schwere des Schadens

Die hier getroffene Einteilung der Schäden bezieht sich vor allem auf die Verwendbarkeit des Bauwerkes. Diese kann grob in vier Klassen unterteilt werden.

4.2.1 Verlust des Gesamten Bauwerkes, Verlust der Tragfähigkeit: „Totalschaden“

Hierbei kommt es zu einem kompletten Versagen des Bauwerkes, der Baustoffe, des Untergrundes oder Kombinationen dieser Faktoren. Unter dem Verlust des gesamten Bauwerkes bzw. des Spezialtiefbauwerkes, seien es nun Gründungen oder Baugruben, wird der komplette Verlust der Tragfähigkeit verstanden, also das Einstürzen des gesamten Bauwerkes, oder das Versagen des Baugrubenverbaus. Um dieses Versagen zu vermindern, erfolgt eine Bemessung oder Dimensionierung aufgrund objektiver Kriterien. Diese Kriterien können auf Erfahrungswerten beruhen, physikalische Gesetzmäßigkeiten berücksichtigen, oder auf gesetzlichen Vorgaben fußen. Regelmäßig sind die Bemessungsgrundlagen und -verfahren im technischen Regelwerk und den nationalen und internationalen Normen festgeschrieben. Diese Standards werden in Österreich vom österreichischen Normungsinstitut herausgegeben. Ausgangspunkt des Bemessungsvorgangs sind die Anforderungen, die an das zu bemessende Bauwerk gestellt werden. Ziel der Bemessung ist es, anhand eines Rechengangs bzw. aus einer Tabelle die notwendige und optimale Größe oder Belastbarkeit eines Bauteils festzustellen.

Jedes Bauwerk soll nach dem Grundsatz bemessen werden, dass die Versagenswahrscheinlichkeit so gering ist, dass das verbleibende Risiko annehmbar wird.

Grundlagen für diese Bemessungen sind die charakteristischen Werte für Einwirkungen und Widerstände. Der charakteristische Wert ist ein Wert von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit, im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerkes bzw. der entsprechenden Bemessungssituation nicht über- oder unterschritten wird. In der Regel werden charakteristische Werte aufgrund von Versuchen, Messungen, Rechnungen oder Erfahrungen festgelegt. Die charakteristischen Werte der Beanspruchung werden mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert, die charakteristischen Werte der Widerstände durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert⁵⁴. Die erhaltenen Größen werden als Bemessungswerte bezeichnet. Mit diesen Bemessungswerten werden diverse Grenzzustände, also jene Situationen bei denen die gestellten Anforderungen gerade nicht erfüllt werden, untersucht. Bei der Bestimmung dieser Grenzzustände helfen uns Normen und Richtlinien. Es wird grob unterteilt⁵⁵ in:

- den Grenzzustand der Tragfähigkeit. Dies ist ein Zustand des Tragwerkes, dessen Überschreitung unmittelbar zu einem (zumindest) rechnerischen Einsturz oder anderen Formen des Versagens führt;
- und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (siehe Punkt 4.2.2): Dies ist ein Zustand des Tragwerkes, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind.

So nennt die ON EN 1997-1:2006 „Entwurf und Bemessung in der Geotechnik“⁵⁶ bei den Grenzzuständen der Tragfähigkeit den:

- Gleichgewichtsverlust des als starrer Körper angesehenen Tragwerks oder des Baugrundes, wobei die Festigkeiten der Baustoffe und des Baugrundes für den Widerstand nicht entscheidend sind (EQU) z.B.: das Gleiten einer ganzen Baugrubenwand oder das Kippen von Gebäuden;
- inneres Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerks oder seiner Bauteile, einschließlich der Fundamente, Pfähle, Kellerwände usw., wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist (STR) z.B.: durch das Einbauen eines falschen Spundwandprofils oder durch Wahl einer falschen Betonqualität oder Betongüte;
- Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes, wobei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine für den Widerstand entscheidend ist (GEO) z.B.: falsch oder gar nicht bestimmte Bodenkennwerte des Planers sowie eine unvorhersehbare geologische Situation;
- Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder Baugrundes infolge Auftrieb durch Wasserdruck (UPL);

⁵⁴ Vgl. Weißenbach, Anton/et.al.; Geotechnik e.V., Deutschen Gesellschaft für (Hrsg.): *Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben"*. 4. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 2006, S. 3ff.

⁵⁵ Weißenbach/et.al. (2006), S. 5.

⁵⁶ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln*. 01 2006, S. 35.

- hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten (HYD).

Die Ursachen, die zu einem kompletten Versagen des Bauwerkes führen, können vielfältig sein. Hier ist eine pauschale Zuordnung dieser Schadensart zu einer bestimmten Schadensursache nur bedingt möglich, da versucht wird, mittels der eingeführten Normen das Risiko eines Totalversagens zu minimieren. Zu einem Totalversagen kommt es dann, wenn diese Normen komplett außer Acht gelassen werden oder es zu einem Ereignis bzw. Vorfall kommt, der außerhalb der Norm liegt, oder wenn aus wirtschaftlichen Gründen dieses Ereignis bei der Bemessung nicht berücksichtigt wurde. Diese Ereignisse sind daher eher selten, da in den meisten Fällen mit dem Bauvertrag auch gültige Normen und technische Vorschriften sowie Richtlinien vereinbart werden. Beispiele für diese, aus der Norm liegenden Ereignisse, oder für Bemessungssituationen die außerhalb der Norm liegen, sind z.B.: extreme Witterungsereignisse wie ein tausendjähriges Hochwasserereignis (man wird eine temporäre Baugrubensicherung für wenige Monate aus wirtschaftlicher Sicht nicht für dieses Ereignis auslegen) oder Höhere Gewalt sowie Unvorhergesehenes.

4.2.2 Verlust der Gebrauchstauglichkeit

Bei dem Verlust der Gebrauchstauglichkeit ist zwar die Tragfähigkeit des Bauwerkes noch gegeben, der Gebrauch ist jedoch, wie der Name schon sagt, nicht mehr möglich. Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist der Zustand des Tragwerkes, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, ohne das seine Tragfähigkeit (siehe Punkt 4.2.1) verloren geht⁵⁷. Es kommt also weder zum Einsturz noch zum kompletten Versagen des Bauwerkes, es ist aber nicht zu gebrauchen. In wie weit ein Komplettversagen von Einzelelementen (Im Spezialtiefbau werden vorwiegend Einzelelemente hergestellt, so bilden z.B.: mehrere Bohrpfähle eine Bohrpfahlwand oder ein Gründungssystem) dem Verlust der Gebrauchstauglichkeit oder einem Totalversagen entspricht, ist von Fall zu Fall zu unterscheiden. Besonders wichtig sind die für die Nutzung (vertraglich) festgelegten Bedingungen die das Bauwerk erfüllen soll. Beispiele hierfür sind unzulässige Verformungen, oder eine Tiefgarage die unter Wasser steht (geforderte Dichtigkeit). Um diese gewünschten Funktionen erfüllen zu können, sind manchmal umfangreiche Sanierungen nötig. Diese können sich auf Einzelmaßnahmen beschränken (z.B.: eine undichte Schlitzwandfuge wird nachinjiziert oder es wird eine DSV-Säule vorgesetzt um die Fuge abzudichten). Es kann aber auch zur Neuerrichtung einzelner Bauteile bzw. Baugrubenwänden kommen, wenn z.B.: auf Grund eines falsch gewählten Profils bei Spundwandarbeiten die Verformung zu groß werden.

4.2.3 Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit

Bei einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit ist zwar die Benutzung im Allgemeinen möglich. Eine Sanierung wäre nicht unbedingt nötig, aber sinnvoll. Sollten sich die Beteiligten einig sein, so kann auch ein monetärer Ersatz geleistet werden. Ein Beispiel dazu wäre eine Bohrpfahlwand, als Wand einer Tiefgarage, bei der eine geringe Menge Wasser durch die Fugen eintritt. Dieser Wassereintritt durch die Wand kann aber abfließen.

⁵⁷ Vgl. Weißenbach/et.al. (2006), S. 5f.

Schwerer zu Bewerten sind in diesem Fall Schäden durch Spezialtiefbauarbeiten an Nachbarobjekten, bei denen es zu Rissen kam. Es ist zu klären in wie weit die ordentliche Benutzung dieses Objektes (Risse in der Wand, verzogene Fenster- und Türrahmen) eingeschränkt ist. Hier liegt die Schwierigkeit bei der genauen Einteilung der Schäden und Mängel im Sinne der Gebrauchsfähigkeit. Es wird sicher auch vom Standpunkt (AG, AN, Planer oder Nachbar) abhängen, ob man einen Schaden nur als Bagatelle wahrnimmt oder ob man diesen Schaden als eine Einschränkung seines Vermögens (im Sinne einer rechtlichen und wirtschaftlichen Sicht) betrachtet.

4.2.4 Bagatellschäden

Unter Bagatellschäden sind jene Schäden zu verstehen, bei denen es nicht zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit kommt. Meist sind es Schäden die nur optisch auffallen. Diese sind im Spezialtiefbau eher selten da der größte Teil der Bauwerke (abgesehen von dem sichtbaren Teil bei Baugrubenverbauten bzw. bei einer Doppelfunktion von Schlitz- und Bohrpfahlwand als Gründungselement sowie als sichtbare Bauwerkswand) unsichtbar im Untergrund verborgen sind. Bei sekundären Bagatellschäden, das sind Bagatellschäden die durch Spezialtiefbauarbeiten entstehen (z.B.: Risse im Putz am Nachbargebäude), ist weiter eine Überprüfung nötig, um festzustellen, ob es sich tatsächlich nur um Bagatellschäden handelt oder ob sich eine gravierendere Schädigung abzeichnet.

4.3 Nach der Schadenshöhe

Zur Einteilung der Schäden nach der Schadenshöhe wird der wirtschaftliche Schaden herangezogen. D.h. zur Bewertung und Klassifizierung der Schäden werden die Schadenskosten, sowie ein eventuell entgangener Gewinn direkt mit ihrem monetären Wert oder als Relativgröße mit einem geeigneten Bezugswert (z.B.: die Gesamtkosten der Tiefbaumaßnahme oder die gesamten Projektkosten) verwendet. Dies Art der Einteilung eignet sich besonders für die Schadensarten.

Im Folgenden sind zu bewerten:

- die Schadenskosten. Diese lassen sich wieder in drei Untergruppen einteilen.
 - *Kosten der Sofortmaßnahmen*, das sind jene Kosten die bei sofortigen Maßnahmen zur Schadensminimierung anfallen. Das wäre in besonderen Maßnahmen wie neue Absteifungen, Auflasten bei hydraulischen Grundbruch, Injektionen oder messtechnische Überwachung.
 - Den nächste Anteil am wirtschaftlichen Schaden haben die *eigentlichen Schadenskosten*. Dabei ist zu unterscheiden zwischen juristischen Schadenskosten, d.h. Schäden an Dritten z.B.: Schäden durch ein Spezialtiefbauverfahren, und den Kosten zur Wiederherstellung der angestrebten Funktion des Spezialtiefbauwerkes (Beseitigung eines Mangels, also die Erfüllung eines Vertrages).
 - Um Schäden oder Mängel weiters zu unterscheiden bzw. um die unterschiedlichen Schadensarten gerecht zu bewerten, werden weiters die *Vermeidungskosten* berücksichtigt.

- der entgangene Gewinn. Dieser kann entweder direkt über fehlende Mieteinnahmen bei Gebäuden oder einem Fehlen von Mauteinnahmen bei Straßen geschehen. Schwieriger wird die monetäre Bewertung, wenn es um nicht monetäre Ziele geht. So kann man z.B.: durch die verspätete Eröffnung eines Straßen- oder Eisenbahnabschnittes, als Folge eines Schadens, die Auswirkungen auf die gesamte Verkehrssituation nur schwer in einen monetären Wert darstellen.

Zur groben Abschätzung und um eine gewisse Voreinteilung treffen zu können, kann man die Schäden nach der Schwere des Schadens (siehe 4.2 auf Seite 20) voreinteilen, denn die Wiederherstellung nach einem Totalschaden wird sicher mehr Kosten verursachen, als eine eventuelle Beseitigung eines Bagatellschadens. Besonders für Versicherungen ist diese Art der Einteilung in Kombination mit anderen Einteilungsmöglichkeiten interessant. Die Ergebnisse könnten zur Risikoabschätzung einzelner Bauverfahren oder zur Bewertung des Versicherungsrisikos der am Bauprozess Beteiligten herangezogen werden.

4.4 Nach dem Zeitpunkt

Eine Möglichkeit zur Einteilung von Schäden ist die nach dem Zeitpunkt der Entstehung des Schadens. Dabei bleiben weitgehend die technischen Eigenschaften unberücksichtigt. Es muss aber zwischen Schadensarten, -ursachen und -quellen unterschieden werden. Bei der zeitlichen Unterteilung nach dieser Aufschlüsselung in Arten, Ursachen und Quellen ist weiters zu unterscheiden, ob der Schaden selbst eintritt, oder wann die Ursache oder Quelle des Schadens auftrat. Eine weitere Einteilung in Bezug auf die Zeit wäre eine Einteilung, wann der Schaden bzw. Mangel entstanden und wann er entdeckt wurde. Für eine Betrachtung in Verbindung mit den Bauverfahren siehe Punkt 4.7.

4.4.1 während der Planung

Darunter fallen alle Probleme deren Ursache noch vor dem eigentlichen Baubeginn liegt. Hierzu zählen Berechnungsfehler, mangelnde Baugrunduntersuchung, die Wahl eines falsches Verfahren oder die Wahl eines falschen Profils. Hauptsächlich werden diese Fehler von Planern oder Bauherren begangen.

4.4.2 während dem Bau

Das sind jene Schäden, deren Ursachen und Quellen während des Bauens zu finden sind. Darunter fallen alle Fehler, Schäden und Mängel von Spezialtiefbaumaßnahmen die direkt mit dem Bauprozess zutun haben. Naturgemäß lassen sich diese Schäden vor allem der Sphäre der Bau-firma zuordnen, jedoch sind auch Ursachen aus anderen Sphären möglich.

Ein wichtiger Punkt bei Schäden, deren Wurzel während der Bauausführung liegt, ist die Baugrubensicherung, da diese als temporäre Maßnahme hauptsächlich während des Bauens entstehen (siehe Punkt 4.6.3).

4.4.3 während der Nutzung

Das sind Schäden die ihren Ursprung während der Nutzung haben. Hauptsächlich entstehen diese Schäden erst nach einer veränderten Situation wie z.B.: nach nicht sorgfältig geplanten

Umbauten oder beim Aufbringen neuer, bisher nicht bekannter Lasten. Eine weitere mögliche Ursache für Schäden an Spezialtiefbauten, ist das Auftreten von Unvorhergesehenem wie extreme Hochwasser- oder außergewöhnliche Erdbebenereignisse. Diese fallen unter den Begriff „Höhere Gewalt“.

4.5 Nach dem Ort des Schadensereignisses

Mit dem Ort des Schadensereignisses ist der genaue Ort des Schadeneintrittes gemeint. Dabei wird zunächst zwischen Schäden am Spezialtiefbauwerk, und Schäden am Bauwerk unterschieden. Dadurch ergibt sich eine zeitliche Einteilung der Schäden, da i.A. Schäden erst am Bauwerk entstehen können, wenn der Spezialtiefbau abgeschlossen ist.

Da sich viele Schadensereignisse, vor allem im städtischen Bereich, auch auf das Nachbargebäude beziehen, wird in dieser Aufzählung auf diesen Umstand besonders eingegangen.

4.5.1 am Spezialtiefbauwerk selbst

Hier zeigt sich der Mangel am Spezialtiefbauwerk selbst. Es ist kein anderer Bauteil des Gebäudes betroffen. Im Allgemeinen werden diese Fehler schon während der Bauausführung entdeckt, vor allem beim Aushub der Baugrube. Auch bei temporären Baumaßnahmen wie z.B. bei Baugrubensicherungen, die nicht Teil des Bauwerkes sind, können diese Schäden auftreten. Dazu zählt auch ein Versagen von Hilfs- und Stützkonstruktionen. Darunter fallen also jene Schäden die direkt in den örtlichen Bereich des Spezialtiefbaues liegen. So sind dies, z.B.: schadhafte Fugendichtungen zwischen Schlitzwandelementen, oder Fehlstellen beim Betonieren von Bohrpfehlen.

4.5.2 am Bauwerk

Dazu zählen jene Schäden an Gebäuden, die durch Fehler im Spezialtiefbau entstanden sind. Dies kann noch weiter unterteilt werden in Schäden die allein am Bauwerk zu finden sind, sowie in Schäden die örtlich im Teil des Spezialtiefbau und im Rest des Bauwerkes auftreten können, z.B.: Setzungsrisse während oder nach der Errichtung des Gebäudes. So kann es durch einen Dimensionierungsfehler vorkommen, dass sich Risse nur am Bauwerk selbst zeigen, der Spezialtiefbau an sich aber ohne Mangel hergestellt wurde (siehe Punkt 4.6.1).

4.5.3 am Nachbarbauwerk

Durch Spezialtiefbauarbeiten können auch Schäden an Dritten entstehen. Dies sind vor allem Schäden an Einbauten wie Kanäle oder Leitungen von Versorgungsdiensten, sowie Schäden am Nachbargrundstück (Setzungen) und Nachbargebäude (z.B.: Risse). Bei nicht exakt bekannter Lage dieser Leitungen können diese von diversen Spezialtiefbauverfahren beschädigt oder zerstört werden. Weiters sind Setzungen, die durch Schäden an Baugrubenverbauten entstanden sind, an Nachbargrundstücken sowie an benachbarten Flächen (vor allem Verkehrsflächen wie Straßen und Gehsteige) möglich. Direkte Schäden an Nachbargebäuden sind hauptsächlich Risse die durch Spezialtiefbauarbeiten entstehen. Diese können ihren Ursprung z.B.: im Anprall des Spezialtiefbaufahrzeuges an das Gebäude, sowie in Rammarbeiten, haben. Weiters können diese Schäden am Gebäude entweder durch die Vibrationen im Boden oder durch Rammelemente die

direkt in das Gebäude oder in das Gebäudefundament reichen, entstehen. Weiteres Schadenspotential ergibt sich besonders bei Unterfangungsarbeiten an Nachbargebäuden, wenn diese nicht so tief gründen wie das neu zu errichtende Bauwerk (siehe Punkt 4.9).

4.6 Nach der angestrebten Funktion

Eine Klassifizierung der Schäden nach der angestrebten Funktion des Spezialtiefbauwerkes unterscheidet zwischen Schäden bei Gründungen, Abdichtungen, sowie Baugruben oder bei Maßnahmen zur Baugrundverbesserung. Wie so oft gibt es auch hier Überschneidungen mehrerer Funktionen. Als Folge dieser Überschneidungen sind sowohl der Ausfall einer Funktion, als auch das Versagen mehrerer Funktionen möglich.

4.6.1 Gründung

Ziel einer Gründung ist es, Lasten aus Bauwerken wie Gebäuden oder Brücken in den Untergrund abzutragen und gegebenenfalls Setzungen zu ver- bzw. behindern.

Zur Gründung bzw. Teile von Gründungselementen können Pfähle, Schlitzwände oder DSV-Elemente verwendet werden. Typische Schäden wären also jene, die diese Funktion einer Gründung behindern bzw. verhindern.

Ein Spezialfall einer Gründung ist die Unterfangung von schon bestehenden Gebäuden. Vor allem im dicht besiedelten innerstädtischen Bereich oder in historischen Stadtkernen kommen Unterfangungen auf Grund des Bauplatzmangels vermehrt zum Einsatz. Diese Verfahren hierfür verursachen spezielle Schäden vor allem an dem zu unterfangenden Bauwerk.

4.6.2 Abdichtung

Eine Abdichtung dient in erster Linie zur Abhaltung von Wasser (Baugruben im Grundwasser, Hochwasserschutz, etc.) oder um mit Wasser transportierten Stoffen fernzuhalten oder einzusperren (Deponieabdichtung).

Bauverfahren mit vorwiegender abdichtender Funktion sind das Schmalwandverfahren oder Injektionen. Aber auch mittels des Düsenstrahlverfahrens lässt sich diese Funktion bei nötiger Sorgfalt erreichen. Werden Bohrpfähle, Schlitzwände und Spundwände sorgfältig eingebaut, kann ebenfalls eine dichte Ausbildung erreicht werden. Mögliche Schäden richten sich vor allem an das Bauverfahren weshalb hier vor allem auf das Kapitel 4.7 verwiesen wird.

4.6.3 Baugrube

Unter einer Baugrube wird im Allgemeinen eine temporären Maßnahme zu Errichtung von Bauwerken verstanden. Es gibt prinzipiell zwei Arten um Baugruben zu sichern. Eine Möglichkeit ist die Ausführung einer geböschten Baugrube. Diese können sowohl ungesichert als auch gesichert hergestellt werden. Bei gesicherten Böschungen⁵⁸ kommt vor allem Spritzbeton mit Anker oder Nägel zum Einsatz. Bei ungesicherten Böschungen kommt kein Spezialtiefbau zum Einsatz, und sind daher nicht Gegenstand dieser Arbeit.

⁵⁸ Vgl. Hilmer, Klaus: Kap. Baugrube von E. Hanke und K. Hilmer. In: Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, S. 39f.

Eine weitere Möglichkeit eine Baugrube herzustellen ist jene mit Hilfe eines Baugrubenverbau, der durch ein Spezialtiefbauverfahren hergestellt werden kann. Dies kann sowohl eine temporäre Maßnahme sein wie z.B. ein Baugrubenverbau mittels Spundwänden die nach Fertigstellung wieder rückgebaut wird, oder als Kombination mit einem Gründungselement indem das Spezialtiefbauwerk beide Funktionen (Gründung und Baugrubenverbau) übernimmt z.B. eine Schlitzwand.

4.6.4 Bodenverbesserung

„Baugrundverbesserungsverfahren haben i.d.R. zum Ziel, die Tragfähigkeit (Scherfestigkeit) des Baugrundes zu erhöhen und die Setzungen (Steifigkeit) zu verringern oder vorwegzunehmen, so dass darauf Bauwerke flach gegründet werden können.“⁵⁹ Die Schäden die der Baugrundverbesserung zuzuordnen sind, betreffen vor allem das gesamte Bauwerk, da man Mängel oder Fehler bei diesen Spezialtiefbauverfahren erst mit dem weiteren Baufortschritt oder Belastung bemerkt. Weiters können die Spezialtiefbauverfahren der Baugrundverbesserung Schäden an Nachbarbauwerken verursachen.

4.7 Nach dem Bauverfahren

Bei der Einteilung der Schäden und der Schadensursachen anhand der Bauverfahren, wird weiters eine zeitliche Unterscheidung zur besseren Gliederung eingeführt. Dabei diene als Grundlage hauptsächlich die Forschungsarbeit „Ökoeffiziente Entscheidungskriterien im Tiefbau“⁶⁰. Sie diene als Leitfaden und wurde lediglich um Punkte aus der Literatur und den Fragebögen ergänzt.

Bei der Zuordnung der Schadensursachen und -quellen werden diese nur beim ersten Mal angeführt und beschrieben, da z.B.: Berechnungs- oder Annahmefehler bei jedem der angeführten Spezialtiefbaumaßnahmen auftreten können.

4.7.1 Allgemeine Schadensursachen:

- AG
 - Zu geringe oder keine Voruntersuchung: In Zeiten großen wirtschaftlichen Druckes, auf allen am Bauprozess Beteiligten, seien es AG, AN oder Planer, wird oft bei den Voruntersuchungen gespart. Dies hat aber oft fatale Konsequenzen, seien es technische Probleme oder wirtschaftliche Folgen.
 - Ausschreibungsfehler: Darunter fallen alle Fehler die sich auf Grund einer falschen Ausschreibung ergeben. Vor allem sind dies jene Fehler die sich durch Widersprüche bzw. durch Unklarheiten, in Ausschreibung und später im Bauvertrag durch unklare oder widersprüchliche Anweisungen, ergeben.

- Planer

⁵⁹ Kempfert, Hans Georg/Raithel, Marc: *Bodenmechanik und Grundbau; Teil Bodenmechanik*. Band 1, 1. Auflage. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2007, S. 227.

⁶⁰ Brandl, H./Jodl, H. G./et.al.: *Ökoeffiziente Entscheidungskriterien im Tiefbau Modul 3*. Wien: Magistratsabteilung 22 und 29 der Stadt Wien, Juni 2005 – Technischer Bericht.

- Berechnungsfehler: Der klassische Rechenfehler bei der Bemessung von Tiefbauwerken.
- Annahmefehler: Darunter fallen Probleme die auf falschen Annahmen beruhen. Dazu gehören einerseits Annahmen über den Untergrund, meist in Kombination mit unzureichenden Voruntersuchungen, andererseits liegt eine Fehlerquelle bei Belastungsannahmen.
- AN
 - falsche Bauablaufplanung: Darunter sind jene Schäden zu verstehen, die sich auf Grund einer anderen Bauablaufplanung vermeiden ließen. Vor allem bei einer zu kurz bemessenen Bauzeit ergeben sich häufig Fehler und Mängel.
 - Maßabweichung: Unter einer Maßabweichung ist eine Abweichung von einer Soll-Lage, die durch einen Ausführungsplan festgelegt wird, zu einer Ist-Lage, die sich nach der Fertigstellung einstellt. Aufgrund der im Bauwesen üblichen Fertigungsmethoden (dh. Einzelfertigung, Fertigung im Freien), gibt es eine Maßtoleranz, sowohl bei der Erstellung der Pläne (Plantoleranz) als auch beim Bauen selbst (Bautoleranz).
- Neutral/Höhere Gewalt
 - Wahl eines falschen Verfahrens: Das gewählte Bauverfahren kann die Vorgaben des Bauvertrages technisch nicht erfüllen. Oft werden in Unkenntnis des genauen Bauablaufes falsche technische Eigenschaften angenommen oder schlichtweg etwas Unmögliches angenommen (Planer, AG) oder versprochen (AN).
 - falscher Bauzeitplan: Unrealistische Vorgaben vom Bauherrn oder Planer oder unmögliche Versprechungen vom AN führen zu Zeitdruck.
 - Witterung: Hier vor allem Schaden durch extreme Witterungen wie bei Starkregenereignissen durch direktes Einwirken (Überschwemmungen, Wasserdruck) aber auch als Auslöser für Schäden deren Schadensquellen in anderen Bereichen zu finden ist.
 - Erdbeben: Die bei einem Erdbeben entstehenden Wellen im Boden können Spezialtiefbauwerke beschädigen oder zerstören.

4.7.2 Spundwandverfahren

Beim Spundwandverfahren werden Spundbohlen in den Untergrund eingerammt oder vibriert. Diese dienen dann in der Regel als weicher Verbau. Es wird deshalb nicht als Gründungsverfahren verwendet. Hauptsächlich dient das Spundwandverfahren zur Herstellung von Baugrubensicherungen sowie zur Sicherung eines Geländesprunges, zur Abdichtung gegen Grundwasser, bzw. zur Ufersicherung im Flussbau.

Spundbohlen werden heutzutage aus Stahlblechen gewalzt, früher wurden auch Bohlen aus Holz verwendet. Diese Spundwandprofile können nun entweder mit sog. Hämmern in den Boden eingerammt, mit Pressen eingebracht oder mittels Vibratoren einvibriert, werden⁶¹. Hämmer

⁶¹ Vgl. ArcelorMittal (Neudruck 2001), S. 16ff.

können mit Schwerkraft, Diesel oder hydraulisch betrieben werden. Weiters gibt es noch Hammerausführungen mit Dampftrieb, diese sind jedoch eher selten.

Eine andere Methode zum abteufen von Spundbohlen ist die Verwendung von hydraulischen Spundwandpressen. Dabei halten sich jeweils zwei oder mehrere Pressen an bereits tiefer eingebrachte Bohlen fest, während ein oder zwei weitere Pressen die Spundbohlen in den Baugrund drücken. Im nächsten Arbeitsschritt hält sich die Presse an den eben eingedrückten Bohlen fest und drückt die Bohlen vom letzten Arbeitsschritt in den Untergrund.

Vibratoren versetzen die Spundbohlen in Schwingungen, um das Eindringen in den Boden zu erleichtern. Die Vibratoren erzeugen Schwingungen dadurch, dass Exzentergewichte über ein Getriebe durch ein oder mehrere Motoren (elektrisch, hydraulisch oder eine Kombination) angetrieben werden. Durch die Schwingungen wird der Boden um die Bohle vorübergehend in einen pseudoflüssigen Zustand versetzt, was eine merklichen Verringerung der Eindringwiderstände zwischen Boden und Bohle zur Folge hat⁶².

Die Wahl des Einbringverfahren hängt von verschiedensten Kriterien ab. Einige Hauptpunkte die bei der Wahl des Einbringverfahrens zu berücksichtigen sind, ist die Art des Bodens, die Umwelt sowie die Baustelleneinrichtung. Weiters gibt es verschiedene Einbringhilfen um mit unterschiedlichen Schwierigkeiten fertig zu werden. So gibt es die Möglichkeit des Vorbohrens bei Findlingen oder sog. Spülbohlen. Bei diesen wird mittels einem oder mehreren Spülrohren ein Wasserstrahl (20-500 bar) an den Fuß des Rammgutes geleitet, der den anstehenden Boden lockert⁶³.

Typische Schadensarten beim Spundwandverfahren sind:

- Während der Bauphase⁶⁴:
 - Pfpfenbildung am Bohlenfuß: Für die Pfpfenbildung sind die Untergrundeigenschaften und die Profilform der Bohlen ausschlaggebend.
 - Rammabweichungen: Durch die Eigenschaften des Baugrundes (sehr harter Untergrund, durch bereits eingebrachte Bohlen erfolgte Verdichtung), unsachgemäße Bauausführung oder durch die Schlossreibung beim Einbringen kann es zu Rammabweichungen kommen:
 - * Fehlstellungen (Vor-, Nacheilen, Schiefstellungen): Speziell wenn eine dichte Konstruktion gewünscht wird oder wenn die Spundwand eine geschlossenen Baugrube bilden soll, sind Fehlstellungen der Spundwandbohlen eine häufige Fehlerursache.
 - * Mitziehen der Nachbarbohlen: Beim Ziehen der Bohlen aber auch beim Rammen einer neuen Bohle kann dieser Vorgang die Lage der Nachbarbohle unbeabsichtigt ändern.
 - * Hindernisse im Untergrund: Findlinge, größere Steine, aber auch Fundamentreste können zu Rammhindernissen werden und somit zu Schiefstellungen der Spundwandbohlen führen. Aber auch organische Reste wie alte Baumstämme oder Wurzeln können aufgrund ihrer elastischen Eigenschaften zu Rammhindernissen werden.

⁶² Vgl. ArcelorMittal (Neudruck 2001), S. 25.

⁶³ Vgl. ArcelorMittal (Neudruck 2001), S. 61.

⁶⁴ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 35f.

- Schlosssprengung: Unter einer Schlosssprengung wird das Aufreißen der Schlossverbindung beim Einbringen der Bohlen verstanden. Die Gefahr einer Schlosssprengung hängt im besonderen von folgenden Faktoren ab:
 - * Genauigkeit der Positionierung, Bauausführung: Durch Fehlstellungen der Spundbohlen kann es vorkommen, dass bei Rammarbeiten die zu rammende Spundbohle aus dem Schloss springt, bzw. dieses zerstört.
 - * Baugrundverhältnisse: Untergrundmaterial kann in das Schloss der Spundbohle eindringen und dieses aufsprengen.
 - * Verformungsverhalten der Spundbohlen: Biegeweiche Spundbohlen oder Kanaldielen können sich beim Einbringen in den Untergrund verbiegen.
 - * Materialschäden (bei Hindernissen).
- Während der Nutzungsphase:
 - Verlust der Standsicherheit (siehe Punkt 4.2.1):
 - * Grundbruch,
 - * Geländebruch,
 - * Bruch in der tiefen Gleitfuge.
 - Verlust der Gebrauchstauglichkeit (siehe Punkt 4.2.2 und Punkt 4.2.3):
 - * Geländebruch: Drehbewegung des gesamten Spundwand- bzw. Verankerungskörper (einschließlich des Erdkörpers) auf einer gekrümmten Gleitfläche.
 - * hydraulischer Grundbruch: Auflockerung und Erosion von Feinteilen im Untergrund zufolge Strömungsdruck.
 - * Schlosssprengung: Undichtheit,
 - * Schiefstellungen,
 - * Fehlstellung der Spundbohlen: Dies kann neben der Undichtheit, einen erschwerten Einbau der Verankerung bzw. Absteifungen zur Folge haben. Bei zu knapp bemessenen Baugruben kann der weitere Baufortschritt verzögert oder behindert werden,
 - * Entfall von Anker bzw. Absteifungen: Durch den Entfall eines oder mehrerer Anker bzw. Absteifungen kann es zu Verformungen bzw. zum Totalverlust der Spundwand kommen.
 - * Überschreiten der maximal zulässigen Setzungen und Verformungen. Dies kann entweder das Spundwandbauwerk selbst betreffen oder das Nachbarbauwerk. Z.B.: kann es bei einer verformten Spundwand vorkommen, dass durch die Verformung es nicht mehr möglich ist, das Bauwerk wie geplant zu errichten, oder durch die Setzungen an der Oberfläche kann z.B.: eine Straße nicht mehr befahrbar sein.
 - * Hydraulischer Grundbruch,
 - * Mangelnde Dichtigkeit:
 - zufolge Schlosssprengung, Rammabweichungen,

- Auskolkung der Sohle (bei Uferspundwänden).
- Korrosion der Spundbohlen:
 - * Erdseite: diese wird i.A. durch mangelnde Sauerstoffzufuhr eingeschränkt,
 - * Luftseite: von den aggressiven Bestandteilen der Luft bzw. der Niederschläge abhängig,
 - * Wasserseite: Rostbildung ist von den aggressiven Bestandteilen abhängig:
 - Süßwasser ca. 0,012-0,02 mm/a,
 - Salzwasser ca. 0,12-0,14 mm/a.
 - * Die angenommenen Korrosionszuschläge sind lediglich Mittelwerte. De facto verläuft die zeitliche Korrosionszuschlagslinie weitgehend nach einer Exponentialfunktion, d.h. anfangs höher, später kleiner werdend. Bei aggressiven Untergrundbedingungen sowie Wasser ist der Korrosionszuschlag höher anzusetzen.

Denkbare Schadensursachen und -quellen für Spundwandarbeiten sind:

Schäden durch Spundwandarbeiten hängen hauptsächlich von der Art der Einbringung ab. Vor allem bei Rammarbeiten, aber auch bei der Verwendung von Vibratoren, übertragen sich die Schwingungen auf benachbarte Gebäude und können so Risse und/oder Setzungen verursachen. Zusätzlich können Schäden am Nachbargebäude direkt durch das Spundwandprofil selbst entstehen. Aber auch das Zerstören oder Beschädigen von Leitungen und anderen Einbauten im Untergrund, vor allem bei unbekannter Lage, ist ein weiteres Beispiel für Schäden durch Spundwandarbeiten. Weiters sind in Folge der geankerten Spundwandkonstruktionen, Schäden durch Ankerarbeiten (siehe Punkt 4.7.10) möglich.

4.7.3 Schlitzwandverfahren

Beim Schlitzwandverfahren wird mittels eines Greifers oder eine Fräse ein Schlitz in den Untergrund (Locker- oder Festgestein) abgeteuft. Während der Bauphase dient eine Suspension aus Bentonit und Wasser als Stützmittel für den Schlitz. In diesem Schlitz wird anschließend die Bewehrung eingestellt und mit Beton im Kontraktorverfahren verfüllt. Je nach Greifer- oder Fräsengröße entstehen so Einzelelemente die im Pilgerschrittverfahren zu einem Bauwerk verbunden werden. Besonderes Augenmerk ist auf die Ausbildung der Fugen zwischen den so hergestellten Elementen zu legen. Bei geeigneter Ausführung lassen sich mit einer Schlitzwand fast alle Funktionen nach Punkt 4.6 auf Seite 26 erfüllen.

- Während der Bauphase⁶⁵:
 - Verlust der inneren Standsicherheit des Schlitzes,
 - Verlust der äußeren Standsicherheit,
 - Verbrauch der Stützflüssigkeit (Bentonitsturz): z.B.: durch Ausfließen in einen unbekanntem Kanal oder Hohlraum (z.B.: alter Brunnen),
 - Leitwandinbrüche: Keine statische Bemessung der Leitwände, Verwendung eines zu schweren Trägergeräts,

⁶⁵ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 56f.

- Eintreten von Grundwasser in die Stützflüssigkeit,
 - Ver- und Entmischungsvorgänge beim Betonieren: Arbeiten unter Zeitdruck, verwenden einer Stützflüssigkeit von geringer Qualität, keine fachkundige Überwachung der Betoniertätigkeiten,
 - Fehleinbau von Bewehrungen oder event. Fugenband,
 - Fugenausbildung,
 - Abweichungen von der Sollkubatur und -lage (Vertikale),
 - Herabsetzen der Mantelreibungskraft durch lange Verweildauer der Stützflüssigkeit.
- Während der Nutzungsphase:
 - Verlust der Standsicherheit:
 - * Grundbruch,
 - * Geländebruch,
 - * Bruch in der tiefen Gleitfuge.
 - Verlust der Gebrauchstauglichkeit:
 - * Überschreiten der maximal zulässigen Setzungen und Verformungen,
 - * Ausfall von Anker- oder Steifen.
 - Mangelnde Dichtigkeit:
 - * zufolge falscher Betonrezeptur: fehlende Untersuchung des Grundwassers auf Betonaggressivität,
 - * zufolge mangelhafter Fugenreinigung,
 - * zufolge mangelnder Fugenausbildung,
 - Korrosion der Bewehrung durch fehlende bzw. mangelnde Betonüberdeckung.

Schäden durch Schlitzwandarbeiten sind ähnlich denen bei Spundwandarbeiten. Vor allem beim Abteufen des Schlitzes können Schäden durch diese Bauarbeiten wie die Beschädigung von Leitungen oder der Nachbarbebauung vor allem beim Fundament, durch die Abweichung von der Sollage, vorkommen.

4.7.4 Pfähle

Pfähle sind dem Grunde nach Einzelelemente die entweder vor Ort hergestellt werden oder aus Fertigteilen bestehen, die durch Verdrängung, Rammen oder mittels Bohren in den Untergrund eingebracht werden. Pfähle können aus Stahl, Holz oder Beton bestehen, natürlich ist auch eine Kombination dieser Materialien denkbar. Bei Pfählen aus Ort beton ist auch eine Überschneidung möglich. Mit entsprechender statischer und konstruktiver Ausbildung lassen sich alle Anforderungen an Spezialtiefbauwerke erfüllen.

Die unterschiedlichen Arten von Pfählen bedingen auch unterschiedliche Herstellungsmethoden. So werden z.B.: Holzpfähle, sicher auch eine der ältesten Spezialtiefbaumethoden, gerammt. Stahl- (Gusseisen-) oder Fertigbetonpfähle können ebenfalls gerammt werden (zu Rammarbeiten

an sich siehe Kap. 4.7.2 Spundwandverfahren). Ortbetonpfähle können mittels einem Greiferverfahren abgeteuft oder mit einer Schnecke hergestellt werden. Dabei gibt es wieder unterschiedliche Vorgehensweisen zur Stützung des Bohrloches. Einerseits werden Stahlrohre zur Stützung verwendet. Eine andere Möglichkeit ist die Flüssigkeitsstützung mittels Bentonit-Suspension. Bei der Verwendung einer Endlosschnecke ist der Boden der in den Schneckengängen verbleibt selbst die Stützung.

HILMER unterteilt bei Pfählen die Schadensursachen grob in drei Bereiche und gibt zu jedem Bereich einzelne Beispiele an⁶⁶:

- Ursache Baugrund: „Hier sind vor allem nicht ausreichende Erkundungstiefen und dürftige, kostengünstige Erkundungsmethoden zu nennen.“⁶⁷ Es fehlen aber auch genaue Angaben zu Bodenkennwerten (Laborversuche) oder Angaben zu Grundwasserverhältnissen.
- Ursache Entwurf und Bemessung: Hier spielt vor allem die Wahl des Pfahlsystems sowie die Anordnung der Pfähle bei entsprechendem Setzungsverhalten eine Rolle. Die Fortsetzung der möglichen Ursachen von Schäden bildet der nächste Arbeitsschritt: die Ausschreibung und die Vergabe der Pfahlgründungsarbeiten.
- Ursache Herstellung: Hier treten die meisten Fehler und Schäden auf. Es sind auch indirekte Schäden an Nachbarbauwerken infolge Bodenentzug oder Erschütterungen zu nennen.

Die Schäden werden im Allgemeinen aber durch mehrere Ursachen hervorgerufen.

Im Folgenden nennt HILMER mehrere Schadensbeispiele die man diesen 3 Ursachengruppen grob zuteilen kann⁶⁸:

- Ursache Baugrund:
 - Negative Mantelreibung: Der umgebende Boden kann keine Mantelreibungskräfte aufnehmen sondern drückt selber mit seiner Eigenspannung, abhängig von Bodenparametern, auf den Pfahl.
 - Fehlender Aufschluss der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden: Allein die Kenntnis über das Anstehen des Bodens reicht nicht zur Beurteilung der Tragfähigkeit des Bodens oder der Bodenschicht aus.
 - Ungenügend tiefe Baugrundaufschlüsse: Es sollte der gesamte Wirkungsbereich der Pfähle untersucht werden. So kann eine auf Grund einer geringen Erkundungstiefe nicht entdeckte weiche Schicht zu, großen Setzungen und zu einer geringeren Tragfähigkeit als gefordert führen.
 - Ungenaue oder unvollständige Baugrundbeschreibung: So kann eine ungenaue Baugrundbeschreibung oder Baugrundklassifikation zu Problemen bei der Herstellen führen. Ebenso kann ein unbekannter Grundwasserstand oder eine nicht bekannte GW-Strömung zu Problemen bei der Pfahlherstellung führen.
- Ursache Entwurf und Bemessung:

⁶⁶ Vgl. Hilmer, Klaus: Kap. Pfahlgründungen von A. Ellner und H. Becker. In: Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, S. 39ff.

⁶⁷ Hilmer (1991b), S. 38.

⁶⁸ Vgl. Hilmer (1991b), S. 39 - 65.

- Fließdruck; Seitendruck: Bei der Bemessung von Pfählen ist ebenfalls ein eventuell auftretender Seitendruck zu berücksichtigen, der zum Verdrehen des Schwerpunkts des Pfahles führen kann.
 - Pfahlfußverbreiterung: Eine unzulängliche Ausbildung einer geplanten Pfahlfußverbreiterung kann zu unzulässigen Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen führen.
 - unzweckmäßige Pfahlart: Die Herstellungsart hat großen Einfluss auf das Pfahlverhalten bzw. auf die Pfahlfestigkeit. So können z.B.: Ramppfähle nicht so tief in Ton-schichten abgeteuft werden wie z.B.: Bohrpfähle. Dies sollte bei der Planung, aber vor allem auch bei Umplanungen berücksichtigt werden.
 - Geringe Ramppfahlabstände: Vor allem bei Ton von hoher Plastizität sowie hohem Wassergehalt können Rammarbeiten hohe Porenwasserdrücke erzeugen. Diese verändern den Boden in einem nahezu flüssigen Zustand. Bei einem zu geringen Ramppfahlabstand können die soeben eingerammten Pfähle die Nachbarpfähle nach oben verdrängen.
 - unterschiedliche Gründungsarten: Durch die nicht fachgerechte Verwendung von mehreren Gründungssystemen kann es zu erheblichen Setzungsdifferenzen kommen, wodurch Schäden im Gebäude entstehen können.
 - Lastunabhängige Pfahlanordnung: Durch eine lastunabhängige Pfahlanordnung können sich ebenfalls große Setzungsunterschiede einstellen. Insbesondere bei der Vernachlässigung von veränderlichen Lasten. Weiters können sich auf Grund der Deckenspannrichtung unbelastete und belastete Wände ergeben, zwischen denen sich erhebliche Setzungsdifferenzen ergeben.
 - Haltbarkeit von Holzpfählen: Es zeigte sich, dass Holzpfähle im Süßwasser unterhalb des Grundwasserspiegels eine sehr gute Haltbarkeit besitzen. Die Möglichkeiten der Schädigung von Holzpfählen geht mit fehlender Wassersättigung einher. Erst wenn die Sättigung mit Wasser für mehrere Wochen nicht mehr gewährleistet ist, beginnt der Pilzbefall am Holz und somit zur Zerstörung des Holzes.
 - Betonaggressive Grundwässer: Betonschädliche Grundwässer können Einfluss auf den Pfahlbeton bzw. auf die langfristige Entwicklung der Pfahltragfähigkeit haben. Ernste Schäden entstehen an Pfählen nur bei ungeschützten Pfählen im Grundwasser mit starkem chemischen Angriff in Verbindung mit der Möglichkeit eines starken Ionenaustausches (starke Grundwasserbewegung).
- Ursache Herstellung:
 - Pfahleinschnürung in weichen Böden: Pfahleinschnürung erfolgen oft im Zusammenhang mit dem Ziehen der Bohrrohre. Die Möglichkeit von Einschnürungen wächst mit der geringen Stabilität der Bohrlochwandungen, z.B.: in weichen Böden. Eine weitere Ursache für Einschnürungen in Pfählen könnte die mangelnde Fließfähigkeit des Betons beim Ziehen des Rohres sein. Durch die steife Konsistenz des Pfahlbetons kann dieser beim Ziehen des Rohres mit nach oben gezogen werden, wodurch der umgebende Weichboden sich entspannen kann.

- Frühes Abbinden des Pfahlbetons: entweder wird der angelieferte Beton zu spät eingebracht oder das Ziehen der Bohrröhre erfolgt zu spät. Der nicht mehr plastische Beton ist dann bereits so steif, dass er beim Ziehen der Röhre durch die Mantelreibung an der Rohrwandung mit angehoben wird, ohne wieder zusammen zufließen.
- Stahlpfähle auf Rammhindernissen: Durch Rammhindernisse können die Pfähle von der erforderlichen Solllage abweichen und so können sich zusätzliche Lasten an den Pfahl anhängen bzw. kann die geforderte Endtiefe nicht erreicht werden.
- Kontraktorverfahren: Das Kontraktorverfahren dient vor allem zur Herstellung von Bohrpfählen bei Grundwasser. Der Beton wird mittels Rohr in das Bohrloch des Pfahls eingebracht, dabei wird das Rohr nach oben gezogen und der Beton entweicht am Fuß des Rohres. Durch die höhere Wichte des Betons als Bohrschmand und Wasser, verdrängt er das leichtere Material nach oben. Während des Einstellen des Bewehrungskorbes ist ein Wasserüberdruck im Bohrloch nötig, der größer ist als der des umgebenden Grundwassers. Eine weitere Fehlerquelle ist das Freifallen des Betons bzw. die Entmischung des Betons. Vor dem Beginn der Betonierarbeiten ist noch eine Kontrolle auf mögliche Einbrüche nötig. Einschnürungen und Fehlstellungen im Pfahlschaftbeton sind bei fließfähigem Beton meist auf eine zu geringe Höhe der Betonsäule innerhalb der während des Betonierens gezogenen Bohrröhre oder auf eine Unterbrechung der Betonzufuhr zurückzuführen.
- fehlende Verrohrung: Durch eine fehlende Verrohrung kann der Boden in den Bohrpfahl eindringen. Dies tritt in der Regel dann auf, wenn die Standfestigkeit des Bodens überschätzt wird oder nicht bekannt ist bzw. wenn es technisch nur schwer möglich ist, mit Verrohrung zu arbeiten (schräge Pfähle).
- nicht ausreichend fließfähiger Beton: Es kann vorkommen, dass der nicht fließfähige Pfahlbeton die Bewehrung nicht ungehindert umfließen kann. In Verbindung mit engliegender Bewehrung und einem event. zu früh abbindeten Pfahlbeton zeigen sich Fehlstellen sowie freiliegende Pfahlbewehrung.
- Bohren ohne vorausseilende Verrohrung: Eine vorausseilende Verrohrung dient zur Verhinderung von unter die Bohrung reichende Auflockerungen während des Bohrvorgangs. Weiters kann sich in Nachbrüchen um den Pfahl außerhalb der Verrohrung Wasser ansammeln. Beim Ziehen der Bohrröhre im Zuge der Betonierarbeiten führen derartige Wasseransammlungen zu Pfahleinschnürungen und Pfahlerweiterungen.
- Beschädigung des Bewehrungskorbes: Zu Beschädigungen bei Bewehrungskörben kann es vor allem beim Transport, beim Einbau sowie bei Rammarbeiten für Ortbetonrammpfählen kommen, wenn der Beton noch nicht die nötige Festigkeit erreicht hat um die Bewehrung zu stützen. Auch sollten die Bewehrungskörbe ausreichend steif sein.
- Fehlende Pfahlbewehrung: Bei Pfählen mit durchgehender Bewehrung muss der Korb verlängert werden, falls die Pfahlbohrung über die Solltiefe hinaus tiefgeführt werden muss, oder die Bewehrung ist während des Betonierens bis zum Erstarren des Betons auf Solllage zu halten, damit der Pfahl im Kopfbereich die vor allem dort benötigte ausreichende Biegebewehrung besitzt. Wenn die Pfahlbewehrung planmäßig

erst nachträglich eingebracht wird, wie z.B.: bei Schneckenbohrpfählen, ist besonders auf die korrekte Lage des Bewehrungskorbes zu achten. Abweichungen oder ein großer Widerstand beim Einbringen auf Solltiefe können ein Indiz sein, dass die Bewehrung in den umgebenden Boden ausweicht.

- Falsche Lage der Bewehrung: Die Bewehrung kann, sofern sie nicht gesichert ist, mit dem Bohrrohr mitgezogen werden, d.h. sie liegt zu hoch. Dies kann durch ein zu großes Zuschlagskorn, durch Bohrgut oder durch Sedimentation von Feinteilen vor der Betoneinbringung, geschehen, die einen Kraftschluss zwischen Bewehrung und Bohrrohr bewirken. Ein Absinken der Bewehrung ist ebenfalls möglich. Dies kann einerseits am Aufsprengen des Bewehrungskorbes durch plötzlichen Einbringen des Betons aber auch an einer ungewollten Verformung des Bewehrungskorbes liegen.

Zusätzlich sind noch zu erwähnen:

- Während der Bauphase⁶⁹:
 - Abweichungen von der Solllage/Vertikalen, Vermessungsfehler,
 - Hydraulischer Grundbruch (Bohren unter Wasserauflast),
 - Sedimentation von feinkörnigem Material im Bohrloch (nach dem Ausheben),
 - Nachbruch von Bodenmaterial in nicht gestützten Bohrlöchern bei zu schnellem Rohrziehen,
 - Rammabweichungen bei Rammpfähle.
- Während der Nutzungsphase:
 - Verlust der Standsicherheit:
 - * Grundbruch,
 - * Geländebruch,
 - * Bruch in der tiefen Gleitfuge,
 - * Knicken der Pfähle bei geringer Seitenhaltung.
 - Verlust der Gebrauchstauglichkeit,
 - Überschreiten der maximal zulässigen Setzungen und Verformungen,
 - Mangelnde Dichtigkeit:
 - * zufolge falscher Betonrezeptur,
 - * zufolge Bohrneigungsabweichungen bei überschnittenen Pfahlwänden.
 - Korrosion der Bewehrung durch fehlende bzw. mangelnde Betonüberdeckung.

Schäden durch Pfahlarbeiten ähneln insbesondere bei Rammpfählen deren einer Spundwand auf Grund der identen Art der Herstellungsweise. Bei Bohrpfählen sind die Schäden annähernd gleich wie bei Schlitzwänden.

⁶⁹ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 74f.

4.7.5 Schmalwandverfahren

Beim Schmalwandverfahren wird ein Stahlprofil (I-Profil) in den Boden gerammt und beim Ziehen des Profils wird dieser Hohlraum mit Zementsuspension verfüllt. Dabei wird mittels der Flansche ein Übergreifen der Profile erzielt um so eine Dichtwand zu erzielen. Die Hauptfunktion einer Schmalwand ist das Abdichten bei Grundwasserströmungen. Das Haupteinsatzgebiet liegt bei der Sanierung bestehender Abdichtsystemen (z.B.: Sanierung von Dammkernen) oder bei der Neuerrichtung von Abdichtungen (z.B.: Abdichtungen von Deponien).

- Während der Bauphase⁷⁰:
 - Abweichungen von der Solllage / Vertikalen bzw. der Kubatur der Wand,
 - „Steckenbleiben“ der Bohle (Falls die Eindringgeschwindigkeit für länger als 2 min unter 10 cm/min fällt, sind die Schmalwandarbeiten abubrechen),
 - Pfropfenbildung,
 - Beschädigung der Bohlen bei Rammhindernissen,
 - Suspensionsverlust durch wechselnde Untergrundbedingungen,
 - Mangelnde Einbindung in dichte Schichten.
- Während der Nutzungsphase:
 - Mangelnde Dichtigkeit:
 - * durch Abweichungen von der Solllage bzw. von der Vertikalen,
 - * Verdrängung der Suspension beim Ziehen der Bohlen,
 - * unzureichende Verpressparameter (z.B. Druck),
 - * zufolge Erosion der Dichtwand (bei starken Grundwasserströmungen).

Schäden durch Schmalwandarbeiten sind denen von Spundwandarbeiten ähnlich. Vor allem das Einvibrieren des Profils verursacht ähnliche Schäden wie das Einvibrieren von Spundbohlen.

4.7.6 Tiefreichende Bodenstabilisierung

„Bei der tiefreichenden Bodenstabilisierung wird durch das mechanische Einmischen von Bindemittel ein im Untergrund verfestigter, meist wandartiger Bodenkörper (Dicken von 60 - 100 cm; Tiefe bis max. 25 m) hergestellt.“⁷¹ Dabei wird der anstehende Boden an Ort und Stelle mit dem Bindemittel bzw. -suspension vermengt. Dieser weist in der Regel verbesserte Eigenschaften hinsichtlich Tragverhalten, Verformungsverhalten, Durchlässigkeit oder chemische Beständigkeit auf. Als Bindemittel kommen beispielsweise Kalk, Zement, Gips oder Schlacke zum Einsatz. Grundsätzlich lassen sich die Herstellungsmethoden der tiefreichenden Bodenstabilisierung in zwei Hauptgruppen einteilen, das Nassmisch- und das Trockenmischverfahren ⁷².

⁷⁰ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 87f.

⁷¹ Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 91.

⁷² Vgl. Adam, Dietmar/Szabo, Marek: 11. Bodenverbesserung. In Skriptum Grundbau und Bodenmechanik I. Wien, 2010, S. 47 ff.

Beim *Nassmischverfahren* werden eine oder mehrere Bohrschnecken bis auf die gewünschte Tiefe abgebohrt, danach tritt die Bindemittelsuspension über ein Seelenrohr am Fuß der Schnecke aus. Durch die Drehbewegung und das Auf und Ab der Schnecken wird eine verbesserte Homogenisierung des Bindemittelsuspension-Boden-Gemisches erzielt. Im Bedarfsfall kann die Suspension bereits beim Abbohren als Schmiermittel eingesetzt werden.

Beim *Trockenmischverfahren* wird zunächst das Mischwerkzeug bis auf die erforderliche Tiefe abgebohrt, es folgt eine Auflockerung und eine Zerkleinerung des Bodens bis beim Ziehen des Werkzeuges am Fuß mit Hilfe von Druckluft Bindemittel eingeblasen wird, das sich mit dem Boden vermischt und mit Hilfe des Bodenwassers abbindet. Demnach ist die Voraussetzung für das Trockenmischverfahren ein hoher Wassergehalt des zu verbesserten Bodens.

Die zu erwartenden Schäden betreffen:

- Während der Bauphase⁷³:
 - Abweichungen von der Solllage / Vertikalen,
 - Mangelnde Überlappung der Lamellen,
 - Mangelnde Durchmischung des Wandkörpers.
- Während der Nutzungsphase:
 - Verlust der Standsicherheit:
 - * Grundbruch,
 - * Geländebruch,
 - * Bruch in der tiefen Gleitfuge.
 - Verlust der Gebrauchstauglichkeit:
 - * Überschreiten der maximal zulässigen Setzungen und Verformungen.
 - Mangelnde Dichtigkeit:
 - * zufolge einer falsch abgestimmten Bindemittelzugabe,
 - * zufolge unzureichender Durchmischung mit dem Untergrund,
 - * zufolge fehlender oder mangelhaft ausgeführter Überlappung der einzelnen Lamellen,
 - * zufolge Erosion (bei stark strömendem Grundwasser).

Schäden durch eine tiefreichende Bodenstabilisierung entsprechen i.A. jenen des Bohrpfahlverfahrens, event. könnte ein Suspensionsverlust zu nicht gewünschten Abdichtungen führen oder in benachbarten Hohlräumen eindringen (z.B.: Kanal, Keller).

4.7.7 Tiefenrüttelverfahren

„Bei dem Verfahren der Tiefenrüttelung wird mit einem am Bagger hängenden Rüttелеlement von der Geländeoberfläche aus eine Baugrundverbesserung vorgenommen. Es wird unterschieden zwischen dem Rütteldruck- und dem Rüttelstopfverfahren.“⁷⁴

⁷³ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 97f.

⁷⁴ Kempfert, Hans Georg/Raithel, Marc: *Bodenmechanik und Grundbau; Teil Bodenmechanik*. Band 1, 1. Auflage. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2007, S. 234.

Das *Rütteldruckverfahren* wird für grobkörnige Böden angewendet. Dabei wird beim Rütteln die Reibung der Körner untereinander zeitweise aufgehoben. Dies kann durch eine Wasserspülung erleichtert werden. Dadurch kann sich der Boden umlagern, die Dichte wird erhöht. Gegenüber dem Ausgangszustand wird der Porenanteil und damit die Zusammendrückbarkeit vermindert und die Scherfestigkeit erhöht. Der entstehende Setzungstrichter wird durch Zugabe von geeigneten Material an der Oberfläche verfüllt.

Beim *Rüttelstopfverfahren*, das für bindige Böden eingesetzt wird, wird zusätzlich mit dem Rüttler geeignetes, grobkörniges Material eingebracht. Durch das erstmalige Absenken des Rüttlers auf die gewünschte Tiefe wird der Boden seitlich verdichtet, danach wird der Rüttler angehoben und das Zugabematerial tritt an der Rüttelspitze über ein Schleusensystem aus. Danach wird das Material durch wiederholtes Auf und Ab des Rüttlers in den umgebenden Untergrund solange verdrängt und verdichtet, bis keine wesentlichen Verdichtung mehr stattfindet oder der Boden kein weiteres Material mehr aufnehmen kann. Es folgen jeweils weitere Verdichtungs Vorgänge in den nächsten Verdichtungslagen, bis so eine Kiessäule hergestellt ist. Weiters kann dem Zugabematerial eine Zementsuspension zugegeben werden, dann spricht man von vermörtelten Stopfsäulen oder Fertigmörtelsäulen. Wenn das Zugabematerial durch Beton ersetzt wird, spricht man von Betonrüttelsäulen.

Bei beiden Verfahren wird ein Raster angewandt, dass bei Bedarf verdichtet werden kann.

- Schäden bei Rüttelstopfverdichtung⁷⁵:
 - Mangelnde Koordination (Statiker, Architekt, Baugrundsachverständiger),
 - Ungenügende Baugrunderkundung,
 - Ungeeigneter Boden (Torf, breiige Schichten etc.),
 - Schottersäulenlänge zu gering,
 - Schottermenge zu gering,
 - Zu schnelles Ziehen des Rüttlers,
 - Belastung der Säulen zu hoch, z.B. durch eine Erhöhung der Bauwerklasten,
 - Fehler im Schottersäulenplan,
 - Änderung der Gebäudeanordnung,
 - Vermessungsfehler.

- Während der Bauphase⁷⁶:
 - Risiko der Bodenverflüssigung (Standicherheit der Geräte),
 - Abweichungen von der Solllage (Vertikal),
 - Qualitätsmängel des Zugabematerials (Korngrößenverteilung, Suspensions- und Betonrezeptur),
 - Schäden an benachbarten Gebäuden, Bauwerken und Versorgungsleitungen zufolge induzierter Schwingungen,

⁷⁵ Hilmer, Klaus: Kap. Flachgründungen von Klaus Hilmer. In: Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, S. 29.

⁷⁶ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 110.

- Durch Ausziehen des Tiefenrüttlers möglicher Nachbruch des Bodens.
- Während der Nutzungsphase:
 - Verlust der Gebrauchstauglichkeit,
 - Ausbauchung der Säulen bei axialer Belastung durch mangelnden, seitlichen Widerstand im Baugrund (bei weichem Untergrund),
 - Überschreiten der maximal zulässigen Setzungen (z.B. durch zu unzureichende Materialzugabe).

Schäden durch Tiefenrüttelverfahren können durch die Vibrationen auftreten, die durch den Rüttler entstehen. Auch sind Schäden an Einbauten möglich die während des Arbeitsprozesses entstehen können, sowie Schäden an Nachbargebäuden durch die Vibrationen oder durch Geräteanprall.

4.7.8 Düsenstrahlverfahren

Mittels des Düsenstrahlverfahren (DSV, auch Hochdruckbodenvermörtelung genannt) lassen sich durch das Vermischen von geeignetem Bodenmaterial und Suspension verfestigte Erdkörper herstellen. Dies geschieht in dem von einem Bohrgestänge aus der Untergrund aufgeschnitten und eine Zementsuspension eingebracht wird, die sich mit dem Boden verbindet und so ein fester Körper aus Bodenmaterial und Zement entsteht. Die Einsetzbarkeit für dieses Verfahren reicht von der Erzeugung von Abdichtungen bis hin zur Herstellung von Unterfangungskörpern.

Bei der Herstellung können je nach vorliegendem Untergrund und geometrischen Verhältnissen folgende Verfahren angewandt werden. Diese unterscheiden sich durch die Anzahl der verwendeten Medien und Austrittsöffnungen an der Düse wie folgt⁷⁷:

- Beim *1-Phasensystem* (sog. Simplexverfahren) wird beim Abteufen des Bohrgestänges mit Düsenträger und Bohrkronen durch die Bindemittelsuspension gestützt und gleichzeitig das gelöste Bohrgut gefordert. Ist die Solltiefe erreicht, wird vom Spüldruck (ca. 100-250 bar) auf den Düsenstrahlbetrieb (bis zu 600 bar) umgeschaltet und durch den Suspensions-schneidstrahl der umgebende Boden erodiert bzw. gelöst, das Bohrgestänge wird dabei gezogen und/oder gedreht. Der aus dem Ringraum austretende Rücklauf wird laufend angepumpt und wenn möglich wiederverwendet.
- Beim *2-Phasensystem* (sog. Duplexverfahren) wird im Gegensatz zum 1-Phasensystem eine adaptierte Düsenvorrichtung verwendet. Dabei handelt es sich einerseits um eine um die Suspensionsdüse angebrachte Ringdüse für Druckluft. Dieser bündelt den Suspensionsstrahl um so die Reichweite und Erosionskraft zu erhöhen. Eine andere Möglichkeit ist die Anordnung einer Hochdruckwasserdüse über der eigentlichen Suspensionsdüse. Der obere Wasserstrahl dient zum Aufschneiden des Bodens, während der untere Niederdrucksuspensionsstrahl den erodierten Bodenbereich verfüllt.
- Beim *3-Phasensystem* (sog. Triplexverfahren) werden die zwei Verfahren des 2-Phasensystems vereint. Der Düsenträger umfasst Düsen auf zwei Ebenen. Aus der oberen Ringdüse tritt

⁷⁷ Vgl. Adam/Szabo (2010), S. 45f.

ein mit Druckluft umhüllter Hochdruckwasserstrahl zum Erodieren des Bodens aus und aus der unteren Düse die Suspension unter niedrigeren Druck.

Probleme beim Düsenstrahlverfahren sind unter anderem:

- Während der Bauphase⁷⁸:
 - Einengung oder Verstopfung des Ringraumes um das Bohrgestänge können Schwankungen im Erosionsprozess verursachen und den Aktionsradius des Düsenstrahles eingrenzen.
 - Abweichung von den planmäßigen Verfahrensparametern: Eine ungünstige Kombination der stark streuungsbehafteten Verfahrensparameter kann Fehlstellen begünstigen.
 - Abweichungen von den planmäßigen Abmessungen,
 - Abweichungen von der Solllage,
 - Fehlstellen des Düsenstrahlkörpers („Düsschatten“) infolge von Hindernissen im Baugrund (Findlinge, Fundamentreste, etc.),
 - Unzulässige Setzungen bei der Herstellung von Unterfangungen durch verminderte Tragfähigkeit der frischen Säulen (Abhilfe: Pilgerschrittverfahren),
 - Qualitätsmängel der Bindemittelsuspension,
 - Wasseransammlungen beim Verfahrensprozess: Wasseransammlungen führen zu einer Beeinträchtigung des Wasser-Bindemittel-Faktors und wirken sich festigkeitsmindernd aus.
- Während der Nutzungsphase:
 - Mangelnde Festigkeit des DSV-Körpers: Im Untergrund vorhandene Einschlüsse, wie z.B. Holz, können festigkeitsmindernde Auswirkungen auf den Düsenstrahlkörper bewirken bzw. Wasserwegigkeiten verursachen.
 - Mangelnde Dichtigkeit des Körpers (z.B. durch mangelnde Überschneidung der einzelnen Elemente).

Schäden durch DSV-Arbeiten können unter anderem folgendes umfassen: ungewollte Hebungen (zu hoher Druck) oder Setzungen (zu langsames Aushärten), Eindringen von Suspension in Nachbargebäude und Einbauten wie z.B.: Kanäle oder Keller.

4.7.9 Injektionen

Injektionen dienen zum Auffüllen von Hohlräumen im Untergrund um entweder eine verfestigende, abdichtende oder eine baugrundverbessernde Funktion zu erreichen. Zu den gängigsten Injektionsmittel zählen Zement, Kunstharze oder Gele. Zuerst wird ein Bohrloch hergestellt, danach wird das Injektionsmittel in das Bohrloch gepumpt, gegebenenfalls wird das Injektionsrohr durch sog. Packer verschlossen. So können ganz bestimmte Bereiche mit bestimmten Injektionsdrücken beaufschlagt werden. Voraussetzung für jede Injektion, außer Aufsprenginjektionen, ist

⁷⁸ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 123.

das Vorhandensein von Hohlräumen oder Poren im Untergrund, in denen sich die Wirkstoffe der Injektion dauerhaft ablagern können. Injektionen lassen sich unterscheiden in⁷⁹:

- *verdrängungsfreie Injektionen*. Diese dienen zum Verfüllen von Poren, Klüften oder Hohlräumen. Der aufgebrachte Injektionsdruck muss aber so gering sein, um eine nennenswerte Verformung des Bodens zu vermeiden. Durch die Verfüllung des Porenraumes wird das Korngerüst des Bodens verkittet, die Scherfestigkeit dadurch erhöht und die Zusammendrückbarkeit vermindert. Die Struktur des Korngerüsts bleibt jedoch weitgehend erhalten.
- *Verdrängungsinjektionen bzw. Verdichtungsinjektionen*. Hier wird zunächst durch das eingebrachte Injektionsgut der Bohrlochhohlraum verfüllt, danach wird zufolge eines Überdruckes der Boden seitlich konsolidiert.
- Bei *Aufbrech- bzw. Hebungsinjektionen* bilden sich in Folge des aufgebrachten Druckes Risse und Spalten im Boden aus, in denen sich das Injektionsmittel konzentriert absetzen kann. In der ersten Phase der Injektion, bricht der Boden normal zur kleinsten Normalspannung auf, die Suspension dringt lamellenförmig in den Boden ein. Die räumliche Struktur der Suspension passt sich an den Spannungszustand an und die Lamellen orientieren sich zu Ende des Prozesses mehr in horizontaler Richtung. Durch diese Verpressvorgänge wird der Boden konsolidiert bzw. verdichtet. Ab einem gewissen Verdichtungszustand, zufolge der Aufbrechwirkung der Lamellen, kommt es zu einer Hebung des Untergrundes. Diese Hebungen lassen sich über Druck und Menge des Verpressmittels gezielt steuern. Daher kann dieses Verfahren zur Gründungssanierung angewandt werden. Auch können so bestimmte Bauwerkssetzungen rückgängig gemacht werden

Schäden bei Injektionsarbeiten können umfassen:

- Während der Bauphase⁸⁰:
 - Abweichungen von den planmäßigen Abmessungen (Reichweite),
 - Abweichungen von der Solllage,
 - Sedimentation der festen Partikel einer instabilen Suspension,
 - Wasseransammlungen beim Verfahrensprozess,
 - Unbeabsichtigtes Aufsprengen des Untergrundes durch zu hohen Verpressdruck,
 - Verlust des Injektionsmaterials durch das Auffahren von unbekanntem Hohlräumen (z.B.: alter Kanal).
- Während der Nutzungsphase:
 - Mangelnde Festigkeit des Injektionskörpers (z.B.: durch Wasserzutritt verursacht),
 - Mangelnde Dichtigkeit des Injektionskörpers.

Schäden durch Injektionsarbeiten können unter anderem Folgendes umfassen z.B.: nicht beabsichtigte Hebungen, Aufsprengen von dichten Gefügen im Untergrund oder von Beton durch zu hohen Injektionsdruck.

⁷⁹ Vgl. Adam/Szabo (2010), S. 41ff.

⁸⁰ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 139.

4.7.10 Nägel, Anker, Spritzbeton

Nägel, Anker

Anker dienen als Hilfsmaßnahmen zur Stützung von Spezialtiefbaumaßnahmen (z.B.: verankerte Baugrubenverbauten), aber auch als eigene Maßnahme z.B. zur Stützung von Geländesprüngen. Für unterschiedliche Anwendungen und Böden gibt es unterschiedliche Typen von Ankern. Die prinzipielle Herstellung bleibt jedoch fast gleich und umfasst folgende Schritte: Bohren, Anker einbauen, Verpressen, event. Vorspannen. Anker besitzen meist nur auf einer Teilstrecke (am Ende des Ankers) einen Verbundkörper mit dem Boden (sog. Haftstrecke). Dadurch kann das Zugglied am Ankerkopf vorgespannt und der Anker unmittelbar nach der Herstellung zum Tragen herangezogen werden. Anker können mit einer Länge bis ca. 120 m ausgeführt werden.

Nägel werden im Unterschied zu Ankern nicht oder nur gering vorgespannt und besitzen auf der ganzen Länge im Boden oder Fels in einem Verpresskörper liegende Zugglieder. Sie dienen vor allem zur Böschungssicherung und bilden mit dem umgebenden Boden einen Stützkörper der erdstatisch bemessen wird. Nägel im Untergrund können in Längen bis ca. 35 m ausgeführt werden. Ihre Wirkung wird erst durch entsprechende Verformungen mobilisiert. Vor allem bei dauerhafter Bodenvernagelung ist dem Korrosionsschutz der Nägel besonderes Augenmerk zu schenken.

- Während der Bauphase⁸¹:
 - Schäden durch nicht fachmännischen Einbau:
 - * Beschädigung des Korrosionsschutzes,
 - * Schäden durch zu hohe Verpressdrücke (z.B. Eindringen von Verpressmaterial in benachbarte Bereiche oder Hohlräume, Anheben von Gebäudeteilen durch zu hohen Verpressdruck),
 - * Mangelnde Überdeckung des Zuggliedes,
 - * Anbohren von Leitungen (Versorgungs- und Entsorgungsleitungen, Nachbarbebauung).
- Während der Nutzungsphase:
 - Versagen des Ankers infolge Beanspruchung (Zugbeanspruchung, Beanspruchung durch Querkräfte, Verdrehung am Ankerkopf),
 - Ankerkraftverlust infolge Kriechen und/oder Relaxation oder durch mangelhaften Verbund des Verpresskörpers mit dem Untergrund,
 - Versagen oder übermäßige Verformung von Bauwerksteilen infolge der aufgetragenen Ankerkraft,
 - Korrosion der Stahlzugglieder und/oder des Ankerkopfes,
 - Schäden an Ankerteilen durch aggressive Stoffe im Untergrund (sulfathaltige, kohlenstoffhaltige oder salzhaltige Wässer),
 - Schäden durch konstruktive Mängel (z.B. mangelhafte Abstimmung der Ankerkomponenten).

⁸¹ Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 155f.

Spritzbeton

Spritzbeton ist pumpfähiger Beton (Trocken- oder Feuchtgemisch), der über Schlauch- oder Rohrleitungen zur Spritzdüse gefördert und, je nach Verfahren dort mit Wasser gemischt und auf die Einbaustelle aufgespritzt wird. Durch den Aufprall verdichtet sich der Beton weitgehend und erhärtet an der Einbaustelle. Spritzbeton wird meist in Kombination mit Baustahlmatten als Bewehrung eingebaut und kann nur oberhalb des Grundwasserspiegels eingesetzt werden. Die Spritzbetonstärke variiert üblicherweise von ca. 5 - 35 cm. Wesentlich ist, dass die Spritzbetonschale mit Löchern durchsetzt wird, um den Aufbau von Wasserdrücken (Hangwasser etc.) auf die Spritzbetonschale zu vermeiden. Spritzbeton dient zur Herstellung eines Stützkörpers (in Verbindung mit Nägeln) oder zur Oberflächenversiegelung als Bauhilfsmaßnahme. Es wird zwischen zwei Herstellungsverfahren unterschieden dem Nassspritzverfahren und dem Trockenspritzverfahren. Beim Trockenspritzverfahren werden Zement und Zuschlagstoffe trocken zusammengemischt und in einem Druckluftstrom zu einer Düse befördert. Im Düsenbereich wird dem Trockengemisch das nötige Anmachwasser beigegeben, und anschließend in einem ununterbrochenen Strahl aufgetragen. Beim Nassspritzverfahren werden Zement, Zuschlagstoffe und Wasser zusammengemischt und mittels einer Mörtelpumpe zu einer Spritzdüse befördert, von wo aus die Mischung mittels der in der Düse zugegebenen Druckluft zerstäubt und aufgetragen wird.

Schäden beim Spritzbetonverfahren sind⁸²:

- Während der Bauphase:
 - Abweichungen von den planmäßigen Abmessungen und Stärke der Spritzbetonschicht,
 - hoher Rückprall durch ungünstige Spritzparameter.
- Während der Nutzungsphase:
 - Ablösungserscheinungen beim Auftragen des Spritzbetons durch mangelhaften Verbund mit dem Untergrund oder zwischen den einzelnen Schichten,
 - Mangelhafte Entwässerung hinter der Spritzbetonsicherung.

4.8 Nach Sphären

Unter den Sphären versteht man die Beteiligten eines Bauvertrages. Diese sind vereinfacht und in der Regel der Auftraggeber des Bauwerkes, der Planer des Bauwerkes sowie der Auftragnehmer, der das Bauwerk baut. In weiterer Folge werden diese Vertragsverhältnisse noch durch den Einsatz von Subunternehmen, Professionisten oder Detailplanern wie z.B. für die Haustechnik erweitert. In den Bauverträgen wird geregelt was der AN dem AG schuldet, d.h. welche Leistung er erbringen muss. Diese Leistung sollte natürlich in den Bestandteilen des Bauvertrages genau beschrieben werden (z.B.: Leistungsverzeichnis, Ausführungspläne etc.). In einem Vertrag kann alles vereinbart werden, was rechtlich nicht verboten ist, bzw. gegen die „Guten Sitten“ verstößt. Für weitere rechtliche Fragen siehe Kapitel 3. Auch kann die Ursache für Schäden außerhalb des Bauvertrages liegen so z.B. bei Höherer Gewalt wie Überschwemmungen oder Lawinen.

⁸² Vgl. Brandl/Jodl/et.al. (2005), S. 156f.

4.8.1 Auftraggeber

Zur Sphäre des Auftraggeber gehören die Planung eines Bauwerkes sowie die Nutzung des Bauwerkes. Die Planung wird i.A. auf Grund rechtlicher Vorgaben, Kapazitätsgründen, mangelnder Fachkenntnisse oder aus Haftungsfragen einem Planer übergeben. Der AG stellt dem AN auch Baustoffe zur Verfügung, dazu zählen unter anderem Baupläne und der Baugrund. Somit trägt der AG in letzter Konsequenz das Baugrundrisiko (abgesehen von vertraglichen Sonderlösungen zu diesem Thema). Dementsprechend werden alle Schäden der Sphäre des AG zugeordnet, die dieser zu verantworten hat. Hierzu gehören z.B.: Fehler in der Ausschreibung wie eine unklare Leistungsbeschreibung, mangelnde Baugrunduntersuchung auf Grund von Einsparungen aber auch ungenaue Zielvorgaben für die Planung.

4.8.2 Planer

Zum Aufgabenbereich eines Planer zählt, eine genaue und umfassende Planung gemäß den Vorgaben des Auftraggeber zu liefern. Somit gehören alle Schäden die auf Grund einer schlechten Planung entstehen, in die Sphäre des Planers. Dazu zählen z.B.: Fehldimensionierungen die zu Schäden führen oder Fehlplanungen, d.h. es wurde für die anstehende Aufgabe das falsche Spezialtiefbauverfahren gewählt.

4.8.3 Auftragnehmer

Die Sphäre des Auftragnehmers umfasst i.A. die Bauausführung. Somit fallen Schäden oder Fehler die ihre Ursache in der Bauausführung haben, in die Verantwortung des AN. Naturgemäß kommt es erst durch die Bautätigkeit zu physischen Schäden und Fehlern, die zu wirtschaftlichen Schäden führen können. Somit ist eine genaue Abgrenzung der Schadensursache und eine genaue Zuordnung zu den Sphären notwendig, sonst würde dies zu einer Überbewertung der Sphäre Auftragnehmer führen. Zu den Fehlern und Schäden der Sphäre AN gehören z.B.: Schäden die auf Grund einer falschen Bauablaufplanung entstehen wie z.B.: das zu frühe Belasten von nicht ausgehärteten Beton.

4.8.4 Neutral

In diese Kategorie fallen alle Schadensursachen, die nicht den anderen Sphären zuordenbar sind. Dazu zählen unter anderem Höhere Gewalt wie z.B.: bei Naturkatastrophen, oder Schäden durch nicht am Bauprozess beteiligte Dritte.

4.9 Schäden durch Spezialtiefbauverfahren

Ein besonders wichtiger Punkt in Zusammenhang Spezialtiefbau und Schäden sind jene Schäden, die durch die verschiedenen Spezialtiefbauverfahren entstehen können. Diese Schäden entstehen vor allem direkt aus der Ausführung der Bautätigkeit selbst. Ihre Ursachen könnten aber auch beispielsweise in mangelhaften Voruntersuchungen seitens des Planers oder des AG liegen. Schäden durch Spezialtiefbauverfahren können unter anderem entstehen an:

- *Ver- und Entsorgungsleitungen, ober- und unterirdisch.* Durch eine unbekannte oder ungenaue Lage dieser Einbauten, aber auch durch eine Abweichung von der Sollage des

Spezialtiefbaues, können durch die Bauarbeiten diese Leitungen beschädigt oder gar zerstört werden. Weiters ist eine Beschädigung von oberirdisch laufenden Leitungen durch teilweise unachtsames Arbeiten mit hohen Auslegern möglich. Aber auch das Eindringen von Suspension oder Injektionsmittel kann eine Beschädigung der Leitung hervorrufen.

- *Infrastrukturbauten wie Straßen oder Eisenbahn.* Neben einem Anbohren (z.B.: Anker- oder Schlitzwandarbeiten) oder Rammen (z.B.: Spundwand- oder Schmalwandverfahren) von Straßen- oder Eisenbahntunnel sind hier besonders Setzungen (z.B.: ein zu weicher Baugrubenverbau gibt nach) oder Hebungen (zu hoher Injektionsdruck), die durch Spezialtiefbauverfahren entstehen können, zu erwähnen.
- *Nachbarbebauung.* Schäden an der Nachbarbebauung können durch alle Spezialtiefbauverfahren auftreten. Denkbar wäre, dass durch Abweichungen von der Sollage, Schäden an der Nachbarbebauung entstehen z.B.: Ramm- oder Bohrarbeiten, wenn diese das Fundament oder die Kellermauern durchdringen. Weiters können durch Vibrationen der Spezialtiefbauarbeiten z.B.: durch die Tiefenverdichtungsverfahren, diese benachbarten Bauwerke in der Nutzung oder gar in der Standfestigkeit beeinträchtigt werden. Ebenfalls ist ein Anprall von Baufahrzeugen oder von Lasten wie Bewehrung oder Steifen als Schadensursache denkbar. Weiters sind Schäden durch das Eindringen von Suspensionen oder Injektionsmittel in Kellern möglich. Ebenso können durch Tiefbauarbeiten ungewollte Setzungen oder Hebungen hervorgerufen werden, die wiederum Schäden an der Nachbarbebauung verursachen können. Die Schäden an der Nachbarbebauung sind besonders kostenintensiv.
- *natürliche Umgebung.* Neben nicht beabsichtigten Änderungen an der Oberfläche, durch Setzungen oder Hebungen, können ungewollte Abdichtungen, durch sich verlaufende Suspensionen oder Injektionsmittel, als Schaden ausgelegt werden.

5 Sanierungsmethoden

Ziel einer Sanierungsmethode kann es nur sein, die angestrebte Funktion der Spezialtiefbau-maßnahme wieder zu erreichen. Dies kann entweder mit dem gleichen Spezialtiefbauverfahren geschehen oder der Schaden wird gezielt mit einer anderen Methode saniert. Weiters vorstellbar wäre auch eine Änderung im Konzept bzw. größere Umplanungen des Spezialtiefbaues, um so die angestrebte Funktionen, die durch einen Schadensfall nicht erreichbar sind, wieder zu erreichen. Da die Sanierungsmethoden stark von der Schadensart und den Schadensursachen abhängen, kann es keine vollständige Aufzählung aller möglichen Sanierungsarten geben. Auch spielen die Kosten oder der Zeitdruck eine Rolle bei der Wahl der Sanierungsmethode. Weitere Auswahlkriterien sind der Platzbedarf, die Möglichkeiten der Baustelleneinrichtung oder die Verfügbarkeit.

Ein reiner wirtschaftlicher Schaden ließe sich auch durch einen finanziellen Ersatz beseitigen, da es somit keinen Nachteil für den Geschädigten gibt. Natürlich wäre dies nur im geringeren Umfang sinnvoll, denn die eigentliche Nutzung des Spezialtiefbau muss möglich sein.

Ähnlich wie in Kapitel 4 kann man die Sanierungsmethoden wie folgt einteilen.

5.1 Nach der angestrebten Funktion

Bei der Einteilung der Sanierungsmethoden nach der angestrebten Funktion wird versucht, jene Methoden wiederzugeben, die bei einem Schadensfall dazu führen, dass das Spezialtiefbauwerk wieder die angestrebte Funktion erreichen kann. Auf Grund der Vielzahl von Möglichkeiten werden hier nur prinzipielle Vorgehensweisen wiedergegeben. Für alle Maßnahmen gilt, dass für die Sanierung entsprechende Untersuchungen (z.B.: bodenphysikalische Untersuchungen) hinsichtlich Eignung der Sanierung, Machbarkeit (z.B.: Rammbarkeit von Böden) sowie baustatische und erdstatische Bemessungen bzw. Berechnungen vorliegen und eine Durchführbarkeit der Maßnahme gegeben ist.

5.1.1 Gründung

Um Schäden oder Fehler an Gründungen zu sanieren, können diese einerseits durch die Beibehaltung des bestehenden Konzeptes saniert werden (z.B.: bei Schäden an Pfahlgründungen werden zur Ertüchtigung weitere Pfähle abgeteuft) oder andererseits durch einen Wechsel des Gründungskonzeptes saniert werden z.B.: kann eine DSV-Unterfangung durch Kleinbohrpfähle als Bewehrungselement verstärkt werden.

Ein weiterer Punkt, der bei der Sanierung von Gründungen zu berücksichtigen ist, dass wenn Schäden bemerkt werden, das aufgehende Gebäude meist schon gebaut und in Verwendung sein kann. Deshalb kommen für solche Aufgaben spezielle kleine Maschinen zum Einsatz die z.B.: Kellerräume befahren können. Wenn dies nicht möglich ist, muss von außerhalb des Gebäudes gearbeitet werden.

Weiters kann bei Setzungsschäden z.B.: durch das tiefer Führen der Gründungssohle in eine tragfähige Schicht oder durch das Verbreitern der bestehenden Fundamente, versucht werden, diese zu minimieren oder aufzuhalten. Dieses Vorgehen kann als Setzungsbremse bezeichnet werden und wird auch zur Sanierung von historischer Bausubstanz oder zur Realisierung bei Lasterhöhungen (z.B.: Geschossausbau) verwendet. Sollten die Setzungen ein bestimmtes Maß

überschreiten, kann versucht werden, durch gezielte Hebungsinjektionen das Setzungsmaß wieder zu reduzieren.

5.1.2 Abdichtung

Fehlerhafte oder defekte Abdichtungen können durch Beibehalten des bestehenden Tiefbausystems saniert werden. Dies erfolgt vor allem wenn das Spezialtiefbauwerk die Hauptfunktion einer Abdichtung hat, z.B.: Dichtschirme. So kann bei Leckstellen versucht werden, durch das gezielte Anwenden des Spezialtiefbauverfahrens, je nach Möglichkeit des Verfahrens, diese gezielt zu schließen (z.B.: beim DSV) oder durch Anordnen von Schotten die Leckstelle zu schließen (z.B.: beim Spundwandverfahren). Ebenfalls kann die Sanierung von Leckstellen durch einen Wechsel des Spezialtiefbauverfahrens erfolgen, z.B. durch das Abdichten von undichten Fugen bei Schlitzwänden mittels Injektionen oder durch das DSV. Eine weitere Möglichkeit zur Sanierung der Abdichtungsfunktion wäre, Machbarkeit vorausgesetzt, das Errichten einer wasserdichten Innenschale oder das Anbringen von Dichtfolien. Event. sollte schon bei der Planung die Möglichkeit von Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt werden, wie z.B.: das Einlegen von Injektionsschläuchen in Fugen etc..

5.1.3 Baugrube

Bei der Sanierung von Schäden an Baugrubenverbauten, die mittels Spezialtiefbauverfahren hergestellt werden, ist besonders auf den Platzbedarf der Sanierung zu achten. Dies gilt besonders im verbauten Gebiet. Neben der Sanierung der Baugrube ist die Nachbarbebauung zu beachten, um an dieser keine neuen Schäden zu verursachen. Es ist auch weiters darauf zu achten, dass schnell genug gehandelt wird, um diese Nachbarbebauung nicht zu gefährden. Auch sollten gesetzte Sanierungsmaßnahmen nicht den weiteren Bauablauf stören. Die eigentlich nötige Sanierungsmaßnahme richtet sich natürlich auch nach dem zu sanierenden Bauverfahren.

5.1.4 Bodenverbesserung

Als Sanierungsmöglichkeit bei Schäden der Bodenverbesserung stehen im Grunde zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Eine Variante ist es, die Bodenverbesserungsmaßnahme so oft zu wiederholen, bis der vorhandene Schaden bereinigt ist. Sollte diese Maßnahme nicht zum gewünschten Ziel führen, so ist ein Systemwechsel nötig (z.B.: ein Wechsel von einer Flachgründung auf einer Bodenverbesserung zu einer Tiefgründung).

5.2 Nach Bauverfahren

Die Wahl des Sanierungskonzeptes in Zusammenhang mit dem Bauverfahren ist natürlich sehr stark von der zu erreichenden Funktion des Spezialtiefbauwerkes abhängig. Somit gibt es zu den einzelnen Bauverfahren auch eine Fülle von Sanierungsmaßnahmen, die entweder eine oder mehrere Funktionen sanieren können. Weiters kann bei den Sanierungsmethoden, zwischen Methoden wo das Bauverfahren beibehalten wird, oder ob es einen Wechsel beim Bauverfahren gibt, unterschieden werden. Z.B.: könnte eine undichte Spundwand durch das Vorsetzen anderer Spundbohlen saniert werden oder durch den Einsatz des Düsenstrahlverfahrens könnte gezielt eine Leckstelle saniert werden. Außerdem ist die Schwere des Schadens zu berücksichtigen. So

können bei geringfügigen Schäden, wie z.B.: bei Verformungen von Verbauelementen diese durch das Anordnen von neuen Steifen oder Anker zurückgehalten werden oder sogar wieder in Form gebracht werden. Bei leichten Schäden könnten diese, je nach Möglichkeit, lokal repariert, ausgebessert oder verbessert werden. Bei schweren Schäden bzw. bei Totalschäden wäre natürlich das Bauwerk wieder neu zu errichten.

Deshalb können im Folgenden nicht alle möglichen Sanierungsmaßnahmen vorgestellt werden, sondern es kann hier nur eine kurze Zusammenfassung sowie einen Systemeinblick in die Sanierungsmöglichkeiten geben. Es wird die etwaige Machbarkeit vorausgesetzt, selbst wenn diese erst durch andere Zusatzmaßnahmen möglich werden (z.B.: durch Wasserhaltung).

5.2.1 Spundwandverfahren

Um Schäden an Spundwandbauwerken zu sanieren, können z.B.: durch Korrosion beschädigte oder defekte Spundbohlen, ausgetauscht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Sanierung von Spundwandbauwerken ist zusätzliche Spundbohlen abzuteufen, um Fehlstellen abzufangen oder auszubessern. Sollte es nötig sein, kann z.B.: mittels einer zweiten Spundbohlenreihe, die mit Ankern verbunden sind, ein Block erstellt werden, einen sog. Fangedamm. Dieser Fangedamm übernimmt die Kraftableitung der einzelnen Spundwand in den Untergrund. Bei Umspülung der Spundwand kann es auch helfen, die Spundwand tiefer zu führen, um besagte Umspülung abzudichten. Abhilfe bei Verformungsschäden kann es durch das Setzen von neuen Ankern oder Steifen geben, um so ein Fortschreiten des Versagens zu verhindern oder sogar wieder zurück zu stellen. Es ist natürlich auch möglich das Bauverfahren zu wechseln, um die gewünschte Funktion des Spezialtiefbaues wieder zu erreichen.

5.2.2 Schlitzwandverfahren

Zur Sanierung bei Schlitzwänden oder Schlitzwandelementen kann folgendermaßen vorgegangen werden. Kleinere Fehlstellen werden durch örtliches Ausbessern z.B.: durch konventionelle Baumeisterarbeiten verbessert. Sollten größere Bereiche oder Abschnitte betroffen seien, so können diese z.B.: durch das Düsenstrahlverfahren saniert werden. Es ist auch der Einbau von zusätzlichen Ankern oder Steifen denkbar, die z.B.: die Momentenlinie beeinflussen. Nachträglich in Hauptrichtung eingebaute Vorspannanker beeinflussen einerseits die Spannungen im Schlitzwandelement. Andererseits wird durch das Tieferführen der Vorspannanker unter die Schlitzwand zusätzliche Haftstrecken aktiviert, um so z.B.: nicht berücksichtigte Zugkräfte aufnehmen zu können. Die Errichtung einer tragfähigen Innenschale ist eine weitere Möglichkeit, entstandene Schäden zu sanieren. Weiters kann die Innenschale, bei entsprechender Ausführung, auch zum Abdichten von Leckstellen verwendet werden. Lokale undichte Stellen (z.B.: bei Fugen) können auch durch gezielte Injektionen abgedichtet werden. Weiters ist ein Wechsel des Bauverfahrens denkbar.

5.2.3 Pfähle

Bei den Sanierungsmaßnahmen für Pfähle gilt im Grunde ähnliches wie beim Schlitzwandverfahren.

5.2.4 Schmalwandverfahren

Da die Hauptaufgabe der Schmalwand die Abdichtung ist, richten sich somit auch die Sanierungsmaßnahmen in Richtung Abdichtung. In Frage kommen lokale Maßnahmen wie gezieltes Injizieren von Leckstellen aber auch großflächige Maßnahmen wie das Errichten einer Ersatzwand oder von Schotten. Auch ein Wechsel des Bauverfahrens, z.B.: auf das Düsenstrahlverfahren ist denkbar.

5.2.5 Tiefreichende Bodenstabilisierung

Als Sanierungsmaßnahmen bei der tiefreichenden Bodenstabilisierung können verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Bei der Verwendung als Bodenverbesserung ist unter anderem folgendes möglich. So kann einerseits eine nochmals gesetzte Bodenverbesserungsmaßnahme (ohne oder mit Anpassung des Rasterabstandes) im betroffenen Bereich das Problem lösen oder es folgt ein Wechsel auf ein anderes Gründungssystem, z.B.: kann eine Tiefgründungsmaßnahme einen nicht stabilisierten Bereich überbrücken. Bei der Verwendung als Baugrubenverbau kann es helfen, wenn, wie unter Punkt 5.2.1 oder Punkt 5.2.2 bereits erwähnt, zusätzliche Anker oder Steifen eingebaut werden. Das Einbringen von Stahlprofilen als Bewehrungselement, falls nicht von Beginn an vorgesehen, erhöht die Tragfähigkeit. Auch hier ist wieder ein Wechsel des Spezialtiefbauverfahrens möglich.

5.2.6 Tiefenrüttelverfahren

Beim Tiefenrüttelverfahren als Bodenverbesserungsmaßnahme kann eigentlich nur durch nochmaliges Bearbeiten des betroffenen Bereiches saniert werden. Dies kann durch Beibehaltung des Rasters oder durch Änderung des Ausführungsrasters (z.B.: durch Anpassen an lokale Fehlstellen) erreicht werden. Sollten diese Maßnahmen nicht greifen, so bleibt meist nur mehr ein Wechsel auf ein anderes Tiefbausystem.

5.2.7 Düsenstrahlverfahren

Bei Fehlern beim Düsenstrahlverfahren wird i. A. versucht diesen durch nochmaliges Abbohren und Düsen zu verbessern. Ein nachträgliches Tieferführen von DSV-Wänden oder von Abdichtungen ist ebenfalls möglich. Um nachträglich die Widerstandsfähigkeit gegen Biegen zu verbessern, können Kleinpfähle oder Anker als Bewehrungselement in einen DSV-Körper eingebracht werden. Weiters gilt wieder, sollten diese Maßnahmen nicht den gewünschten Erfolg haben, bleibt ein Wechsel auf ein anderes Spezialtiefbausystem.

5.2.8 Injektionen

Um die gewünschten Funktionen bei Injektionsarbeiten nach einem Schadensfall wieder zu erreichen, werden vor allem Nachinjektionen angewandt. Das heißt, es wird versucht, durch nochmaliges, gezieltes Injizieren event. Lücken, Fehlstellen oder Lecks zu schließen. Weiters kann versucht werden, die Mischung oder sogar die Art des Injektionsmittels so zu verändern, z.B.: die Fließeigenschaften oder die Abbindezeit, um den entstandenen Schaden zu verbessern.

5.2.9 Nägel, Anker, Spritzbeton

Um Schäden bei Nägel, Anker oder Spritzbeton sanieren zu können, werden bei Ankern und Nägel z.B.: zusätzliche Anker gesetzt oder vorhandene Anker nachgespannt. Ebenfalls kann es nötig sein, neue Ankerköpfe auszubilden, um die Lastableitung in den Anker wieder zu ermöglichen. Dies kann durch reguläre Baumeistertätigkeit erfolgen, aber auch durch das Spritzbetonverfahren. Schäden an Spritzbeton werden meist durch ein einmaliges oder mehrmaliges Nachspritzen saniert. Sollte dies sich als nicht ausreichend erweisen, kann ein Vorsetzen eines konventionellen Verbaus vor der Spritzbetonhaut, die Funktion der Spritzbetonhaut übernehmen.

6 Vermeidungsmöglichkeiten

Im Spezialtiefbau ist das Produkt während der Bauzeit aber auch nach der Fertigstellung nicht oder nur eingeschränkt zu sehen, da sich der größte Teil des Bauwerks unter der Oberfläche befindet. Dadurch werden auch mögliche Fehler verdeckt. Deshalb hat die Ausführung, aber auch die Planung von Spezialtiefbauten, mit großer Sorgfalt zu erfolgen, um die bisher angesprochenen Probleme und Fehler, sowie die Folgekosten für die Wiederherstellung der Funktionen des Spezialtiefbaues, zu vermeiden. Neben wirtschaftlichen und umweltrelevanten Gründen, aber auch rechtlichen Erwägungen, sollten diese jeden Unternehmer darin bestärken, ein wirksames Qualitätssicherungssystem aufzubauen. Unter einem Qualitätsmanagement versteht die ÖNORM EN ISO 9000 aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation bezüglich der Qualität des erzeugten Produktes⁸³. Dies geschieht vor allem durch eine umfangreiche und genaue Vorbereitung der Baustelle und der Spezialtiefbaumaßnahmen. Für diese Vorbereitung und Planung ist eine genaue Kenntnis der Bauverfahren von Nöten, diese kommt durch umfangreiches Fachwissen und ausreichende Erfahrung. Um ein qualitativ hochwertiges Spezialtiefbauwerk herzustellen, sollte auch der Bauherr und die ihn beratenden Ingenieure über entsprechende Qualifikationen verfügen⁸⁴.

Ein weiterer wichtiger Punkt zur Vermeidung von Schäden ist die Analyse der eigenen Fehler, um diese bei zukünftige Baumaßnahmen zu vermeiden. Dazu ist eine detaillierte Aufzeichnung und Analyse der Fehler notwendig. Auch die Durchsicht von Fachliteratur kann helfen, die eigene Planung und Ausführung zu verbessern. Ebenfalls der Kontakt zu Fachkollegen kann helfen, durch Erfahrungs- und Wissensaustausch, neue Problemlösungsansätze zu finden oder Vermeidungsstrategien zu erweitern.

Folgende Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern sind i.A. bei allen Bauverfahren denkbar, ja sogar nötig:

- vor der Bauausführung:
 - Ausreichende Untersuchungen der geologischen, geotechnischen und topographischen Eigenschaften,
 - Detaillierte Planung des Spezialtiefbaues, sowie Vorbereitung möglicher Maßnahmen bei einem Auftreten von Problemen oder Fehlern,
 - Erdstatische Berechnungen und Dimensionierung des Bauwerkes mit ausreichenden Reserven für Problemen oder Fehlern,
 - korrekte Verwendung der Sicherheits- und Kombinationsbeiwerte,
 - Durchführung von Feldversuchen wie Pfahlprobelastungen und Berücksichtigung der Ergebnisse im weiteren Planungs- und Bauverlauf.
- während der Bauausführung:
 - Begleitende Kontrollen und Überwachung des Baufortschrittes,

⁸³ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN ISO 9000 Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*. 12 2005, S. 26.

⁸⁴ Vgl. Maybaum, Georg et al.: *Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009, S. 266.

- Überprüfung von Annahmen seitens der Planung auf deren Gültigkeit,
 - genaue Aufzeichnungen über Produktionsparameter (z.B.: Maschinenleistung), Materialverbrauch (z.B.: Injektionsmittel) und sonst. dem Produktionsprozess betreffende Faktoren (z.B.: Wetter),
 - laufende Kommunikation zwischen AN, AG und Planer.
- nach der Bauausführung:
 - Auswertung der Kontrollen und Aufzeichnungen,
 - sollte tatsächlich ein Fehler auftreten:
 - * Durchführung einer umfangreichen Fehleranalyse mit,
 - * Rückrechnungen und,
 - * Einfließen der Erkenntnisse in zukünftige Planungen.

Mit der Zeit und aus den wiederholten Arbeiten erfahrener Planer, Baufirmen oder Bauherren, sollten standardisierte Abläufe erwachsen, die in firmeneigenen Handbüchern, aber auch Normen und Richtlinien, Eingang finden und somit allen helfen, Fehler und Problem zu vermeiden, und um die meisten bekannten Fehlerquellen auszuschließen. So können z.B.: aus dieser Tätigkeit Regelblätter und Checklisten entstehen, die helfen eine geordnete Aufzeichnung zu führen und die jederzeit für jeden nachvollziehbar sind.

Die nun folgenden Einteilungen der Vermeidungsmöglichkeiten nach der Funktion des Spezialtiefbauwerks und nach dem Bauverfahren geben einen groben Überblick und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

6.1 Nach der angestrebten Funktion

Bei der Ordnung der Vermeidungsstrategien nach der Funktion, steht vor allem die Funktionserhaltung im Vordergrund. Es wird versucht all jene Vermeidungsmöglichkeiten anzugeben, die sich speziell auf die jeweilige Funktion konzentrieren, wobei sich aber die meisten Vermeidungsmöglichkeiten mit Hilfe der Spezialtiefbauverfahren einteilen lassen.

6.1.1 Gründung

Zu den wichtigsten Vermeidungsstrategien bei Gründungen gehören unter anderem die Kontrolle ob alle Lasten berücksichtigt wurden. Bei der Bemessung nach dem neuen Sicherheitskonzeptes ist auch auf die korrekte Verwendung der Sicherheitsbeiwerte und der Kombinationsbeiwerte zu achten. Ein weiteres Beispiel für die Vermeidungsmöglichkeiten von Schäden im Gründungsbe-
reich ist die Durchführung von ausreichenden Probelastungen zur Ermittlung der Tragfähigkeit bei Pfählen oder sonstigen Tiefgründungselementen.

6.1.2 Abdichtung

Um Schadensfälle bei Abdichtungen zu vermeiden, kann z.B. schon in der Planungsphase die Ausführung eines Doppelwandsystems oder das Ausbilden von Schotten vorgesehen werden um

so Leckstellen leichter orten und ausbessern zu können. Weiters kann schon in der Planungsphase davon ausgegangen werden, dass Leckstellen entstehen können und so werden Vorkehrung zur Schließung diese Leckstellen getroffen (z.B.: bei der Fugenausbildung von Schlitzwänden, Injektionsschläuche einlegen). Der eigentliche Fehler wird dadurch zwar nicht vermieden, aber die Funktion bleibt erhalten. Auch können durch Absenkversuche mit der Feststellung der Zuflussrate schon frühzeitig Leckstellen geortet und saniert werden, um die Funktion des Bauwerkes garantieren zu können.

6.1.3 Baugrube

Um Probleme bei Baugrubenkonstruktionen zu reduzieren, sollte es unter anderem zur Einholung von Informationen der Nachbarbebauung kommen. Vor allem eine richtige und umfassende Berücksichtigung der Nachbarbebauung und der Einbauten kann helfen, das Potenzial für mögliche Schäden zu reduzieren. Aber auch die Verfahrenswahl in Hinblick auf Verformungen oder Vibrationen kann hier helfen, mögliche Schäden zu vermeiden oder zu reduzieren.

6.1.4 Bodenverbesserung

Um mögliche Fehler bei Baugrundverbesserungen zu vermeiden, werden vor allem Kontrollmessungen und Feldversuche durchgeführt, bis der gewünschte Wert der Verbesserung erreicht ist. Auch ist verfahrensbedingt (mögliche Vibrationen) besonders auf eine event. vorhandene Nachbarbebauung zu achten.

6.2 Nach Bauverfahren

Bei der Einteilung der Vermeidungsmöglichkeiten nach dem Bauverfahren, wird nun auf einige der speziellen Qualitätssicherungsmaßnahmen der einzelnen Verfahren eingegangen. Dabei wird versucht, diese Vermeidungsmöglichkeiten zeitlich einzuteilen, wobei die Maßnahmen nach der Bautätigkeit eher zur Kontrolle dienen und somit keine direkte Vermeidungsmöglichkeit darstellen. Sie helfen aber event. aufgetretene Schäden zu reduzieren und den Aufwand zur Schadensreduktion zu minimieren. Außerdem werden durch diese Nachuntersuchungen Informationen für zukünftige Anwendungen oder Projekte gesammelt, sodass die Vermeidungsoptionen erweitert werden können. Eine allgemeine Nennung der Vermeidungsstrategien gibt es schon am Anfang des Kapitels (Siehe Kap. 6), im Folgenden werden diese Möglichkeiten speziell für die einzelnen Spezialtiefbauverfahren versucht zu erweitern. Es lassen sich auch manche Vermeidungsstrategien auf mehrere Bauverfahren anwenden.

Die hier angegebenen Möglichkeiten zur Vermeidung von Problemen bei den einzelnen Spezialtiefbauverfahren können keine vollständige Aufzählung wiedergeben, da es eine Fülle von Vermeidungsstrategien und Qualitätssicherungsmaßnahmen je Bauverfahren gibt.

6.2.1 Spundwandverfahren

Um Schäden bei Spundwänden zu vermeiden, ist unter anderem eine der geplanten Baumaßnahme entsprechende Baugrunduntersuchung vorzusehen. Diese hat im ausreichenden Umfang auf die für die Bemessung relevanten Bodenkenngrößen einzugehen und weiters die erforderliche Eindringtiefe festzulegen. Neben der erdstatischen Berechnung und der Bemessung der Spundwand

soll auch auf die Einbringungsart (Vibrieren, Rammen, Pressen) eingegangen werden. Während der Baumaßnahme hat vor allem eine Lagekontrolle der einzubringenden Spundbohlen zu erfolgen. Dadurch sollen Fehlstellungen, oder das Einbringen der Bohlen am falschen Platz, vermieden werden. Für Nachuntersuchungen oder zur Früherkennung von Schäden sollen Maschinenaufzeichnungen helfen, Unregelmäßigkeiten zu erkennen, um so frühzeitig auf Probleme reagieren zu können.

Zu den Maßnahmen der Qualitätssicherung beim Spundwandverfahren zählen beispielsweise⁸⁵:

- Vor der Baumaßnahme:
 - Ausreichende Untersuchung der geologischen, geotechnischen und topographischen Eigenschaften zur Festlegung der Bemessungswerte und sonst. Parameter (z.B.: Untersuchungen über die Rammbarkeit der Böden oder die Tiefe eines dichten Stauers für Abdichtungsaufgaben),
 - Umfangreiche erdstatische Berechnungen und Bemessung des Spundwandbauwerkes sowie notwendiger Hilfsmaßnahmen wie Anker oder Grundwasserhaltung,
- während der Baumaßnahme:
 - Vermarken und Kontrollieren der Lage und Stellung der Bohlen im Rammpfan und Vergleich mit der geplanten Ausführung,
 - Aufzeichnung der Maschinendaten wie der Energieverbrauch oder die Werte der Ramm- oder Presseinrichtung (z.B.: Schlagzahl je Eindringtiefe)
 - Kontrolle der Verankerung zwischen den Schlössern auf Schlosssprengungen,
 - Laufende Kontrolle der Steifen oder der Anker auf Schäden bzw. auf ihre Wirksamkeit,
- nach der Baumaßnahme:
 - Durchführung von Nachkontrollen, auch zur Erkennung von Folgeschäden,
 - Beseitigung von event. Schäden (Schlosssprengung, Schlossundichtigkeit, Aufrollen der Spundwand etc.).

6.2.2 Schlitzwandverfahren

Um Probleme beim Schlitzwandverfahren vermeiden zu können, sind ausreichende Bodenuntersuchungen und Berechnungen zur Bemessung nötig. Besonders soll aber die Eignung des Bodens für das Bauverfahren untersucht werden. Dies gilt besonders für die notwendigen Eigenschaften der Stützflüssigkeit, wie z.B. die Dichte. Während des Baufortschrittes sind besonders diese Werte der Stützflüssigkeit einer laufenden Kontrolle zu unterziehen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Überwachung der Betoneigenschaften und die Bewehrungsabnahme. Die Ausbildung der Fugen zwischen den einzelnen Elementen hat bei Abdichtungsaufgaben unter großer Sorgfalt zu erfolgen, um zukünftige Schäden zu verringern. Zur Vermeidung von Schäden durch Schlitzwandbaumaßnahmen hat eine Vermessung und Überwachung der Nachbarbebauung zu erfolgen

⁸⁵ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 110.

sowie müssen Grenzwerte für die Verformung der Schlitzwand oder der Nachbarbebauung sowie Alarmmaßnahmen bei einer Überschreitung dieser Verformungen festgelegt werden.

Weiters sind beim Schlitzwandverfahren unter anderem folgende Maßnahmen zur Qualitätssicherung möglich^{86 87}:

- Vor der Baumaßnahme:
 - Untersuchung der geologischen, geotechnischen und topographischen Eigenschaften,
 - Festlegung der Schlitzwandtiefe basierend auf ausreichenden Aufschlussbohrungen,
 - Erstellen von Testlamellen,
 - genaue Ausführungsbeschreibungen aller Materialien, Fugenausbildung und Geräte,
 - Erdstatische Berechnungen und Bemessungen,
 - Festlegen der Suspensionseigenschaften,
- während der Baumaßnahme:
 - Prüfung des Schlitzwandansatzpunktes nach Lage und Richtung,
 - Kontrolle der Leitwandherstellung,
 - Kontrolle der Bentonit-, Suspensions-, Beton-, Filtratwassereigenschaften,
 - Für die Abdichtungseigenschaften können Vorkehrungen zur nachträglichen Fugenabdichtungen vorgesehen werden (z.B.: Injektionsschläuche),
 - Bewehrungsabnahme,
 - Sicherstellen einer ausreichenden Betondeckung durch Abstandhalter,
 - Vermessen des offenen Schlitzes (Inklinometermessung, Seillot),
 - Vermessung des Nachbargebäudes (Setzungen),
- nach der Baumaßnahme:
 - Güteüberwachung, Ultraschallprüfung,
 - Endvermessung des Schlitzes und der Anschlussbewehrung,
 - Erd- und Wasserdruckmessung,
 - Setzungspunkte auf GOK,
 - Fugenkontrolle,
 - Überprüfung der Systemdichtigkeit mit Großpumpversuch,
 - Vermessung der Nachbarbebauung.

⁸⁶ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 146.

⁸⁷ Vgl. Hans Gerd Hangwitz, Matthias Pulsfort; Witt, Karl Josef (Hrsg.): Kap. Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände. In Grundbautaschenbuch. Band 3, 7. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 2009, S. 603.

6.2.3 Pfähle

Die Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden bei Pfählen sind sinngemäß ähnlich, jenen Maßnahmen die zur Qualitätssicherung bei Spund- oder Schlitzwänden dienen^{88 89}:

- Vor der Baumaßnahme:
 - Untersuchung der geologischen und topographischen Eigenschaften,
 - Festlegung der Abteufungstiefe basierend auf den Aufschlussbohrungen,
 - Erstellen von Probepfählen,
 - Durchführung von Probelastungen,
 - Ausführungsbeschreibungen,
 - Erdstatische Berechnungen,
 - Eignungsprüfung aller Materialien und Geräte,
- während der Baumaßnahme:
 - Kontrolle der Vertikalität und Überschneidung der Bohrungen,
 - Überwachung der Herstellung der Bohrschablone,
 - Überwachung der Stützflüssigkeit,
 - Reinigung der Bohrlochsohle,
 - Kontrolle der Bohr- und Betonierdaten z.B.: in Bezug auf Tiefe und Verweildauer,
 - Sorgfältiger Umgang mit der Bewehrung,
 - Verwendung eines ausreichend steifen Bewehrungskorbes sowie ausreichender Abstandhalter,
 - Überprüfung der Betoneigenschaften,
 - ausreichende Überbetonierung bezogen auf die Soll-Pfahloberkante,
- nach der Baumaßnahme:
 - Güteüberwachung, Ultraschallprüfung,
 - Kernbohrung,
 - Endvermessung der Pfahlwand,
 - Erd- und Wasserdruckmessung,
 - Setzungspunkte auf GOK,
 - Fugenkontrolle,
 - Überprüfung der Systemdichtigkeit mit Großpumpversuch,
 - Vermessung der Nachbarbebauung.

⁸⁸ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 130.

⁸⁹ Vgl. Hans Gerd Hangwitz (2009), S. 586.

6.2.4 Schmalwandverfahren

Die Vermeidungsstrategien beim Schmalwandverfahren sind, auf Grund der Ähnlichkeit der Einbringung des Stahlprofiles, i.A. jenen ähnlich, die auch beim Spundwandverfahren ihre Anwendung finden. Lediglich die Suspensions- und Materialüberwachung zur Schmalwandherstellung kommen hinzu. Die Maßnahmen umfassen im weiteren Sinn⁹⁰:

- vor der Baumaßnahme:
 - Untersuchung der geologischen und topographischen Eigenschaften,
 - Eignungsprüfung aller Materialien,
 - Wahl des geeigneten Verfahren,
 - Festlegen der Einbringart des Stahlprofiles,
 - Erstellen eines Testabschnittes (Prüfung der Machbarkeit, Eindringtiefe, Einbringhilfe),

- während der Baumaßnahme:
 - Hebungs- und Setzungsmessungen,
 - Überwachung der Baustoffeigenschaften,
 - Kontrolle des Rückflusses (Wichte, Menge, Zusammensetzung),
 - Kontrolle des Dichtwandkörpers (Bohransatzpunkt, Abmessung, Vertikalität, Reichweite),
 - Kontrolle und Aufzeichnung der Herstellparameter beim Einbringen der Dichtmischung:
 - * Mischgutverbrauch je eingerüttelter Bohle,
 - * Verpressdruck beim Einrütteln und Ziehen,
 - * Ziehgeschwindigkeit,
 - Kontrolle und Aufzeichnung der Daten beim Einrütteln
 - * Rüttelzeit,
 - * Rütteltiefe,
 - * Energieaufnahme des Rüttlers,

- nach der Baumaßnahme:
 - Setzungsmessungen,
 - Integritätsprüfung der Dichtwand (z.B.: Durchlässigkeit),
 - Kontrolle der Dichtigkeit im Feld und im Labor.

⁹⁰ Vgl. Kautz, Hartmut et al.: *Richtlinie Schmalwände*. Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bau-technik, März 2002, S. 10f.

6.2.5 Tiefreichende Bodenstabilisierung

Je nach vorgesehener Anwendung der tiefreichenden Bodenstabilisierung sind verschiedene Parameter zur Herstellung festzulegen. Diese sind im ausreichenden Umfang zu überprüfen. So nennt HANGWITZ folgende Prüfungen zur Qualitätssicherung eines Mixed-in-Place Körpers⁹¹:

- Druckfestigkeit: je 1000m² Wand mind. 4 Einzelproben aus dem frisch gemischten Erdbeton,
- Dichte: mind. 4-mal je Arbeitsschicht,
- Zusammensetzung und Eigenschaften der Ausgangsstoffe wie Zement, Bentonit etc.,
- Eigenschaften der zuzugebenden Frischsuspension,
- Erfassung der zeitlichen Entwicklung der Eigenschaften der Mixed-in-Place Masse,
- Spannungs-Verformungs - Verhalten des erhärteten Erdbetons,
- Wasserdurchlässigkeit.

Zur Kontrolle der Herstellung selbst, schlägt HANGWITZ vor, folgende Geräteparameter über die Zeit aufzuzeichnen⁹²:

- eingebrachte Suspensionsmenge,
- Durchflussmenge an Suspension in Abhängigkeit der Bohrtiefe,
- Herstellzeit mit Angabe des Tiefenverlaufes,
- Drehgeschwindigkeit/Vorschubgeschwindigkeit,
- Lotabweichung,
- Verbrauchsdaten.

6.2.6 Tiefenrüttelverfahren

Zur Vermeidung und Früherkennung von Problemen beim Tiefenrüttelverfahren werden vor allem, neben Bodenuntersuchungen und Planung der Maßnahmen, folgende Parameter während der Verdichtung über die Zeit und der Tiefe dokumentiert, um z.B.: Daten für die Fehlstellenerkennung zu erhalten⁹³:

- Art der Herstellung (trocken, Wasserspülung, Luftzufuhr, Art der Materialzugabe),
- Qualität und Art des Zugabematerials,
- Maximum und Kontinuität der Leistungsaufnahme des Rüttlers während der Herstellung,
- Herstellzeit jedes Verdichtungspunktes,

⁹¹ Hans Gerd Hangwitz (2009), S. 621.

⁹² Vgl. Hans Gerd Hangwitz (2009), S. 621.

⁹³ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 210.

- Menge des Zugabematerials,
- Übereinstimmung der angetroffenen Bodenarten und -eigenschaften mit denen, die dem Entwurf zugrunde lagen,
- Auftretende Setzungen,
- Probenbelastung von Einzelsäulen oder Säulengruppen.

6.2.7 Düsenstrahlverfahren

Zu den Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Düsenstrahlsohlen oder -wänden zählen wieder umfangreiche Bodenuntersuchungen zur Eignung des Verfahrens. Auch Versuche zur Mischungsoptimierung und um den idealen Zement zu finden, können schon früh der Fehlerreduktion dienen. Während der Baumaßnahme erfolgt vor allem eine Überwachung der eingesetzten Suspension sowie der Maschinenparameter. Sollte das DSV zur Herstellung eines Unterfangungskörpers eingesetzt werden, ist nach der Herstellung und Aushärtung vor allem die kraftschlüssige Verbindung zum Bestandsfundament zu prüfen.

Weiters sind beim Düsenstrahlverfahren unter anderem folgende Maßnahmen zur Qualitätssicherung möglich⁹⁴:

- vor der Baumaßnahme:
 - Untersuchung der geologischen und topographischen Eigenschaften,
 - Eignungsprüfung aller Materialien,
 - Wahl des geeigneten Verfahrens,
 - Kontrolle und Aufzeichnung der Parameter,
- während der Baumaßnahme:
 - Hebungs- und Setzungsmessungen,
 - Überwachung der Baustoffeigenschaften,
 - Kontrolle des Rückflusses (z.B.: Wichte, Menge, Zusammensetzung),
 - Kontrolle des Düsenstrahlkörpers (z.B.: Bohransatzpunkt, Abmessung, Vertikalität, Reichweite),
 - Kontrolle und Aufzeichnung der Herstellparameter (z.B.: Bohrtiefe, Druck),
 - Kontrolle der Umgebung auf Suspensionsaustritte (z.B.: in Kellern),
- nach der Baumaßnahme:
 - Setzungsmessungen,
 - Integritätsprüfung des Düsenstrahlbauwerkes (z.B.: Druckfestigkeit, Durchlässigkeit),
 - Kontrolle der Düsenstrahlkubatur, Anschluss an die Fundamente, Dichtigkeit,
 - die Herstellparameter und die Bohrtiefe jeder Düsenstrahlsäule sind zu kontrollieren und aufzuzeichnen.

⁹⁴ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 162.

6.2.8 Injektionen

Ähnlich wie beim Düsenstrahlverfahren werden bei den Injektionen hauptsächlich die Ausgangsstoffe untersucht, sowie die Maschinenparameter (z.B.: Tiefe, Injektionsdruck) beim Einbau aufgezeichnet und überwacht. Die Kontrolle der Ausgangsstoffe hängt natürlich im Wesentlichen von der Art des Injektionsgut ab. Bei Zementsuspension erstreckt sich die Kontrolle der Ausgangsstoffe auf⁹⁵:

- das Anmachwasser,
- die Zuschläge und Zusatzstoffe,
- die Fließeigenschaften,
- die Sedimentationseigenschaften,
- die Dichte der Suspension,
- die Festigkeitsentwicklung,
- das Quellverhalten,
- die Erosionsbeständigkeit und Beständigkeit des erhärteten Einpressgutes.

Bei chemischen Injektionen beschränkt sich die Kontrolle auf:

- das Anmachwasser,
- die Dichte und den Alkaligehalt des Wassers,
- die Dichte und die Wirksamkeit des Härter,
- das Mischungsverhältnis,
- die Viskosität der Mischung,
- die Kippzeit der Mischung,
- die Volumenänderung der Mischung,
- die Beständigkeit des erhärteten Einpressgutes bei Wasserlagerung.

Bei Kunstharzinjektionen sollte vom Einpressgut folgendes bekannt sein:

- das Mischungsverhältnis,
- die Viskosität und Kippzeit in Abhängigkeit von der Temperatur,
- die Volumenänderung der Mischung,
- die Verträglichkeit der Mischung mit dem Porenwasser,
- die Beständigkeit des erhärteten Einpressgutes bei Wasserlagerung,
- die Haftung der erhärteten Mischung auf mineralischen Flächen.

⁹⁵ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 253f.

6.2.9 Nägel, Anker, Spritzbeton

Um Schäden oder Herstellungsfehler beim Einbau von Anker oder Nägel zu vermeiden, sind i.A. folgende Punkte zu beachten⁹⁶:

- Kontrolle der Lage, Neigung und Tiefe mittels Vermessung der Bohransatzpunkte und des Bohrlochverlaufes
- Überwachung der Baustoffe:
 - Eingangsprüfungen für Stabstahl, Spannstahl und Korrosionsschutz,
 - Konformitätsprüfungen für Zemente und Frischbeton,
 - Kontrolle der Verarbeitungseigenschaften von Beton und Verpressmörtel,
 - Kontrolle der Druckfestigkeit der abgebundenen Baustoffe,
- Überwachung der Herstellung:
 - Übereinstimmung der Verfahrenstechnik mit den technischen und vertraglichen Anforderungen,
 - Kontrolle der erbohrten Bodenschichten und der Bohrtiefe,
 - Kontrolle von Spülflüssigkeiten und Zementsuspension,
 - Kontrolle der Zugglieder: Aufbau, Maße, Korrosionsschutz,
 - Kontrolle des Einbaus der Zugglieder, von Beton und Mörtel,
- Überwachung der Integrität und der Ausführungsqualität:
 - dynamische und akustische Integritätsprüfungen,
 - Kontrolle des Korrosionsschutzes des Ankerkopfes,
- Tragfähigkeitsprüfungen:
 - Eignungsversuche zur Verfahrensabstimmung,
 - Abnahmeprüfungen für alle vorgespannten Verpressanker,
 - Probelastungen und Zugversuche für Verpresspfähle und Nägel.

Zum Qualitätsmanagement für Spritzbetonherstellung zählt unter anderem folgendes⁹⁷:

- vor der Baumaßnahme:
 - Festlegung der Anforderungen an den Spritzbeton,
 - Bestimmung des Spritzverfahrens und der Mischgutart,
 - Erstprüfung und weitere Prüfungen der Ausgangsstoffe,
 - Festlegung der Verantwortlichkeit für die Herstellung,

⁹⁶ Vgl. Maybaum et al. (2009), S. 79.

⁹⁷ Vgl. Huber, Helmut et al.: *Richtlinie Spritzbeton*. Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Juli 2004, S. 73.

- Wartung der Geräte,
- Festlegung von Prüfplan, Prüfmittel, Prüfverfahren,
- während der Baumaßnahme
 - Maschinen- und Düsenbedienung nur durch erfahrenes Personal,
 - Arbeitssicherheit gewährleisten,
 - Ausführungs- und Abnahmeprüfungen durchführen,
 - Maßnahmenkatalog bei Nichterreichen der Vorgaben erstellen.

7 Auswertung der Fragebögen

Befragt wurden im Rahmen einer Umfrage Baufirmen, große Bauherren sowie Ingenieurbüros. Ihnen wurde nach persönlichen Gesprächen auf Baustellen, bei diversen Fachtagungen oder via Telefon, ein Fragebogen (siehe Anhang A) überreicht. Abgefragt wurden folgende Themenbereiche: Neben den Fragen zum verwendeten Spezialtiefbauverfahren, wurde nach dem Bauschaden selbst gefragt. Dies umfasste neben den direkten Fragen zum einzelnen Schadensereignis (z.B.: Wo, Wann, Wie etc.) auch Fragen zu Schadensursachen. Diese konnten entsprechend der Einteilung auf Seite 68 prozentual aufgeteilt werden. Danach wurden Fragen nach Sofortmaßnahmen, Ersatzleistungen, Sanierungsmethoden und Vermeidungsstrategien gestellt. Weiters wurde auch nach den Kosten dieser einzelnen Abschnitte gefragt. Im weiteren wurde der Themenbereich Planung und Voruntersuchungen, sowie geotechnische Untersuchungen und Grundwasser behandelt. Zum Abschluss des Fragebogens wurde noch nach der Ausschreibung und Vertrag gefragt. Es ist zu beachten, dass diese Art der Befragung immer die persönliche Einschätzung des Befragten darstellt.

Auch wurde versucht Daten von Bauschadensfällen von Versicherungen zu bekommen, jedoch waren aus Datenschutzgründen von dieser Seite keine Daten zu bekommen. Auch fehlen in Österreich große Fachversicherer, die einen größeren Datenpool zur Verfügung stellen können. Lediglich die Verteilung der Spezialtiefbauverfahren bei Bauschadensfällen, wie sie in Abb. 5 auf der nächsten Seite dargestellt ist, konnte in einem Telefongespräch mit einer Versicherung bestätigt werden.

Es kamen 30 Fragebögen zurück, von denen 76% von Auftragnehmern (große Baukonzerne sowie Spezialtiefbaufirmen), 17% von Planern und 7% von großen öffentlichen Auftraggebern ausgefüllt wurden (siehe Abb. 3).

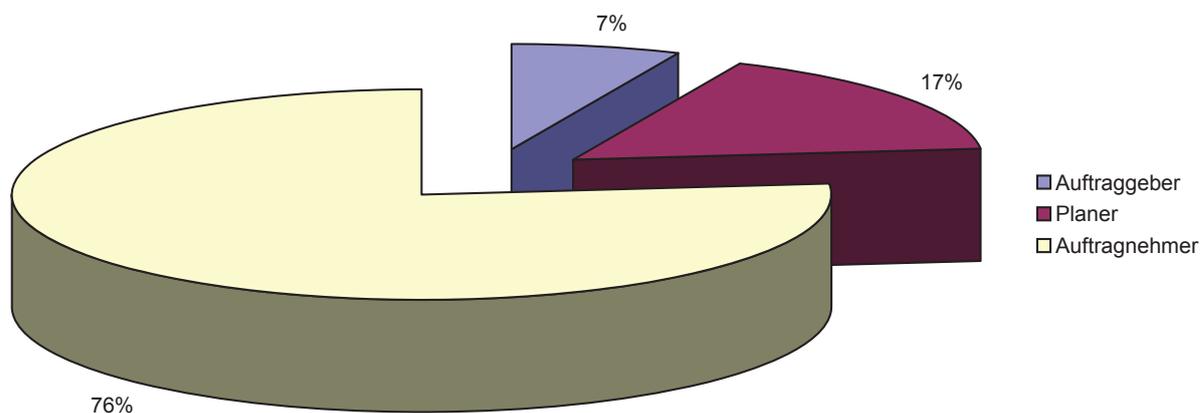


Abbildung 3: Verteilung der eingelangten Fragebögen

Die Verteilung der Projektziele, bei denen es zu Problemen kam ist in Abb. 4 auf der nächsten Seite zu sehen. Dabei konnten etwa 30% dem Begriff Wohnbau als Projektziel zugeordnet werden, weitere 17% sind Gewerbe- und Schulbauten. In etwa 13% waren gemäß der Angaben am Fragebogen Industriebauten herzustellen, die restlichen 40% umfassten Infrastrukturbauten. Zu dem Begriff Infrastrukturbauten wurden sowohl Bauten für Straßen und Schienen gezählt, als auch Bauten zur Wasser- und Energieversorgung.

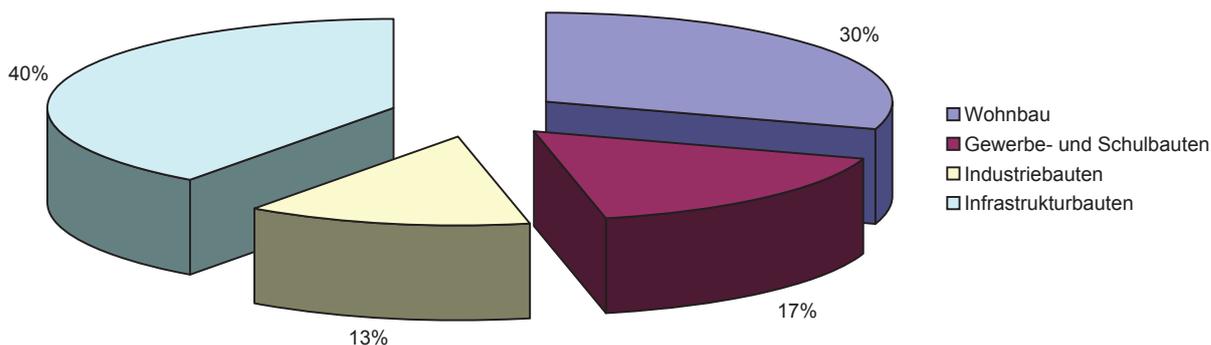


Abbildung 4: Projektziele

7.1 Spezialtiefbauverfahren

Der erste Teil des Fragebogens beschäftigt sich mit der Verteilung der Bauverfahren, bei der es zu Schadensfällen kam, sowie mit dem genauen Verwendungszweck dieser. In Abb. 5 ist diese Verteilung graphisch dargestellt. Aus ihr ist zu sehen, dass die meisten Schäden, mit einem An-

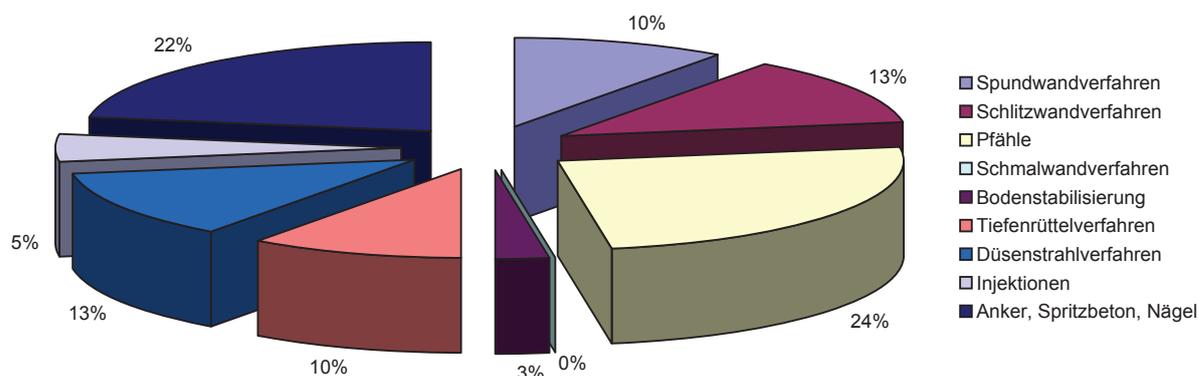


Abbildung 5: Verteilung der Bauverfahren

teil von 24%, bei Pfählen auftraten. Danach folgt mit 22% die Verfahrensgruppe Anker, Nägel, Spritzbeton. Gleich auf mit jeweils 13% folgen das Schlitzwandverfahren und das Düsenstrahlverfahren. Dicht danach folgen wieder zwei Bauverfahren mit je 10% Anteil an den Bauschäden laut dieser Umfrage. Dies sind das Spundwandverfahren und das Tiefenrüttelverfahren. Etwas abgeschlagen folgt mit 5% Injektionsverfahren. Noch etwas weniger Prozent (3%) ergab sich bei der Bodenstabilisierung. Für das Schmalwandverfahren wurden keine Fragebögen abgegeben.

Bei den abgegebenen Fragebögen verteilte sich die Funktionen der Spezialtiefbauten wie folgt. Dabei waren Mehrfachnennungen möglich, sodass sich die angegebenen Prozentwerte auf die Gesamtzahl der Nennungen beziehen. Diese Art der Auswertung war nötig, da, abhängig vom Bauverfahren, ein und das selbe Verfahren mehrere Funktionen erfüllen kann, so z.B.: kann eine Schlitzwand sowohl als Gründungselement als auch als Baugrubenverbau verwendet werden. Den größten Anteil mit 42% haben Gründungen und Gründungselemente. Als nächstes folgt mit 32% die Funktion des Baugrubenverbaus. Weit abgeschlagen folgt mit 13% der Aufgabenbereich der Abdichtungen im Spezialtiefbau. Gleich danach, mit 9%, folgt die Funktion der Baugrundverbesserung. Unter dem Begriff Sonstiges, das mit 4% ausgewertet wurde, sind z.B.: spezialtiefbautechnische Anwendungen, wie Anker oder Nägel bei Hangsicherungen, zu

verstehen, die keiner anderen Funktion eindeutig zuordenbar war.

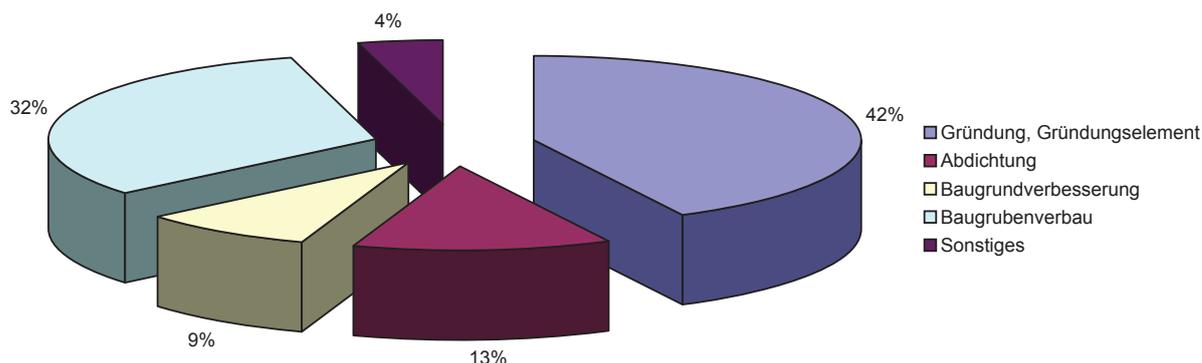


Abbildung 6: Verteilung der Funktionen

7.2 Bauschaden/Mangel/Fehler

Nach dem allgemeinen Teil über den Spezialtiefbau wurden die Befragten im Fragebogen gebeten, den Schaden kurz zu beschreiben, weiters wo den der Schaden/Mangel/Fehler genau entstanden ist, wann der Schaden entstanden und wann er entdeckt wurde. Weiters wurde gefragt wie der Schaden entstanden ist. Wenn es möglich war, sollten die Mängel und Schäden grob den am Bauprozess Beteiligten zugeordnet werden. Danach wurde nach den Ursachen und Quellen gefragt und es gab die Möglichkeit diese prozentual auf zehn Unterkategorien aufzuteilen, wie es aus Sicht des Ausfüllers gesehen wurde.

Aufgrund der einzelnen unterschiedlichen Beschreibungen lässt sich kein allgemeines statistisches Bild erstellen, dass die verschiedenen Arten der Schäden gerecht wird. Es lassen sich aber einige Teilbereiche bzw. Kategorien ausarbeiten und Teilaussagen treffen. So z.B. liegt bei Bauverfahren bei denen Beton in den Untergrund eingebracht wird (Schlitzwand, Bohrpfahl), der Anteil der Schäden beim Beton bei ca. 70% der gemeldeten Schadensfälle. Es wurde auch versucht alle in den Fragebogen beschriebenen Schadensarten in Kap. 4 einzuarbeiten.

Eine wichtige Frage ist wo der Schaden auftrat. Die Auswertung dieser Frage des Fragebogens, siehe Abb. 7, zeigte, dass 66% der Schadensfälle das Spezialtiefbauwerk selbst betreffen und jeweils 17% der Schäden oder Mängel entfallen auf das zu errichtende Gebäude (z.B.: unzulässige Setzungen oder Risse) oder auf die Nachbargebäude (z.B.: Eintreten von Suspension beim DSV im Keller des Nachbargebäudes).

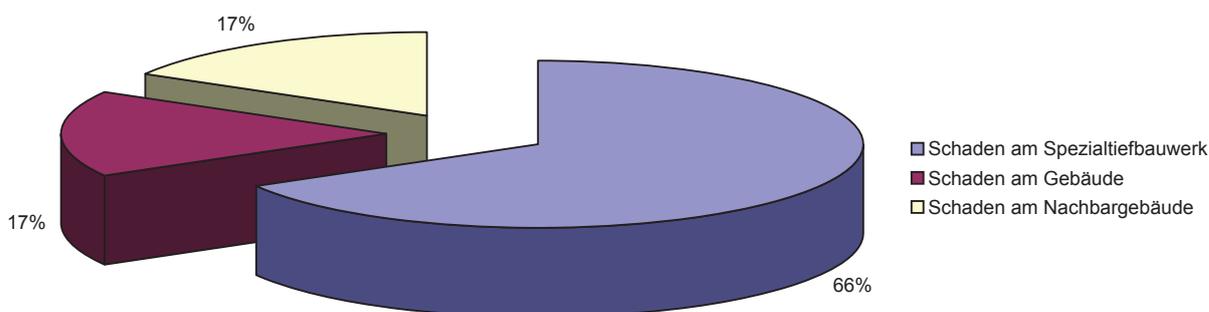


Abbildung 7: Ort des Schadensereignisses

Bei der Frage „Wann ist der Schaden entstanden?“ zeigte die Auswertung der Fragebögen, siehe Abb. 8, folgendes Bild. 13% der Befragten gaben an, dass der Schaden, Mangel oder Fehler bereits bei der Vorbereitung zur eigentlichen Spezialtiefbauarbeit seine Ursache hatte, wie z.B.: bei mangelnder Baugrunduntersuchung oder falscher Angaben zu Bohransatzpunkten (Vermessungsfehler). Weitere 13% gaben an, dass der Schaden beim Bohren bzw. beim Abteufen entstanden ist. In etwa 64% der Fälle ist der Schaden der „echten“ Herstellung eines Spezialtiefbauwerkes (z.B.: Schmalwand) oder eines Elementes (z.B.: Bohrpfahl) zuordenbar. Dies lässt sich noch weiter aufschlüsseln. Die größte Gruppe mit 41% ist der Tätigkeit Verdichten (z.B.: Tiefenrüttelverfahren), Injizieren oder Düsen (Düsenstrahlverfahren) zuzuordnen, wo in-situ ein verbesserter Körper entsteht. Die nächste Gruppe die unter den Sammelbegriff Herstellung fällt, ist jene bei dehnen der Schaden während des Betonierens entstanden ist. Dies war bei ca. 23% der beantworteten Fragebögen der Fall. Bei 10% der Fragebögen war die Antwort auf die Frage „Wann ist der Schaden entstanden?“ Höhere Gewalt also z.B.: nach einem Starkregenereignis oder Hochwasser.

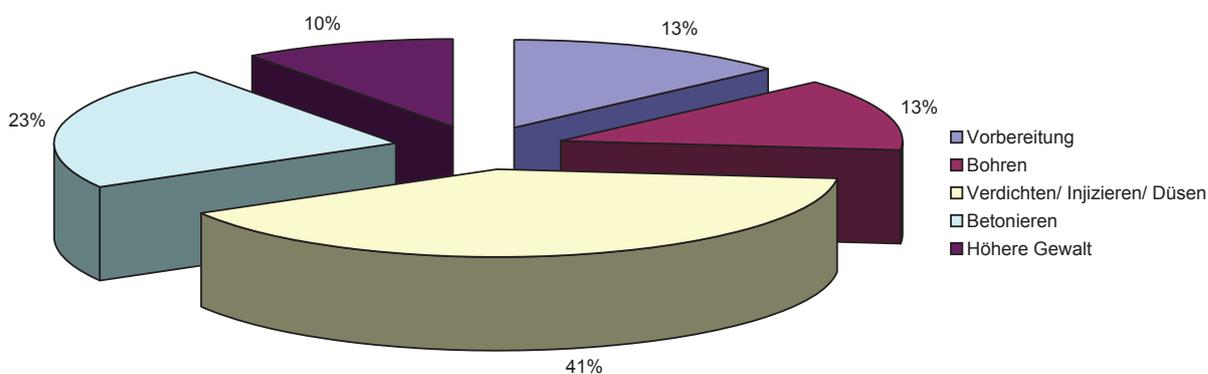


Abbildung 8: Wann ist der Schaden entstanden

Entdeckt wurden die Schäden, Mängel oder Fehler gemäß der Auswertung der Fragebögen in Abb. 9 folgendermaßen. 53% der Befragten bemerkten den Schaden sofort, bei weiteren 40% wurde der Schaden oder Mangel beim Weiterbauen entdeckt. Nur bei 7% der Fragebögen wurde eine Entdeckung eines Mangels während der Nutzung angegeben.

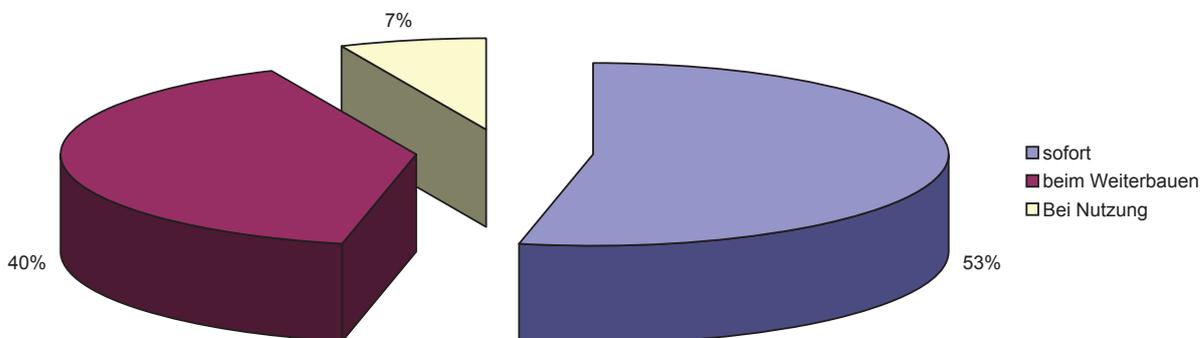


Abbildung 9: Wann wurde der Schaden entdeckt

Bei der Frage „Wie ist der Schaden entstanden?“, wie in Abb. 10 auf der nächsten Seite ersichtlich, ergab die Auswertung folgendes. Hier ist festzuhalten, dass z.B.: die Schadensursache

in Klüften im Untergrund liegen kann, diese aber durch eine umfangreichere Baugrunduntersuchung entdeckt hätte werden können. Diese Tatsachen fanden bei dieser Auswertung keine Berücksichtigung. Erst bei der detaillierteren Betrachtung mit der Aufteilung der Fehler, siehe dazu Seite 68, konnte darauf eingegangen werden. Bei gut 30% der Schäden oder Mängel war der Mensch die Hauptursache für das Eintreten des Schadens. Als Beispiel dieser Ursachen werden die mangelnde Kommunikation der Beteiligten oder die Missachtung von Kontrollmessungen angeführt. Bei 17% der Antworten konnte die Ursache, wie der Schaden entstanden ist, direkt dem Bauverfahren zugeordnet werden. Dies betrifft beispielsweise Schäden durch Ramm- oder Düsarbeiten, entweder direkt am zu errichteten Bauwerk oder der Nachbarbebauung. Bei 23% der Fragebögen konnte als direkte Schadensursache Probleme mit dem Material ausgemacht werden. Dies umfasst vor allem Probleme beim Betonieren, wie eine falsche Betonrezeptur oder das Absetzen eines zu großen Sandanteils in der Bentonitsuspension während des Betonierens. 13% der Schäden hatten die Ursache im Untergrund wie z.B.: unbekannte Hohlräume. Bei 10% der Antworten auf die Frage nach dem, wie der Schaden entstanden ist, wurde Höhere Gewalt wie Starkregen- oder Hochwasserereignisse als Ursache angegeben. Lediglich 7% konnten nicht eindeutig diesem Schema zugeordnet werden.

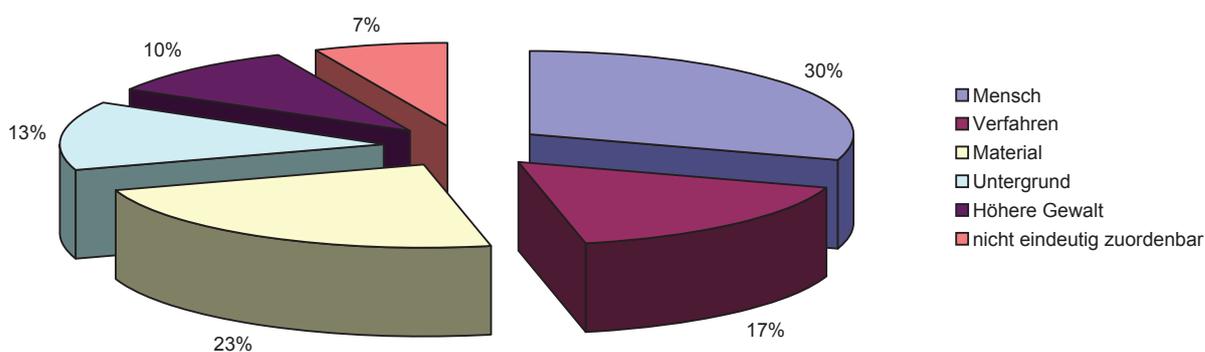


Abbildung 10: Wie ist der Schaden entstanden

Zur Auswertung der Frage der Zuordnung der Schadensursachen nach den Sphären (siehe Abb. 11 auf der nächsten Seite) kann man festhalten, dass 60% der Schäden dem Auftraggeber zuzuordnen waren und 50% dem Planer. Bei 83% der Fragebögen wurde der Auftragnehmerseite die Schadensursache angelastet. Nur bei 13% spielte Höhere Gewalt eine Rolle. Zu beachten ist, dass Mehrfachnennungen möglich waren. So beziehen sich diese Prozentwerte auf die Gesamtzahl der Fragebögen.

Wie aus dem Fragebogen ersichtlich (siehe Anhang A), wurden die Teilnehmer der Fragebogenaktion gebeten die Ursachen prozentual auf folgende Schadensursachen grob aufzuteilen. Diese groben zehn Schadensursachen waren:

- Planungsfehler: Dazu zählen alle Schäden und Fehler die ihre Ursachen und Quellen in der Planung oder der Planungsphase haben. Auch mangelnde Voruntersuchungen des Baugrundes können auf Grund dieser zeitlichen Sichtweise zu den Planungsfehlern gezählt werden.
- Ausschreibungsfehler: umfassen Schäden und Mängel die man auf Fehler in der Ausschreibung zurückführen kann. Beispielsweise das ein falsches Verfahren vorgeschrieben wird oder das die Ausschreibungsunterlagen Fehler beinhalten.

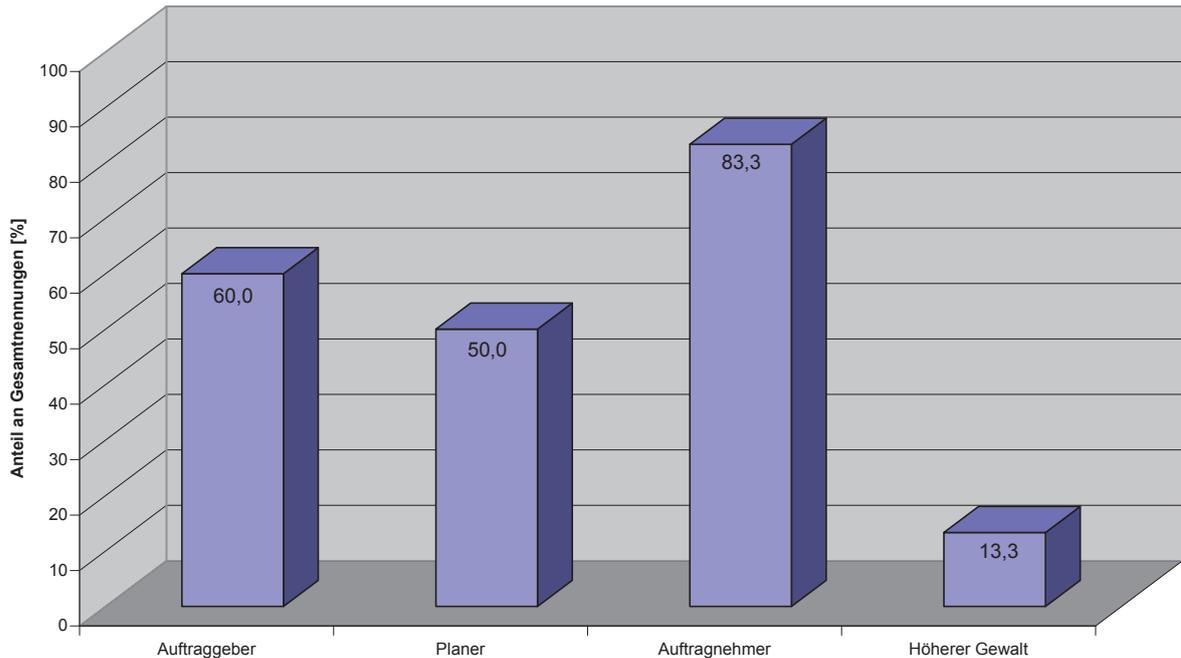


Abbildung 11: Schadensursache den Sphären zugeordnet

- Ausführungsfehler: werden in der Regel von den ausführenden Firmen „verübt“ und entstehen während des eigentlichen Bauvorganges.
- Verfahrensfehler: Es liegt ein allgemeiner Fehler im Bauverfahren vor oder es wurde ein ungeeignetes Bauverfahren gewählt.
- Materialfehler: Bei Materialfehler wird ein falsches oder schadhaftes Material oder Profil eingebaut.
- Nutzungsfehler: Schäden die durch eine bei der Planung unbekannte oder ungeplante Nutzung entstehen.
- Höhere Gewalt: Darunter fallen Fehler und Schäden bei denen die Ursachen und Quellen außerhalb des Einflusses der am Bauprozess Beteiligten liegen. Vor allem Naturkatastrophen und extreme Witterungsereignisse fallen in diese Kategorie.
- Kommunikationsfehler: Eine weitere Ursache ist die mangelnde Kommunikation der am Bauprozess Beteiligten oder Firmenintern (z.B.: Urlaubsvertretung).
- Mangelnde Erfahrung: Als Folge von mangelnder Erfahrung können ebenfalls Schäden an Spezialtiefbauwerken entstehen.

Die Auswertung in Abb. 12 auf der nächsten Seite stellt die Verteilung der Schadensursachen dar. Zu beachten ist, dass Mehrfachnennungen möglich waren. So beziehen sich diese Prozentwerte auf die Gesamtzahl der Fragebögen. Weiters wurde der angegebene Prozentwert in den Fragebögen hier nicht berücksichtigt. Den Spitzenwert mit 67% bilden die Ausführungsfehler, deren Anteil gem. Tab. 1 auf Seite 72 zwischen 10% und 100% liegen. Bei etwa 47% der Fragebögen wurden Planungsfehler als Schadensursache gemeldet, gefolgt von 33% für die Ausschreibungsfehler.

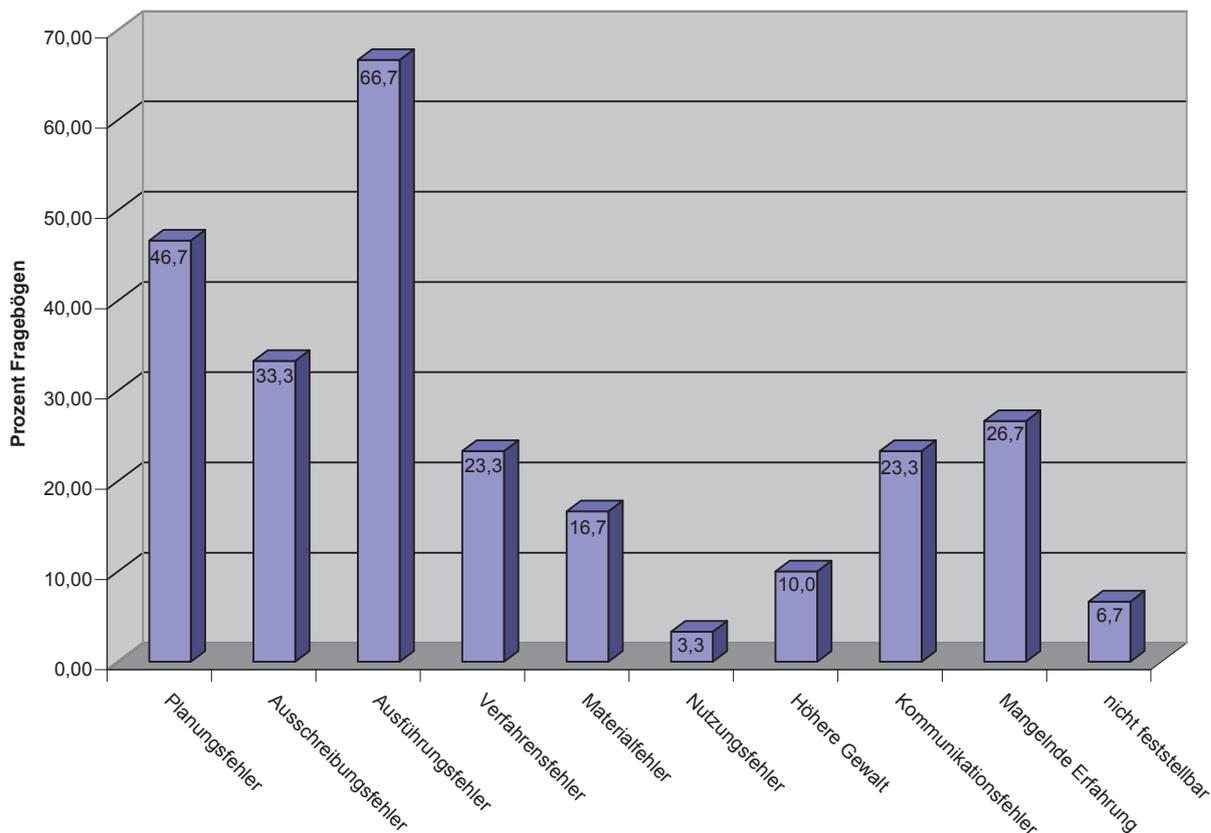


Abbildung 12: Verteilung der Schadensursachen

Weiters spielte mit 27% mangelnde Erfahrung als Schadensursache eine Rolle. Mit je 23% der abgegebenen Fragebögen kamen Kommunikationsfehler oder Verfahrensfehler zum Tragen. Bei 16% der Antworten war ein Materialfehler zumindest Mitursache am untersuchten Schadensfall. Höhere Gewalt spielte bei 10% der Fragebögen eine Rolle. Nur bei 3% der Fragebögen kamen Nutzungsfehler vor. Bei etwa 7% der Fragebögen war die Schadensursache nicht feststellbar.

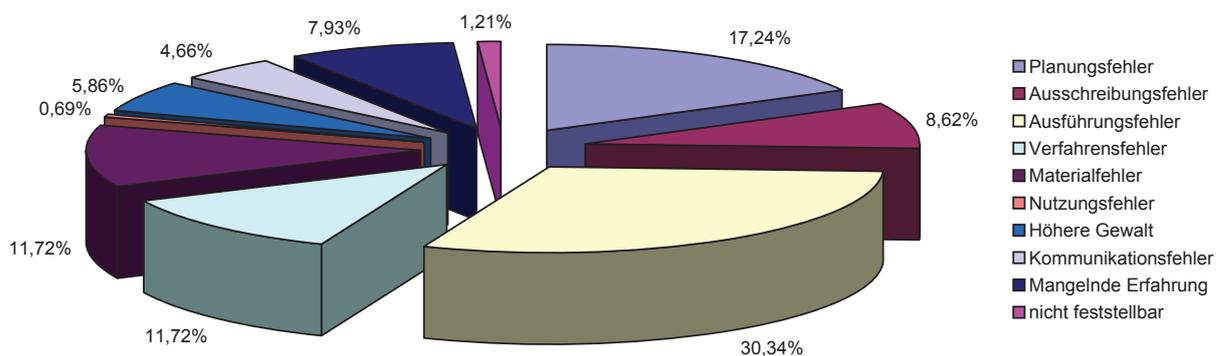


Abbildung 13: Schadensursachen

Bei der Auswertung in Abb. 13 wurde eine Darstellung der Schadensursachen, gewichtet mit den jeweiligen Prozentwerten und der Anzahl der Nennungen, gewählt. Dabei ergab sich, durch die Auswertung der Fragebögen, dass 17,2% auf Planungsfehler zurückzuführen waren. Die Planungsfehler stehen somit auf Platz 2 der Schadensursachenverteilung. Die nächste Gruppe der

Schadensursachen bildet mit 8,6% Ausschreibungsfehler. Die größte Kategorie mit 30,3% Anteil an der Ursachenverteilung sind die Ausführungsfehler. Mit je etwa 11,7% folgen Verfahrensfehler und Materialfehler. Mit ausgewerteten 0,7% folgen Nutzungsfehler als Schadensursache. Bei Höhere Gewalt ergab die Auswertung einen Anteil von etwa 5,9%. Mit ca. 4,7% folgen Kommunikationsfehler in der Auswertung der Schadensursachen. Als nächstes folgt Mangelnde Erfahrung als Schadensursache mit etwa 7,9%. Bei gewichteten 1,2% der Antworten war die Schadensursache nicht feststellbar.

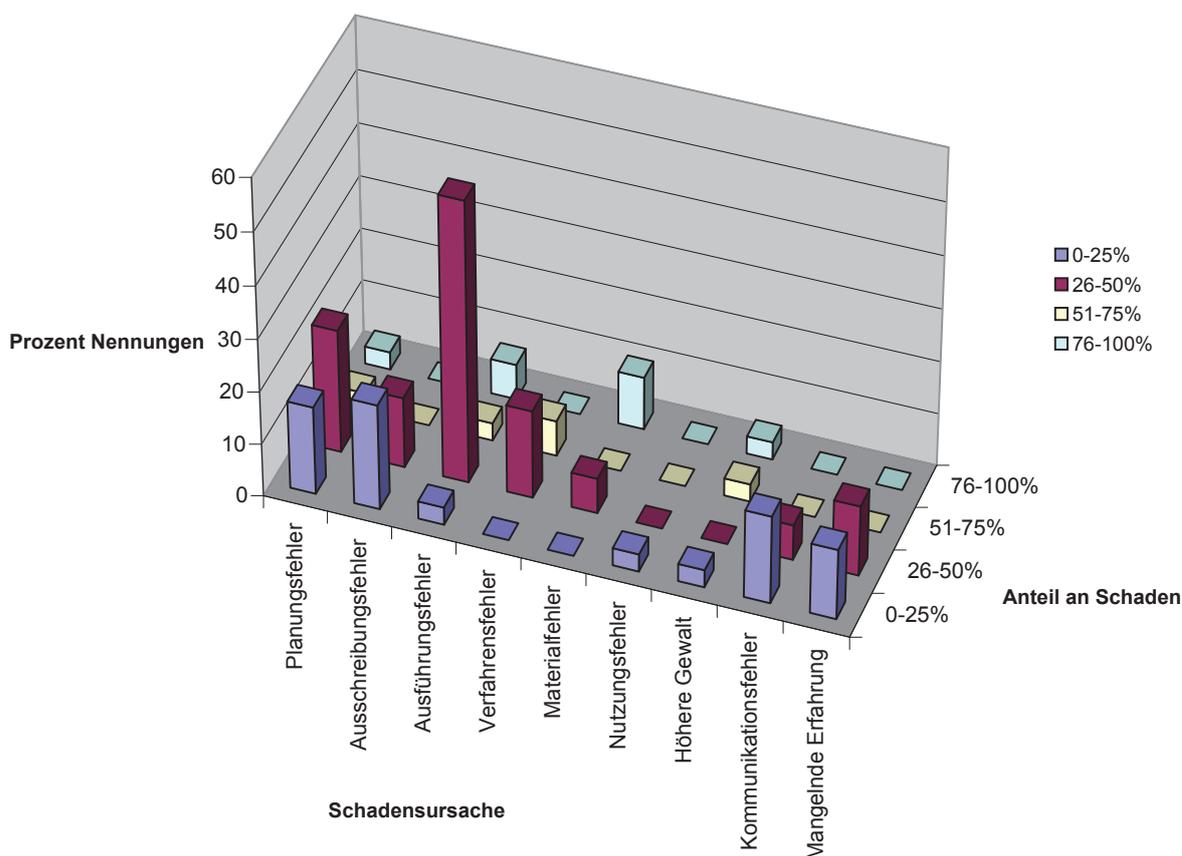


Abbildung 14: Fehlerverteilung

Für eine differenzierte Auswertung wurden die genannten Prozentwerte vom Anteil des Schadens der einzelnen Fragebögen zu Gruppen zusammengefasst. Diese Gruppen waren 0%-25%, 26%-50%, 51%-75% und 76%-100%. Aufgrund der Möglichkeit von Mehrfachnennungen ergibt sich somit ein Gesamtbild aus Schadensursachen und dem entsprechenden Anteil am Gesamtschaden (siehe Abb. 14). Aus diesem Bild lassen sich einige Aussagen ableiten. So ist der Anteil, bei der es nur eine oder fast nur eine Schadensursache gibt (Gruppe 76% bis 100%) sehr gering. In der Tat gab es nur bei 13% der Fragebögen eine direkte Ursache. Dies waren mit je ca. 7% Materialfehler und ca. 7% Ausführungsfehler als Einzelursachen bezogen auf die Anzahl der Nennungen. Auch in der nächsten Gruppe zwischen 51% und 75% gibt es keinen signifikanten Spitzenwert. Allerdings führt in der folgenden Gruppe der Ausführungsfehler mit 53% als deutlicher Spitzenwert die Aufzählung an. D.h., dass bei 53% der Fragebögen der Anteil der Ausführungsfehler zwischen 26% und 50% lag. In dieser Gruppe folgen mit 23% der Planungsfehler und mit 17% mangelnde Erfahrung. Ausschreibungs- und Erfahrungsfehler sind mit 13% gleich

auf. In der letzten Gruppe bis 25%, führen Ausschreibungsmängel mit 20% der beantworteten Fragebögen dieses Feld an. Gefolgt wird dies mit jeweils 17% Planungs- und Kommunikationsfehler. Danach folgt mit 13% mangelnde Erfahrung als Schadensursache.

In Tabelle 1 wird bei dieser Frage der Mittelwert bezogen auf die Gesamtzahl von 30 Fragebögen sowie der Mittelwert bezogen auf die Anzahl der jeweiligen Nennungen gebildet. Angegeben werden auch die Extremwerte der Nennungen so wie die Standardabweichungen der jeweiligen Ursachenkategorie.

Ursache	Gesamtbetrachtung				Anzahl der Nennungen		
	Extremwerte		Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
	Min.	Max.					
Planungsfehler	5%	80%	16,67%	23,43%	14	35,71%	22,18%
Ausschreibungsfehler	10%	50%	8,33%	13,98%	10	25,00%	12,91%
Ausführungsfehler	10%	100%	29,33%	27,91%	20	44,00%	22,57%
Verfahrensfehler	30%	70%	11,33%	22,09%	7	48,57%	22,52%
Materialfehler	30%	100%	11,33%	28,97%	5	68,00%	35,64%
Nutzungsfehler	20%	20%	0,67%	3,65%	1	20,00%	0,00%
Höhere Gewalt	20%	80%	5,67%	19,24%	3	56,67%	32,15%
Kommunikationsfehler	10%	30%	4,50%	9,32%	7	19,29%	9,32%
Erfahrungsfehler	10%	50%	7,67%	14,78%	8	28,75%	14,58%
nicht feststellbar	5%	30%	1,17%	5,52%	2	17,50%	17,68%

Tabelle 1: Ursachenauswertung

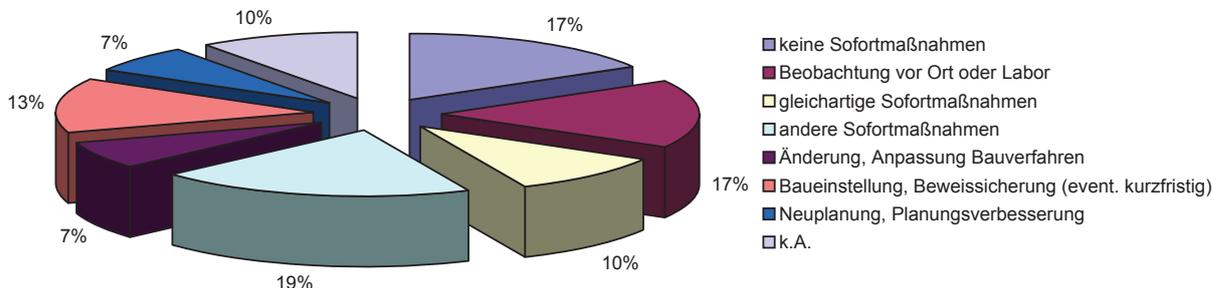


Abbildung 15: Sofortmaßnahmen

Auf die Frage „Welche Sofortmaßnahmen gab es zur Schadens-/Mangel-/Fehlerminimierung“ antworteten die Befragten wie folgt. Eine Übersicht der Auswertung ist in Abb. 15 dargestellt. 17% gaben an, dass keine Sofortmaßnahme gesetzt wurde, sei es dass es zu spät (z.B.: Hochwasserfall am Wochenende) war bzw. war der Schaden zu gering, um eine Sofortmaßnahme zu rechtfertigen. Weitere 17% entschieden sich für eine genauere Beobachtung oder eine Vermessung vor Ort einzurichten, um weitere Schäden besser erkennen zu können bzw. ordneten weitere Untersuchungen an (z.B.: Betonuntersuchungen). Bei 10% der untersuchten Fälle wurde eine gleichartige Sofortmaßnahme gesetzt, z.B.: Undichtheiten bei einer Spundwand durch Rammen neuer Profile abgedichtet oder es wurde die bestehende Spezialtiefbaumaßnahme unterstützt (z.B.: durch Setzen neuer Steifen). 19% gaben an, eine andere Sofortmaßnahme gesetzt zu haben, als das ursprüngliche Bauverfahren, so z.B. die Sanierung einer Undichtheit bei Spundbohlen mittels DSV. Bei 7% der betroffenen Baustellen kam es zu Anpassungen oder Abänderungen beim Bauverfahren, wie z.B.: Anpassung der Ziehgeschwindigkeit bei verrohrten Bohrpfählen an das

Erhärten des Betons. 13% gaben an, dass der Schadenseintritt zu einer Einstellung der Baustelle führte bzw. eine Beweissicherung angeordnet wurde. Bei 7% der beantworteten Fragebögen führte der Schadenseintritt zu einer Neu- bzw. Umplanung des Bauwerkes. 10% der Befragten machten hier keine Angaben.

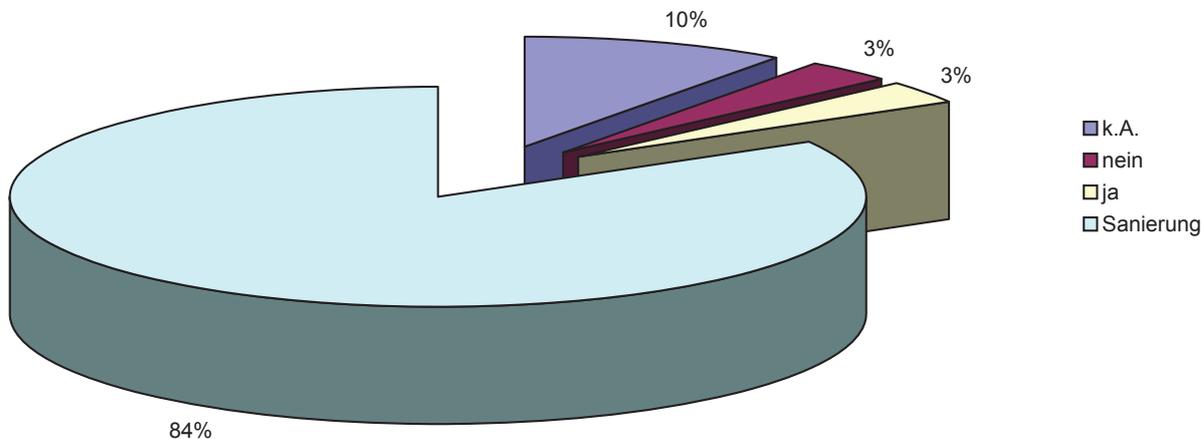


Abbildung 16: Sanierungsmaßnahmen vs. Ersatzleistungen

Bei der Auswertung der Fragebögen in Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen wurde zuerst gefragt, ob saniert wurde oder ob es eine finanzielle Ersatzleistung gab. Eine graphische Darstellung ist in Abb. 16 ersichtlich. Eine Verteilung der Art der Sanierung wird in Abb. 17 angegeben, eine Verteilung über die verwendeten Sanierungsverfahren wird in Abb. 18 auf der nächsten Seite angegeben. Dabei gaben 84% an, dass eine Sanierung erfolgte. 3% gaben an, dass es zur Schadensvergütung eine finanzielle Ersatzleistung gab. Bei weiteren 3% ergab die Auswertung der Fragebögen, dass weder eine Sanierung noch eine Ersatzleistung erfolgte. 10% machten keine Angaben.

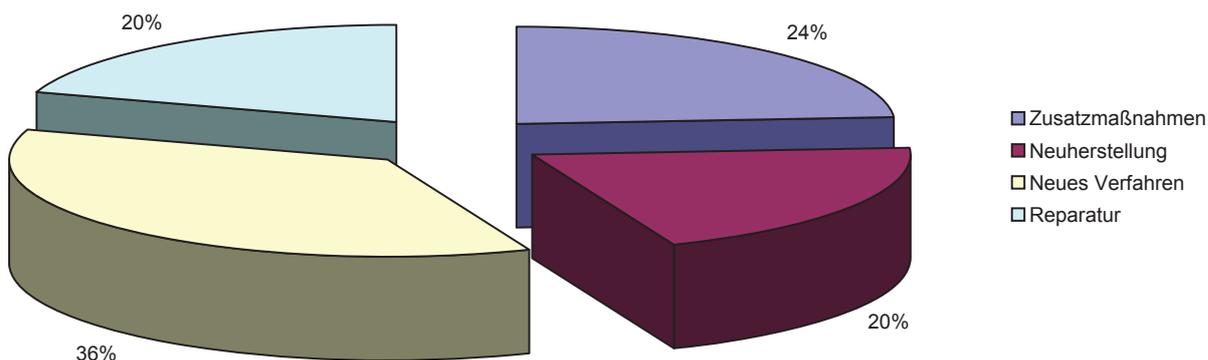


Abbildung 17: Sanierungsmaßnahmen

Von diesen 84% bei denen eine Sanierung erfolgte, gaben an, dass bei 24% der Befragten die Sanierung durch Zusatzmaßnahmen erfolgte, wie das Setzen neuer Anker oder das Verstärken einer Spritzbetonschale. Bei 20% erfolgte eine Neuherstellung bzw. eine Neukonstruktion des betroffenen Spezialtiefbauwerkes. Bei 36% erfolgte die Sanierung durch ein neues Verfahren, wie z.B. das Nachinjizieren von Schlitzwandelementen und -fugen zur Abdichtung. Bei den restlichen 20% kam eine Reparatur zum Einsatz, z.B. wurden, wenn möglich, defekte Pfahlköpfe

abgeschränkt und neu aufbetoniert, um einen Fundamentanschluss herzustellen.

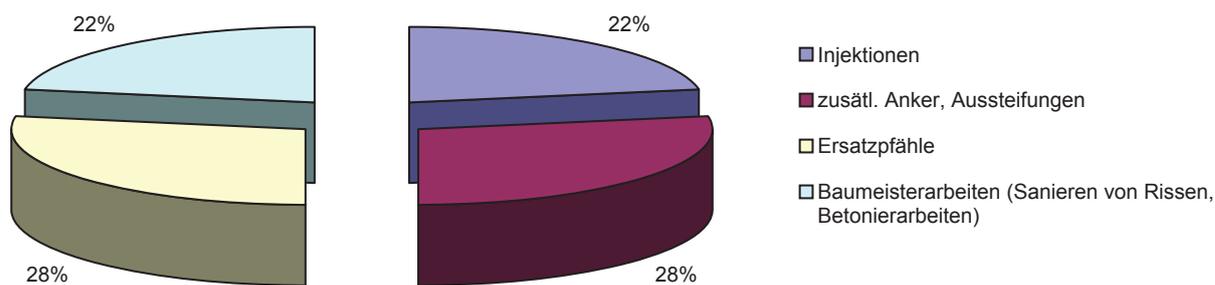


Abbildung 18: Verteilung der Sanierungsverfahren

Bei den Sanierungsmaßnahmen kamen bei 22% der auswertbaren Fälle Injektionen zum Einsatz (siehe Abb. 18). Dieses Verfahren kam beispielsweise zum Ausbessern bzw. zur Sanierung von Abdichtungen oder Fugensystemen zum Einsatz. Zusätzliche Anker oder Aussteifungen wurden bei 28% der auswertbaren Fragebögen zur Sanierung der Schäden, Mängel und Problemen eingesetzt. Bei weiteren 28% wurden Ersatzpfähle zur Lastabtragung bzw. Baugrubensicherung hergestellt. Teilweise wurden Zusatzpfähle hergestellt oder es wurden mangelhafte Pfähle neu hergestellt. 22% gaben an, dass die Sanierung des Schadens oder Mangels mit Baumeisterarbeiten erfolgte wie z.B. das Betonieren einer neuen Kellersohle im Nachbargebäude nach dem Eintreten einer DSV-Suspension.

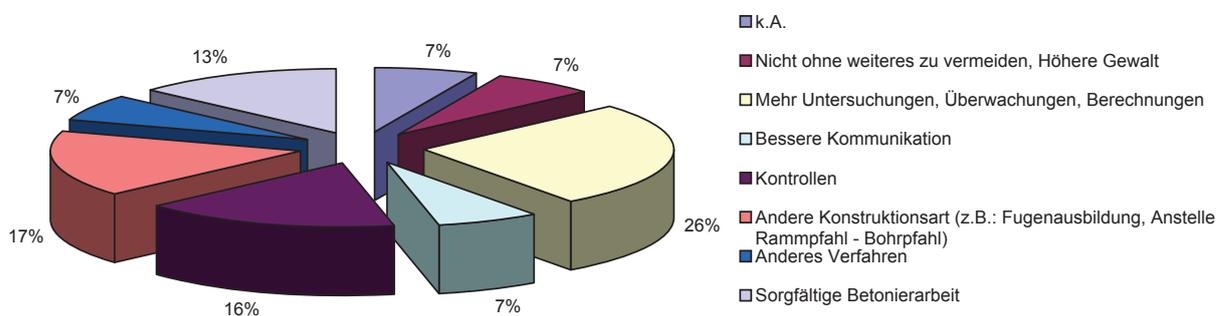


Abbildung 19: Vermeidungsstrategien

Bei der Frage „Wie hätte man den Schaden/Fehler/Mangel vermeiden können? Wodurch?“ ergab, wie in Abb. 19 ersichtlich, die Auswertung der Fragebögen folgende Verteilung der Antworten. 7% der Befragten machten bei dieser Frage keine Angaben. Weitere 7% meinten, dass der betreffende Schaden nicht ohne weiteres zu vermeiden wäre, da er auf höhere Gewalt beruhte wie z.B. Hochwasser oder starke Regenfälle. 26% gaben an, dass der Schaden durch mehr Untersuchungen, Überwachungen oder Berechnungen hätte vermieden werden können. Hierzu zählen nicht nur Bodenuntersuchungen sondern auch Untersuchungen am eingesetzten Material wie Eignungs- oder Kontrollprüfungen von Beton. Auch sind unter diesem Punkt Baustellenmessungen zur Überwachung von Verformungen zu verstehen. Bessere Kommunikation, dies gaben 7% der Befragten an, hätte den im Fragebogen beschriebenen Schadensfall vermieden. Dies gilt aber nicht nur bei der Kommunikation zwischen den Projektpartnern Planer, AN und AG sondern auch Firmenintern wie z.B. bei der Unterweisung einer Urlaubsvertretung. Bei 16% der Fragebögen kam als Antwort auf die Frage nach der Schadensvermeidung, dass mehr Kontrollen den

Schaden reduziert hätte. Darunter ist z.B. eine Kontrolle des angelieferten Betons oder der Lage der Bewehrung vor dem Betonieren zu verstehen, die geholfen hätte, den Schaden zu vermeiden. 17% gaben an, dass eine andere Konstruktion, z.B. die Fugenausbildung bei Schlitzwänden, den Schaden verringert hätte. 7% meinten, dass ein anderes Verfahren den Schaden vermieden hätte wie z.B. anstelle von Rammarbeiten, erschütterungsfreie Verfahren wie Bohrpfähle oder DSV verwenden. 13% gaben an, sorgfältige Betonierarbeit hätte den Schaden oder Mangel vermieden. Dazu zählt auch beispielsweise das Abwarten des Absetzens von Sand oder Bohrgut bei der Stützflüssigkeit vor dem Betonieren.

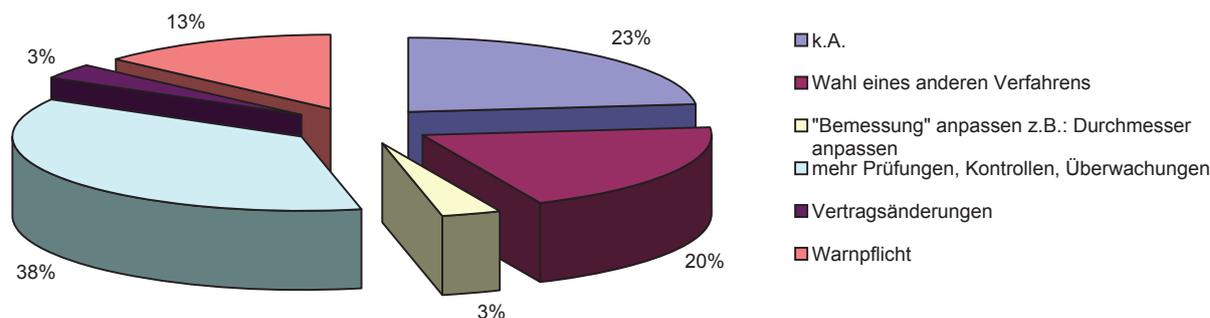


Abbildung 20: Was würden Sie anders machen?

Am Ende des Fragebogenabschnittes über den Schaden, Mangel oder Fehler wurde noch gefragt, was die Betroffenen anders machen würden mit dem Wissen aus diesen Vorfällen. Eine graphische Darstellung der Auswertung ist in Abb. 20 ersichtlich. 23% der Befragten machten hierzu keine Angaben oder es konnte nicht mehr geklärt werden, was anders gemacht werden sollte. Bei 20% der Fragebögen war die Antwort, dass, mit dem Wissen aus dem Vorfall, ein anderes Bauverfahren gewählt worden, oder das gewählte Verfahren zu adaptieren wäre. Dazu gehört z.B.: die Wahl eines erschütterungsfreien Bauverfahren oder die Anpassung der Betoniergeschwindigkeit an die örtlichen Gegebenheiten. 3% sagten aus, sie würden die Bemessung des betreffenden Spezialtiefbauwerkes anpassen. 38% der Befragten meinten, aufgrund der Erfahrungen mit diesen Schadensfall, würden sie mehr Prüfungen, Kontrollen oder Überwachungen ansetzen. Dieses Mehr an Kontrollen beziehen sich einerseits auf den Baugrund, weiters auf das Baumaterial (z.B.: Baustellenlabor zur Betonüberwachung) aber auch auf die Umwelt wie die Überwachung von Hebungen oder Setzungen an Nachbarbauwerken. 3% der Befragten gaben an, sie würden mit dem Wissen aus dem beschriebenen Schadensfall eine Vertragsänderung anstreben. Beispielsweise würde man extra auf die technische Machbarkeit hinweisen. In 13% der Fragebögen wurde angegeben, dass die Befragten, auf Grund ihrer Erfahrung, früher ihre Warnpflicht wahrnehmen würden, um den betreffenden Schaden abzuwenden oder zu minimieren.

7.3 Kosten

Für die erste Darstellung der Verteilung der Kosten wurde die gleiche Darstellung gewählt wie bei den Schadensursachen, d.h. es wurden wieder Gruppen von Kosten gebildet und diese entsprechend eingeteilt (siehe Abb. 21 auf der nächsten Seite). Für die Einteilung der Gruppen wurden die Kosten, soweit bekannt, auf die Kosten der Tiefbaumaßnahmen umgelegt, um von absoluten Größen unabhängig zu sein. Dabei bildet die Gruppe „keine Angaben“ einen recht hohen Anteil. Dies liegt einerseits daran, dass diese Daten dem Ausfüller nicht bekannt waren,

oder es wurde diese Frage nicht ausgefüllt. Eine weitere interessante Gruppe ist jene von 0% bis 5% bei der sich eine gewisse Häufung zeigt, weshalb diese Gruppe extra ausgewertet wurde. So liegen beispielsweise bei 63% der untersuchten Fragebögen die Vermeidungskosten zwischen 0% bis 5% der Tiefbaukosten

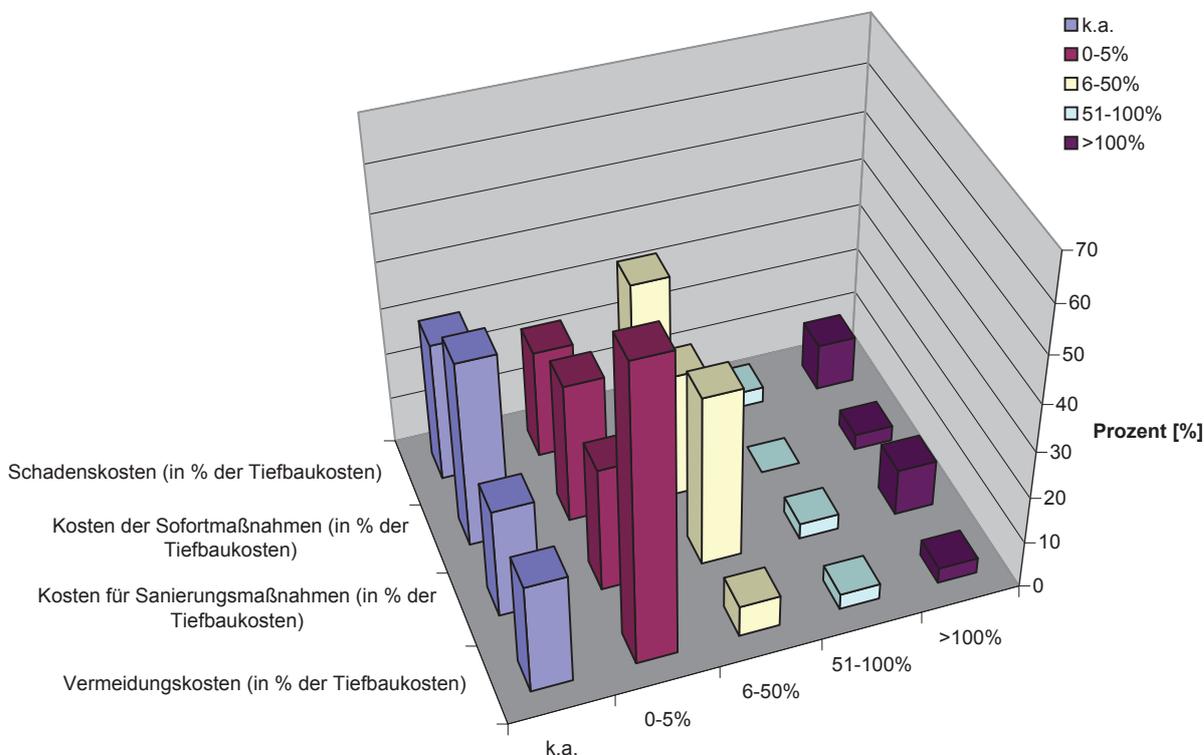


Abbildung 21: Kosten

Bei der Frage nach den Projektkosten machten 63% der Befragten keine Angaben. Dies liegt mit unter daran, dass Spezialtiefbauunternehmen nicht immer voll in die Projektentwicklung involviert sind und hauptsächlich nur als Subunternehmen tätig sind. Von den auswertbaren Antworten lag der Mittelwert bei etwa € 12,768 Mio für die Projektkosten. Jedoch schwanken die Extremwerte von etwa € 750 Tsd bis zu € 72,000 Mio, siehe dazu Tab. 3 auf Seite 78.

Bei den Kosten für den Spezialtiefbau waren in etwa 23% der Fragebögen nicht auswertbar. Bei den restlichen 77% lag der Mittelwert dieser Kosten bei etwa € 5,310 Mio. Die Werte schwanken hier von etwa € 100 Tsd bis zu € 40,000 Mio. Auf Grund der zahlreichen Nennungen wurden diese Kosten als Bezugskosten für eine prozentuale Auswertung, wie in Abb. 21 oder Tab. 2 ersichtlich, herangezogen.

Kosten	Extremwerte		Anzahl der Nennungen		
	Min.	Max	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
Schadenskosten	0,3%	933,3%	21	76,8%	202,7%
Sofortmaßnahmen	0,0%	133,3%	18	12,9%	31,1%
Sanierungskosten	0,3%	2.500%	23	165,0%	535,9%
Vermeidungskosten	0,0%	120,0%	23	13,2%	32,0%

Tabelle 2: Kosten in Prozent der Spezialtiefbaukosten

Bei der Frage nach den Schadenskosten ergab die Auswertung in Tab. 3 auf der nächsten Seite und Tab. 2 auf der vorherigen Seite Folgendes. Der Mittelwert der genannten Schadenskosten lag bei € 1,667 Mio, die Extremwerte schwanken jedoch von € 1,5 Tsd bis zu € 15,000 Mio. Eine Verteilung der Schadenskosten ist in Abb. 22 ersichtlich. Bei der Auswertung der Schadenskosten in Bezug auf die Kosten des Spezialtiefbaues zeigte sich, dass der Mittelwert der jeweiligen Schäden bei etwa 76,8% der jeweiligen Tiefbaukosten lag. Vergleicht man die Mittelwerte von Tiefbaukosten und Schadenskosten direkt, ergibt sich ein Wert von etwa 31,4% als Anteil der Schadenskosten an den Tiefbaukosten. Die Extremwerte schwanken hier von etwa 0,3% bis zu 933,3% Schadenskosten von den Spezialtiefbaukosten. Das Maximum der Schadenskosten resultiert unter anderem daraus, dass hier nicht nur Schäden am Spezialtiefbauwerk oder dem zu errichteten Gebäude eingehen können, sondern, je nach Angabe in den Fragebögen, auch Schäden an der Nachbarbebauung. 27% der Fragebögen waren bei dieser Frage nicht auswertbar.

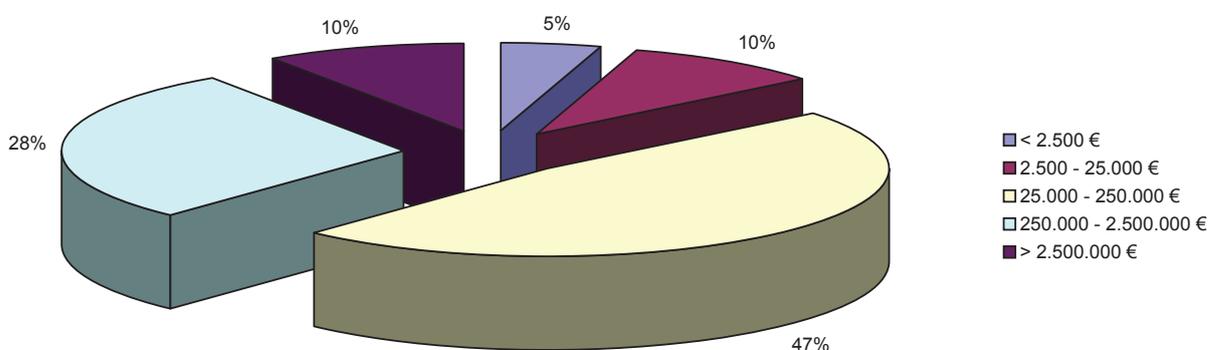


Abbildung 22: Verteilung der Schadenskosten

Die Kosten für die Sofortmaßnahmen, soweit welche getroffen wurden, umfassen den Bereich von etwa € 0,5 Tsd bis € 2,000 Mio. Der Mittelwert lag, wie in Tab. 3 auf der nächsten Seite ersichtlich, bei etwa € 361 Tsd. Bei der Auswertung in Prozent der Tiefbaukosten ergab sich ein Bereich von 0% bis zu 133,3%, der Mittelwert lag hier bei etwa 12,9% der Tiefbaukosten. 40% der Fragebögen waren bei dieser Frage nicht auswertbar.

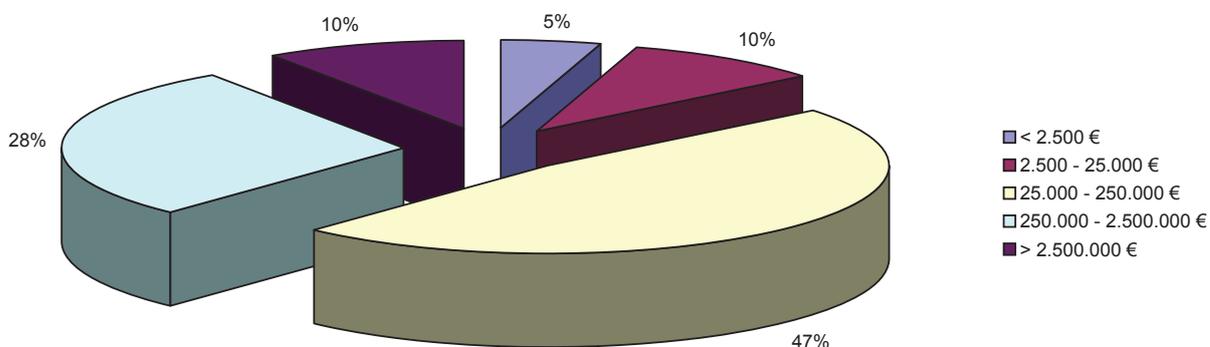


Abbildung 23: Verteilung der Sanierungskosten

Bei den Sanierungskosten ergab sich nach der Auswertung der Fragebögen folgendes Bild. 23% der Fragebögen waren bei dieser Frage nicht auswertbar. Der Mittelwert der Sanierungskosten lag bei € 1,453 Mio, die Extremwerte schwanken zwischen € 10 Tsd und € 13,000 Mio

(siehe Tab. 3). Bei der Auswertung nach dem Prozentanteil an den Tiefbaukosten lag der Mittelwert für die Sanierung bei 165,0%. Die Extremwerte umfassen den Bereich von etwa 0,3% bis zu 2.500% der jeweiligen Spezialtiefbaukosten (siehe Tab. 2 auf Seite 76). Zu beachten ist hier wieder, dass nicht nur der betreffende Bauteil zu sanieren war, sondern auch eventuell Schäden an der Folgebebauung oder der Nachbarbebauung zu sanieren war.

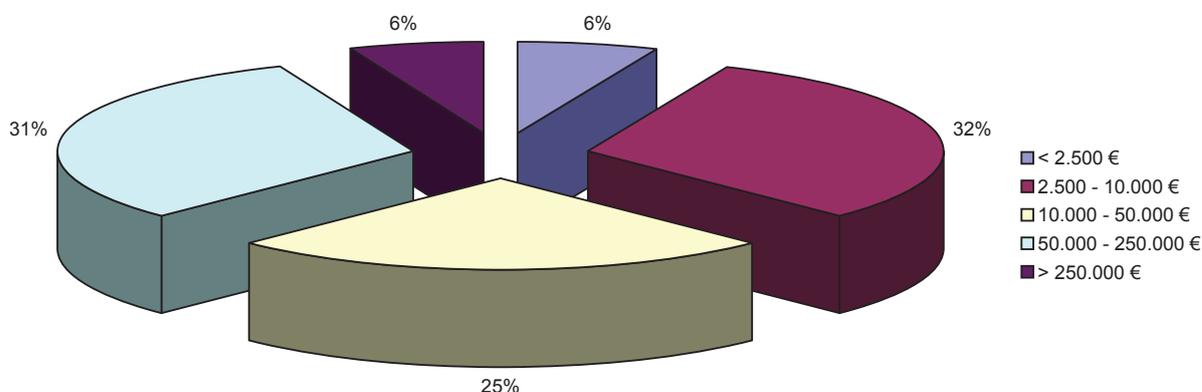


Abbildung 24: Verteilung der Vermeidungskosten

Bei der letzten Kostengruppe, den Vermeidungskosten, ergab die Auswertung einen Mittelwert von € 129 Tsd mit folgenden Extremwerten. Das Minimum in absoluten Zahlen lag, abgesehen von den Kosten für einen Telefonanruf, bei € 2,5 Tsd, das Maximum bei etwa € 1,000 Mio. Eine Verteilung der Vermeidungskosten wird in Abb. 24 dargestellt. Bei der Auswertung nach Tab. 2 auf Seite 76 liegt das Minimum bei rund 0,0%, das Maximum bei etwa 120%. Der Mittelwert bei der Auswertung nach Prozente ergab 13,2%. 23% der Fragebögen waren bei dieser Frage nicht auswertbar.

Kosten	Extremwerte		Anzahl der Nennungen		
			Anzahl	Mittelwert	Standard-
	Min.	Max			abweichung
Projektkosten	€ 750 Tsd	€ 72.000 Tsd	11	€ 12.768 Tsd	€ 21.283 Tsd
Tiefbaukosten	€ 100 Tsd	€ 40.000 Tsd	23	€ 5.310 Tsd	€ 9.856 Tsd
Schadenskosten	€ 1,5 Tsd	€ 15.000 Tsd	21	€ 1.667 Tsd	€ 4.399 Tsd
Sofortmaßnahmen	€ 0,5 Tsd	€ 2.000 Tsd	15	€ 361 Tsd	€ 682 Tsd
Sanierungskosten	€ 10 Tsd	€ 13.000 Tsd	21	€ 1.453 Tsd	€ 3.694 Tsd
Vermeidungskosten	€ 2,5 Tsd	€ 1.000 Tsd	16	€ 129 Tsd	€ 247 Tsd

Tabelle 3: Kosten in Euro

7.4 Planung/Voruntersuchung

Bei der Frage „Welche geotechnische Untersuchungen gab es?“ und „Entsprachen die gemachten Untersuchungen dem Stand der Technik?“ ergab die Auswertung, dass es für alle untersuchten Fälle jeweils mind. ein Geotechnisches Gutachten gab mit Aufschlussbohrungen, Rammsondierungen oder Erkundungsschürfe. Diese entsprachen nach den Angaben in den Fragebögen durchwegs den jeweiligen Stand der Technik.

Bei der Frage „Hätten mehr Untersuchungen den/das Schaden/Mangel/Problem verhindert?“ (siehe Abb. 25 auf der nächsten Seite) sagten 70% der Befragten nein, mehr geotechnische

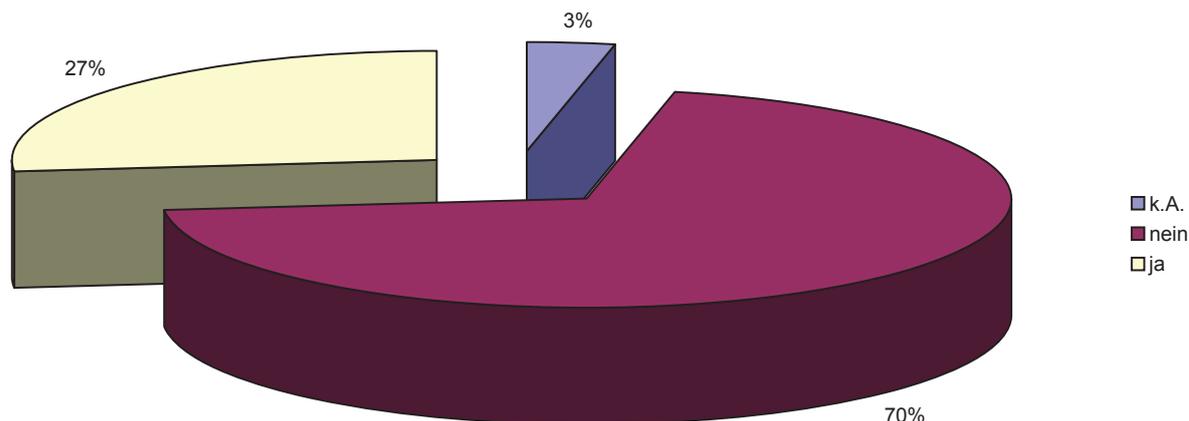


Abbildung 25: Hätten mehr Untersuchungen den Schaden verhindert?

Untersuchungen wären nicht nötig. 27% meinten ja. In den Fragebögen wurden dazu angegeben, dass unter anderem Probelastungen, tiefere Erkundungsmaßnahmen oder eine bessere Qualität der Laborergebnisse den Schaden oder Mangel zumindest vermindert hätte. 3% der Befragten machten keine Angaben.

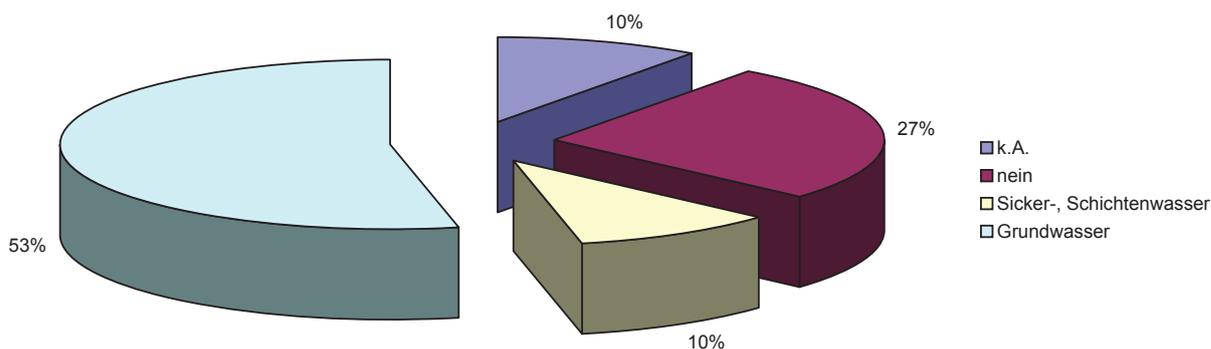


Abbildung 26: Grundwasser

Gefragt nach der Grundwassersituation, machten etwa 10% der Befragten keine Angaben zu den Fragen nach Grundwasser, Wasserhaltungsmaßnahmen und Grundwasserüberwachung. 27% gaben an, dass das betreffende Spezialtiefbauwerk nicht im Grundwasser lag (siehe Abb. 26). Weitere 10% der Befragten gaben an, beim Wasser im Bereich des Spezialtiefbaues, handelt es sich um Sicker- oder Schichtenwasser. Bei 53% der Fragebögen wurde angegeben, dass das zu errichtende Bauwerk im Grundwasser lag.

Wie in Abb. 27 auf der nächsten Seite ersichtlich, gab es bei 57% der Fragebögen keine Wasserhaltungsmaßnahmen. Bei den 33% mit Wasserhaltung bestand diese nach Angaben auf den Fragebögen beispielsweise aus Absenkbrunnen mit oder ohne laufenden Pumpbetrieb sowie dem Einsatz von Vakuumbrunnen.

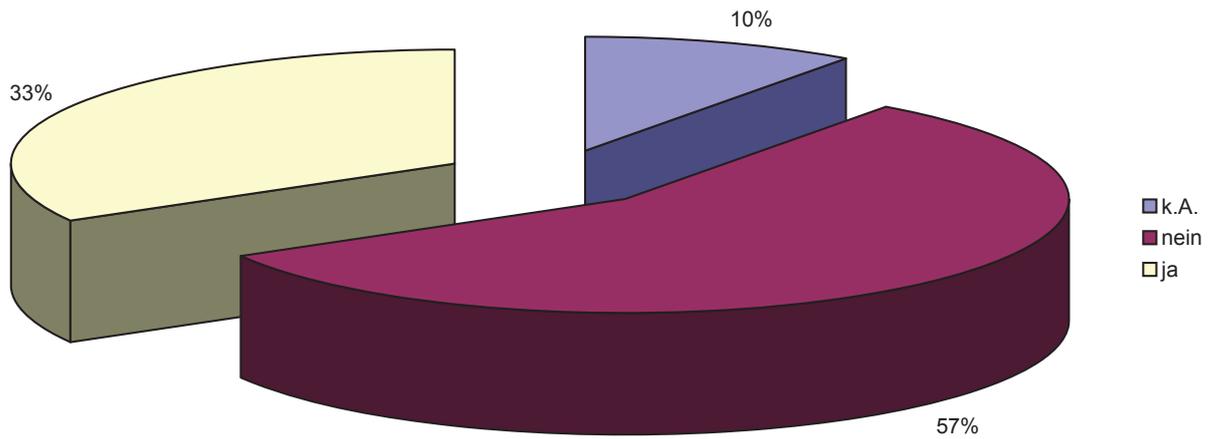


Abbildung 27: Wasserhaltungsmaßnahmen

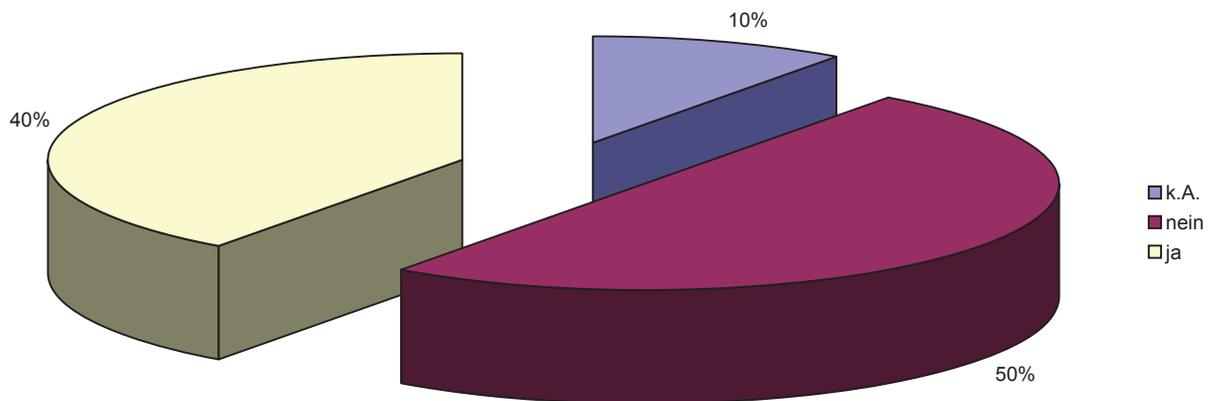


Abbildung 28: Grundwasserüberwachung

In Abb. 28 wird dargestellt, dass es bei 50% der Fragebögen keine Grundwasserüberwachung gab, bei 40% gab es sehr wohl eine Grundwasserüberwachung.

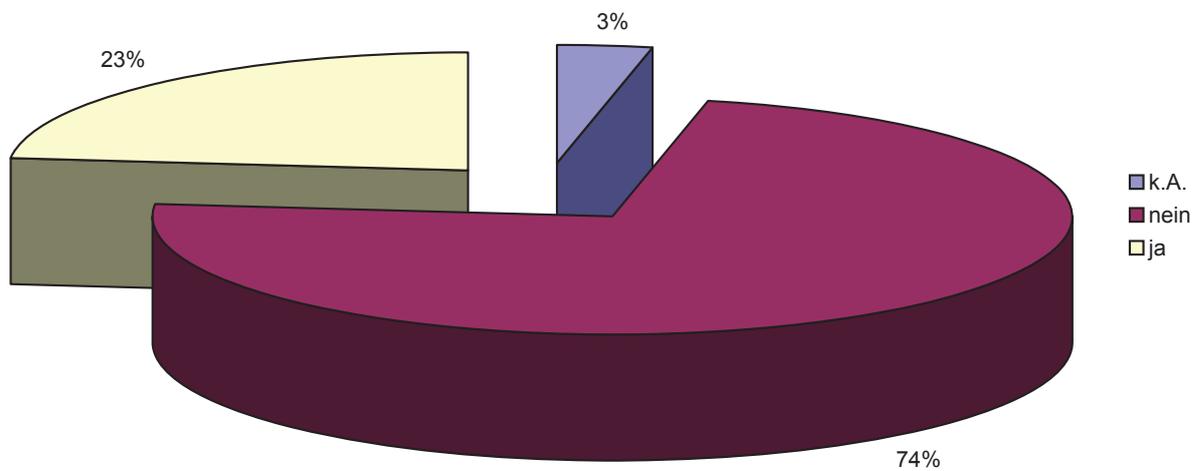


Abbildung 29: Wurde auf mögliche Fehler Rücksicht genommen?

Gefragt wurde unter anderem auch, ob schon bei der Planung auf Fehler/Schaden/Mangel

Rücksicht genommen wurde. Die Auswertung dieser Frage wurde in Abb. 29 auf der vorherigen Seite dargestellt. Es zeigte sich, dass 3% der Befragten keine auswertbaren Angaben machten. 74% der Befragten meinten, dass es bei dem betreffenden Vorfall keine Berücksichtigung des jeweiligen Schadens schon in der Planungsphase gab. 23% sagten, dass es sehr wohl eine Berücksichtigung gab. Diese umfasste beispielsweise Notfallpläne für den betroffenen Schadensfall, Konzentration auf sensible Nachbargebäude oder das Festlegen von Reserven bei der Mindestdruckfestigkeit.

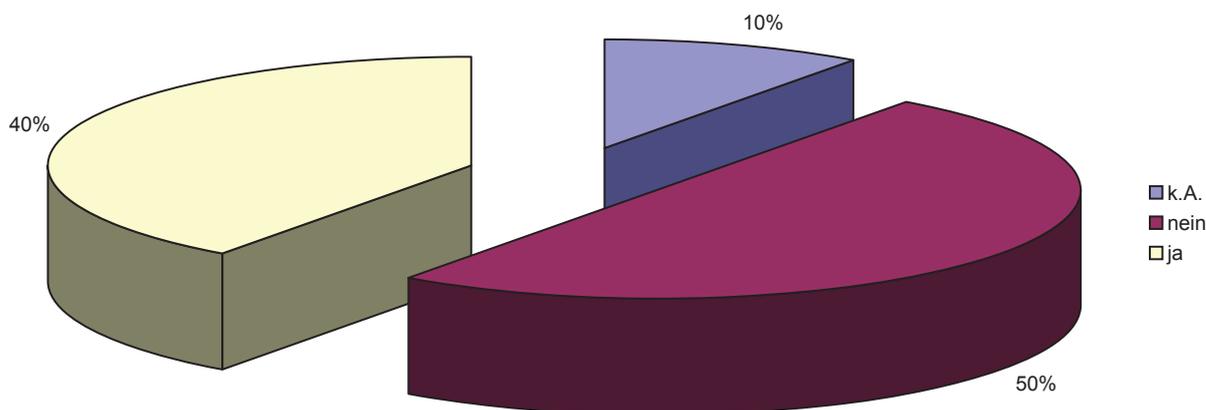


Abbildung 30: Hätte ein anders Spezialtiefbauverfahren den Fehler verhindert?

Als letzte Frage im Fragebogenabschnitt über die Planung und Voruntersuchungen wurde gefragt: „Hätte ein anderes Spezialtiefbauverfahren den Fehler/Schaden/Mangel verhindert/minimiert?“. 10% der Befragten machten hierzu keine Angaben, 50% der Befragten verneinten dieser Frage, 40% meinten ja, ein anderes Verfahren hätte den angesprochenen Schaden verhindert oder minimiert (siehe Abb. 30). Die Verteilung der genannten Ersatzverfahren ist in Abb. 31 ersichtlich. Den größten Anteil mit 45% haben die Bohrpfähle, gefolgt von dem Schlitzwandverfahren mit 23%. Weiters folgen mit jeweils 8% Nagelwand, DSV, Bohrverfahren und Innenschale. Unter Bohrverfahren ist in diesem Fall eine Anpassung des Spülsystems, bei sich veränderten Baugrund, zu verstehen. Unter Innenschale wären hier Baumeisterarbeiten als Unterstützungsmaßnahmen für das Spezialtiefbauwerk zu verstehen.

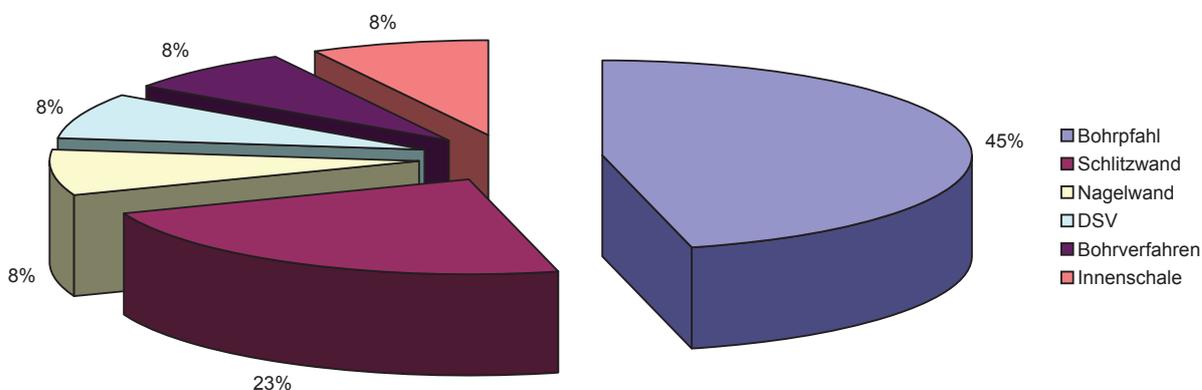


Abbildung 31: Ersatzverfahren

7.5 Ausschreibung/Vertrag

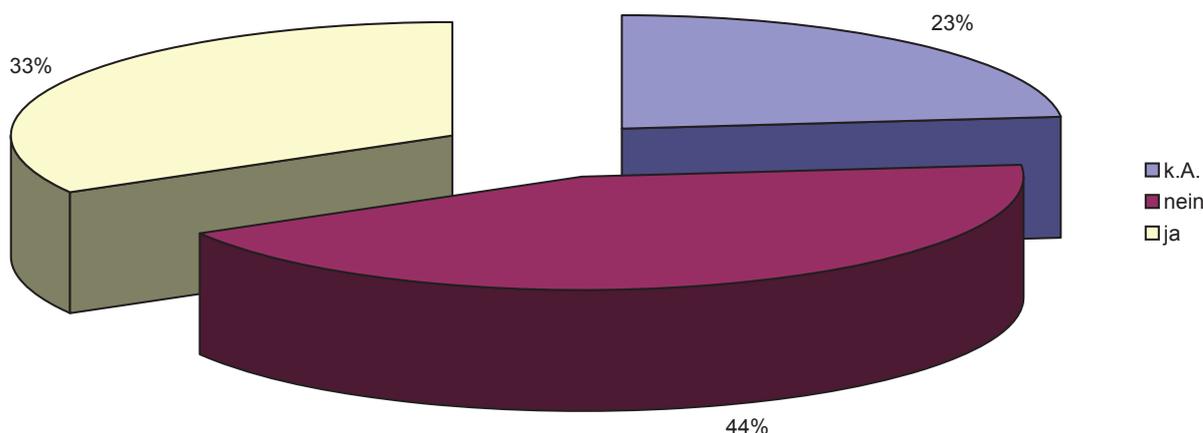


Abbildung 32: Vereinbarungen zu Mängel

Die erste Frage im Fragebogenabschnitt über Ausschreibung und Vertrag war „Gab es spezielle Vereinbarungen zum Mangel?“. Wie in Abb. 32 ersichtlich gaben 23% der Befragten keine verwertbaren Antworten. 44% beantworteten diese Frage mit nein, weitere 33% gaben an, dass eine spezielle Vereinbarung im Bauvertrag zu Mängel existiert hat. Diese umfasste z.B. eine geforderte Wasserdichtheit von Beton oder den Verweis auf Normen oder Richtlinien.

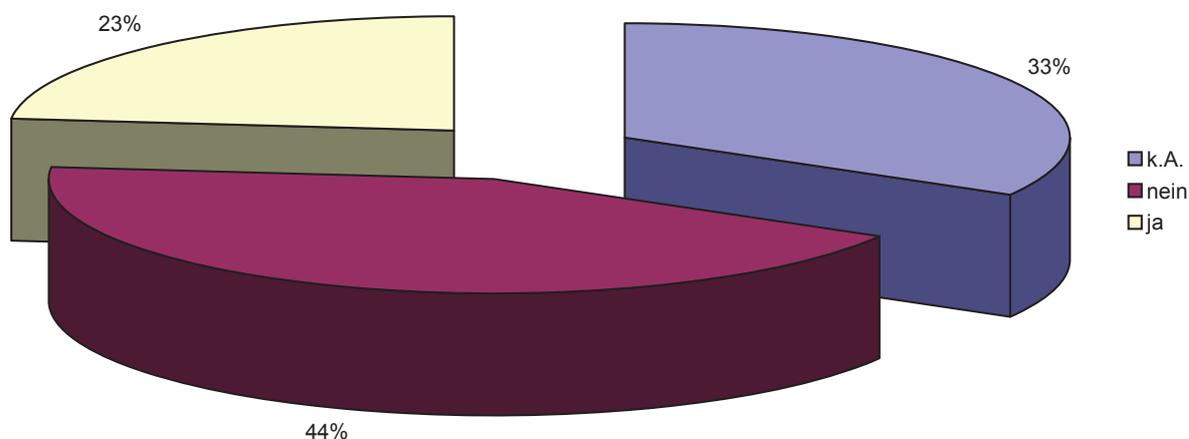


Abbildung 33: Gab es eine technische Definition?

Weiters wurde gefragt, ob es im Vertrag eine genaue technische Definition gab, was mangelhaft/schadhaft/fehlerhaft ist? Die Abb. 33 zeigt die graphische Auswertung dieser Frage. 33% der Befragten machten dazu keine Angaben. Bei 44% der Fragebögen wurde die Antwort nein angegeben, bei 23% ja. Diese technische Definitionen waren unter anderem Wasserhaltungsmengen bei Abdichtungsaufgaben oder die Begrenzung von Hebungen oder Setzungen an Nachbarbauwerken.

Die letzte Frage zu diesem Kapitel und in diesen Fragebogen lautete „Wäre der Fehler/Schaden/Mangel durch eine andere Ausschreibung nicht aufgetreten?“. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse ist in Abb. 34 auf der nächsten Seite dargestellt. 30% der Befragten machten zu dieser Frage keine Angaben. Bei 27% der Fragebögen wurde ein Nein angegeben,

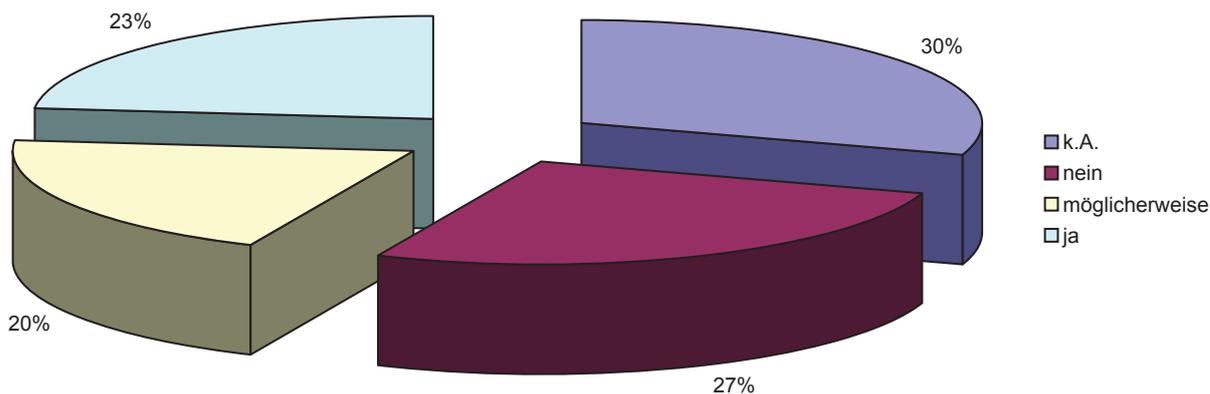


Abbildung 34: Andere Ausschreibung

durch eine andere Ausschreibung wäre der Fehler trotzdem aufgetreten. Dies gilt z.B. für Höhere Gewalt wie Hochwasserereignisse. 20% der Befragten gaben an, möglicherweise hätte eine andere Ausschreibung den aufgetretenen Schaden oder Mangel verhindert. 23% meinten Ja, durch eine andere Ausschreibung wäre der Schaden nicht aufgetreten.

7.6 Blick über den Tellerrand: Vergleich mit anderen Bauschadensberichten

Im Folgenden werden einige Ergebnisse von anderen Autoren zum Thema Bauschaden wiedergegeben um sie mit Ergebnissen dieser Untersuchung zu vergleichen. Dazu wurde der 1. Österreichische Bauschadensbericht⁹⁸ als österreichische Referenz zum Thema Bauschaden und der Forschungsbericht Bauschäden im Spezialtiefbau⁹⁹ aus Deutschland mit besonderem Bezug zum Spezialtiefbau, herangezogen.

7.6.1 Der 1. Österreichische Bauschadensbericht

Der 1. österreichische Bauschadensbericht wurde vom ofi-Institut für Bauschadensforschung (IBF) und der Wirtschaftskammer Österreich (WKÖ) Geschäftsstelle Bau im Jahr 2005 veröffentlicht. Ziel des Forschungsprojekts war, die Ermittlung von Kennzahlen für den Hochbaubestand als Grundlage für den effizienteren Einsatz von Mitteln in den Bereichen Planung, Ausführung und Forschung zur Vermeidung von Bauschäden darzustellen und die Qualität von Planungs- und Bauleistungen beizubehalten bzw. langfristig noch weiter zu erhöhen¹⁰⁰. Für die Datenerhebung wurde, wie bei dieser Untersuchung, ein Fragebogen entwickelt und an planende und ausführende Baumeister und an industrielle Bauunternehmen versendet. In diesem Fragebogen wurde unter anderem folgende Fragenabschnitte behandelt. Es wurde nach der Schadenshöhe, dem betroffenen Bauteil, der Schadensursache und der Bauqualität gefragt. Für einen Vergleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit, wurden die Auswertung des Fragenabschnittes über die Schadensursachen herangezogen. Die anderen Auswertungen schienen für einen Vergleich nicht relevant, da z.B. die Ermittlung der Schadenskosten in Prozent der gesamten Baukosten erfolgte. Die Angaben der Sanierungskosten erfolgte in Prozent des Unternehmerumsatzes und

⁹⁸ Balak, Michael/Rosenberger, Robert/Michael, Steinbrecher: *1. Österreichischer Bauschadensbericht*. Wien: ofi-Institut für Bauschadensforschung and Wirtschaftskammer Österreich, 2005.

⁹⁹ Rizkallah, V. et al.: *Bauschäden im Spezialtiefbau*. Hannover, 1990 – Technischer Bericht.

¹⁰⁰ Vgl. Balak/Rosenberger/Michael (2005), S. 1.

ist somit auch nicht mit den Ergebnissen dieser Untersuchung vergleichbar. Auf Grund der anderen Fachrichtung der Untersuchung scheint auch ein Vergleich der schadensbetroffenen Bauteile nicht zielführend. Auch die Entwicklung der Bauqualität wurde in dieser Untersuchung nicht abgefragt.

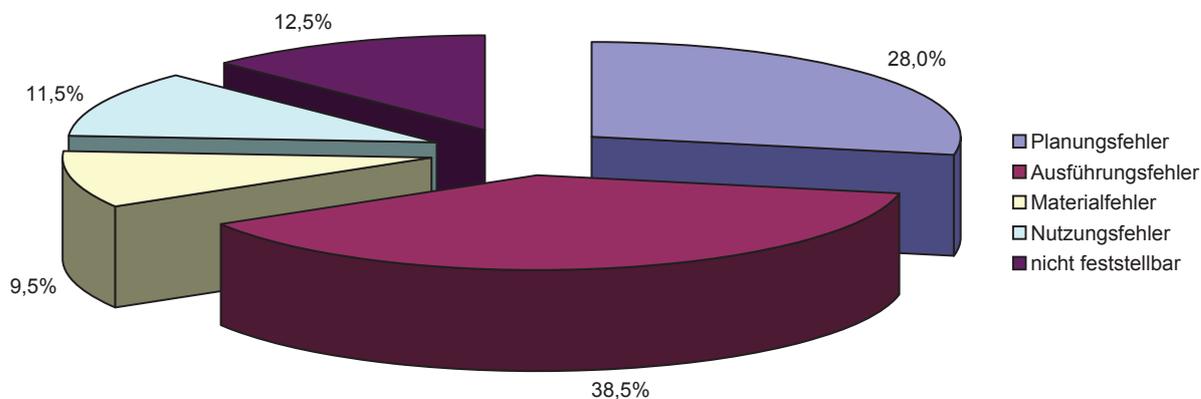


Abbildung 35: Schadensursachen in Prozent

Für die Auswertung des Fragebogenabschnittes zur Schadensursachen waren, gemäß dem 1. österreichischen Bauschadensbericht, 121 Fragebögen auswertbar. Die Ergebnisse sind in Abb. 35¹⁰¹ dargestellt. Demzufolge wurden mit 28% Planungsfehler als Ursache genannt. Die größte Gruppe mit 38,5% sind auf Ausführungsfehler zurückzuführen. Mit 9,5% sind, nach dem Bauschadensbericht, die Materialfehler verantwortlich für Bauschäden im Hochbau in Österreich. Durch die Nutzung wurden 11,5% der Bauschäden verursacht. Bei 12,5% der auswertbaren Fragebögen, war, nach Ansicht der Autoren, die Schadensursache nicht eindeutig feststellbar.

Diese Darstellung lässt sich am besten mit Abb. 13 auf Seite 70 vergleichen, wenn man die differenziertere Darstellung dieser Untersuchung vereinfacht und die Schadensursachen aus Abb. 13 auf Seite 70 zusammenfasst. So lassen sich z.B.: die Ausschreibungsfehler zu den Planungsfehlern zählen, da in der Regel die Ausschreibung ein Produkt der Planung ist. Das gleiche gilt etwa für die Verfahrensfehler, die im Allgemeinen zur Ausführung zählen. Mit diesen Vereinfachungen zeigt sich, dass:

- der Anteil der Planungsfehler dieser Untersuchung etwa auf 25,8% anwachsen würde. Somit liegen die Planungsfehler im Bereich des Spezialtiefbaues etwas unter den Planungsfehlern im Hochbau.
- Der Anteil der Ausführungsfehler in dieser Untersuchung würde auf 41,7% steigen. D.h. die Fehler im Bereich Ausführung liegen über den Ausführungsfehlern im Hochbau.
- Die Materialfehler mit 11,7% in dieser Untersuchung liegen über den Materialfehlern im Hochbau bei 9,5% der untersuchten Fragebögen.
- Während die Nutzungsfehler in dieser Untersuchung nur mit 0,7% ins Gewicht fallen, erreichten die Nutzungsfehler im Hochbau einen Wert von etwa 11,5%. Dieser im Vergleich hohe Anteil könnte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass es sehr viel mehr

¹⁰¹ Balak/Rosenberger/Michael (2005), S. 23.

private Nutzer im Hochbau gibt (z.B.: ohne näher darauf einzugehen: Schimmelbildung durch „falsche“ Lüftung).

- Auf Grund der größeren Auswahl an Schadensursachen bei dieser Untersuchung ist die Gruppe der nicht eindeutig feststellbaren Schadensursachen mit 1,2% deutlich kleiner als im 1. österreichischen Bauschadensbericht mit 12,5% Anteil an den Ursachen. In wieweit in dieser Gruppe mangelnde Kommunikation oder Erfahrung auf alle im Bauprozess beteiligten Personen zutreffen kann, oder Höhere Gewalt das Ergebnis beeinflusst ist nicht bekannt.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse ist die relativ geringe Stichprobenzahl dieser Untersuchung zu bedenken, sowie die doch geringe Auswahlmöglichkeit an Schadensursachen im 1. österreichischen Bauschadensbericht. 2008 wurde der 2. österreichische Bauschadensbericht veröffentlicht. Dieser befasst unter anderem mit Abdichtungen erdberührter Bauteile. Jedoch bestand der Forschungsschwerpunkt im Bereich des Hochbaues, die untersuchten Abdichtungsarbeiten umfassten konventionelle Kellerkonstruktionen im Hochbau mit Schwarzdeckerabdichtungen. Dies ist somit mit dem Schwerpunkt dieser Arbeit nur bedingt vergleichbar¹⁰². Lediglich die grundsätzliche Verteilung der Planungs-, Ausführungs- und Materialfehler oder der anderen Schadensursachen entspricht ungefähr der Verteilung im 1. österreichischen Bauschadensbericht.

7.6.2 Bauschäden im Spezialtiefbau

Das deutsche Institut für Bauschadensforschung e.V., Hannover hat sich zum Ziel gesetzt, eine systematische Bauschadensforschung durchzuführen. Ziel des Institutes ist eine wirksame Reduzierung von Bauschäden durch Erarbeitung eines Maßnahmenkataloges, indem die wesentlichen Erkenntnisse aus dem tatsächlichen Bauschadensgeschehnissen erfasst werden. Unter anderem wurde von diesem Institut ein Forschungsvorhaben gestartet, dass sich der systematischen Bauschadensforschung im Fachgebiet „Grundbau und Spezialtiefbau“ widmet¹⁰³. Eine der ersten Veröffentlichungen zu diesem Fachgebiet behandelt das Thema Baugruben, Rohrvortriebe sowie unterirdische Bauanlagen. Die folgenden Vergleiche beziehen sich auf den Abschnitt der Forschungsarbeit, der die Baugruben beinhaltet. Die weiteren Abschnitte der deutschen Untersuchung wie Gräben zum Leitungsbau oder begehbare und nichtbegehbare Rohrvortriebe scheinen mit ihren Spezialbauverfahren zu weit entfernt zu den Bauverfahren, die in dieser vorliegenden Untersuchung bearbeitet wurden. Zu bedenken ist, dass in dieser Untersuchung der Anteil der Baugruben bei etwa 32% liegt.

Für diese, von 1988 bis 1990 in Deutschland gemachte, Untersuchung wurden folgende Quellen herangezogen:

- Literaturrecherche,
- Fragebogenaktion (Lt. Bericht waren zum Thema Baugruben 32 Fragebögen auswertbar¹⁰⁴),

¹⁰² Vgl. Balak, Michael et al.: *2. Österreichischer Bauschadensbericht*. Wien: ofi-Institut für Bauschadensforschung and Wirtschaftskammer Österreich, 2008.

¹⁰³ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 1.

¹⁰⁴ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 6.

- Versicherungsakten (Lt. Bericht waren zum gesamten Thema 1050 Akten auswertbar¹⁰⁵),
- Direktkontakte zu Baufirmen.

Zu dem mit dieser Untersuchung vergleichbaren Bereich, den Baugruben, waren lt. Forschungsbericht 432 Bauschadensfälle, die sich zwischen 1980 bis 1989 ereigneten, ausgewertet worden.

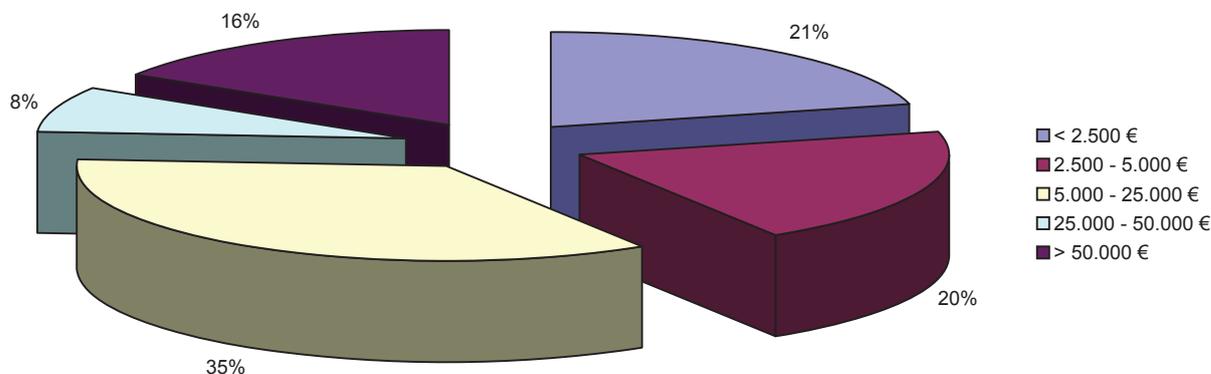


Abbildung 36: Häufigkeit der Einzelschadenskosten bei Baugruben

Bei dem Vergleich der Kosten ist zu beachten, dass für die hier wiedergegebene Darstellung (Abb. 36¹⁰⁶) die Angaben in Deutscher Mark bereits in Euro umgerechnet wurden, diese jedoch keine Anpassungen wie Inflation beinhalten. Vergleichbar wäre dieses Ergebnis etwa mit Abb. 22 auf Seite 77, jedoch wurde für diese Untersuchung eine andere Einteilung der Gruppen gewählt. Die Gruppe der Schadenskosten bis etwa € 2,5 Tsd hatte einen Anteil von 21% an der Häufigkeit von Schadenskosten bei der Untersuchung in Deutschland, bei dieser Untersuchung kam der Anteil von Schadenskosten bis € 2,5 Tsd nur auf 5%. Die nächste Kostengruppe in Abb. 22 auf Seite 77 mit einem Anteil von 10% ist jene von € 2,5 Tsd bis € 25 Tsd. Diese nimmt bei der deutschen Untersuchung einen Anteil von 55% ein. Danach folgt mit einem Anteil an den Schadenskosten von 47% die Gruppe von € 25 Tsd bis € 250 Tsd. Bei der deutschen Untersuchung hingegen folgt eine andere Unterteilung in Kostengruppe von € 25 Tsd bis € 50 Tsd mit einem Anteil von 8% und einer Kostengruppe größer € 50 Tsd mit einem Anteil von 16%. Dadurch wird ein weiterer Vergleich erschwert. Ein Vergleich der Mittelwerte der jeweiligen Schadenskosten macht deutlich, wie weit diese Kosten auseinander liegen. So liegt der Mittelwert der deutschen Untersuchung bei umgerechnet ca. € 26 Tsd¹⁰⁷, der Mittelwert dieser Untersuchung bei € 1,667 Mio¹⁰⁸.

Dieser große Unterschied in der Verteilung der Schadenskosten sowie des Mittelwerts lässt sich auf verschiedene Weise erklären. Durch Effekte wie Inflation ist der betragsmäßige Schadenswert nach etwa 25-30 Jahren heute größer. Die deutsche Untersuchung hat sich in ihrer Zielsetzung vor allem auf kleine und mittelständische Unternehmen konzentriert, da diese selbst kaum über Möglichkeiten einer Schadensanalyse verfügen¹⁰⁹. Bei dieser Untersuchung wurden eher größere Firmen befragt.

¹⁰⁵ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 6.

¹⁰⁶ Rizkallah et al. (1990), S. 19.

¹⁰⁷ Rizkallah et al. (1990), S. 19.

¹⁰⁸ Tab. 3 auf Seite 78.

¹⁰⁹ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 1.

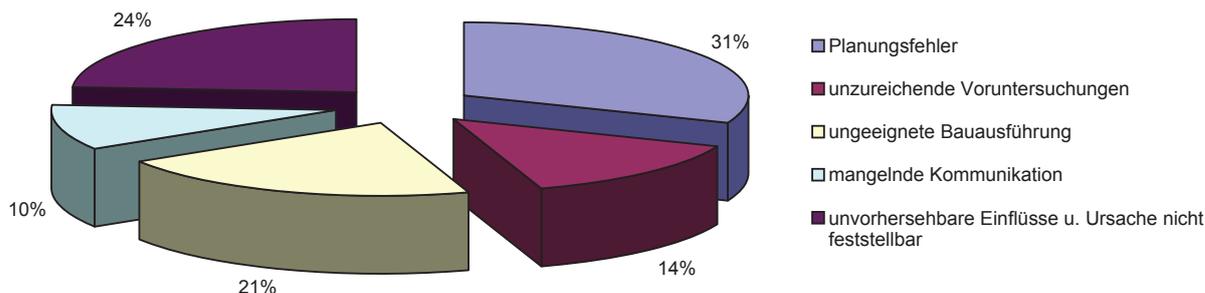


Abbildung 37: Verteilung der Bauschadensquellen bei Baugruben

Die Verteilung der Bauschadensquellen bei Baugruben, wie sie in Abb. 37¹¹⁰ ersichtlich ist, stellt sich nach dem deutschen Institut für Bauschadensforschung folgendermaßen dar. 31% der Bauschäden bei Baugruben resultieren dabei aus Planungsfehlern. Weitere 14% der entstandenen Bauschäden bei Baugruben haben ihren Ursprung in unzureichenden Voruntersuchungen. Bei 21% war eine mangelnde Bauausführung die Hauptschadensquelle. Mangelnde Kommunikation spielte bei 10% der untersuchten Bauschäden eine Rolle. 24% der Schäden kamen aus unvorhersehbaren Einflüssen zustande bzw. die Ursache war nicht eindeutig feststellbar.

Dieses Darstellung lässt sich wieder am besten mit Abb. 13 auf Seite 70 vergleichen. Auch hier muss man die differenziertere Darstellung in Abb. 13 auf Seite 70 dieser Untersuchung vereinfachen, wie z.B.: die Ausschreibungsfehler zu den Planungsfehlern zählen da diese in der Regel ein Produkt der Planung ist. Das gleiche gilt etwa für die Verfahrensfehler, die im Allgemeinen zur Ausführung zählen. Auch müssten im deutschen Bericht die Planungsfehler mit der unzureichenden Voruntersuchung zusammengefasst werden, um einen in etwa gleichen Bereich an Bauschadensquellen abzudecken. Mit diesen Vereinfachungen zeigt sich, dass:

- der Anteil der Planungsfehler in dieser Untersuchung liegt bei etwa 25,8%. Der Anteil der Planungsfehler bei der deutschen Untersuchung würde so auf 45% anwachsen.
- Der Anteil der Ausführungsfehler würde auf 41,7% steigen. Bei der deutschen Untersuchung lagen die Ausführungsfehler bei 21%
- Die mangelnde Kommunikation mit 4,7% in dieser Untersuchung liegen unter der mangelnden Kommunikation bei 10% der untersuchten Bauschadensfälle bei der deutschen Untersuchung.
- Bei der deutschen Untersuchung ergab die Gruppe unvorhersehbare Einflüsse und Ursache nicht feststellbar einen Anteil von 24%. Wenn man die Gruppen Höhere Gewalt und nicht feststellbar von dieser Untersuchung zusammenfasst, kommt man auf einen Anteil etwa 7,2%
- Die weiteren Schadensquellen dieser Untersuchung wie mangelnde Erfahrung, Material- oder Nutzungsfehler, lassen sich nicht direkt auf die deutsche Untersuchung umlegen. Diese würden zusammen einen Anteil von etwa 20,3% ergeben.

Interessant ist hier vor allem die große Differenz zwischen den Untersuchungen bei den Planungs- und Ausführungsfehlern. Eine mögliche Ursache liegt in der untersuchten Datenmenge. Für diese

¹¹⁰ Rizkallah et al. (1990), S. 21.

Untersuchung konnten 30 Fragebögen ausgewertet werden. Für die deutsche Untersuchung lagen 432 Bauschadensfälle vor, wovon die meisten Fälle aus Versicherungsakten stammten. Diese Versicherungsakten wurden mit einer anderen Zielsetzung bearbeitet. Die Versicherungsexperten interessieren sich in erster Linie, ob und wie viel die Versicherung regulieren muss. Nachdem eine eindeutige Verpflichtung der Versicherung nachgewiesen war, fanden kaum weitere technische Untersuchungen zum Schadensfall statt¹¹¹. Die Auswertung der Versicherungsakten erfolgten durch das Institut selbst, die Fragebögen jedoch wurden von den Baufirmen selbst ausgefüllt. Schon dadurch ergeben sich verschiedene Sichtweisen, die sich in den Ergebnissen widerspiegeln können. Weiters beziehen sich die hier verwendeten Daten der deutschen Untersuchung nur auf Baugruben, da die anderen Daten der Untersuchung sich nicht mit den Spezialtiefbauverfahren dieser Untersuchung decken.

¹¹¹ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 60.

8 Einige Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Für die Auswertung standen 30 Fragebögen zur Verfügung. Im Vergleich zu den anderen, in dieser Arbeit präsentierten, Bauschadensberichten zeigte sich, dass z.B.: für die Untersuchungen des 1. österreichischen Bauschadensberichtes 121 Fragebögen ausgewertet wurden. Für den passenden Abschnitt aus dem Forschungsbericht Bauschäden im Spezialtiefbau aus Deutschland wurden 32 Fragebögen ausgewertet, jedoch standen den Verfassern der deutschen Untersuchung über 400 Versicherungsakten zur Verfügung, um eine aussagekräftigere Statistik zu erhalten. Die geringe Menge an Daten, im Vergleich mit den zuvor erwähnten andern Untersuchungen, stellt einen Kritikpunkt dieser Arbeit dar. Wie sich bei der Auswertung zeigte, sind die Standardabweichungen bei manchen Antworten relativ groß (siehe z.B.: Tab. 3 auf Seite 78). Weiters wurde versucht Daten von Versicherungen zu erhalten, jedoch fehlen in Österreich große Fachversicherer. Lediglich die Verteilung der Spezialtiefbauverfahren bei Bauschadensfälle (siehe Abb. 5 auf Seite 65) konnte in einem direkten Telefongespräch mit einer großen Versicherungsfirma bestätigt werden.

Sollte sich die Verteilungen bei einer Erweiterung der Datenmenge nicht mehr (viel) ändern, so können diese Ergebnisse auf die Schadenssituation des Spezialtiefbaues in Österreich umgelegt werden. Zumindest sind sicher gewisse Rückschlüsse als Ergebnis dieser Arbeit im Bereich der Bauschadensforschung zulässig. Auf Grund der Auswertung der Daten der Fragebogenaktion können beispielsweise nachfolgende Aussagen getroffen werden. Weitere Auswertungen wurden in Kap. 7 auf Seite 64 präsentiert, hier werden zwei Themenbereiche zur Diskussion wiedergegeben.

8.1 Schadensursachen

Zu beachten ist, dass jeweils Mehrfachnennungen möglich waren. Für die Darstellung der Schadensursachen wurden verschiedene Auswertungen gewählt. So wurden die Befragten gebeten die Schadensursachen den Sphären der am Bauprozess Beteiligten anzugeben. Diese Auswertung ist in Abb. 11 auf Seite 69 dargestellt. Eine Verteilung rein über die Anzahl der Nennungen ist in Abb. 12 auf Seite 70 wiedergegeben. Interessanter ist die Darstellung der, über die Prozentzahl und Nennungen gewichtete, Verteilung der Schadensursachen in Abb. 13 auf Seite 70. Diese Darstellung lässt sich am besten mit den anderen Ergebnissen der Bauschadensforschung vergleichen, da ebenfalls ähnliche Darstellungen gewählt wurden. Ein weiterer interessanter Ansatz ist der Vergleich der Minimum-, Maximum- sowie der Mittelwerte aus Tab. 1 auf Seite 72.

So ergeben die Auswertungen z.B. für die Ausführungsfehler einen gewichteten Anteil von 30,3% an den Schadensursachen. Dies wäre der große Anteil an den Bauschadensursachen bzw. den Bauschadensquellen. Der Mittelwert über alle auswertbaren Fragebögen liegt bei etwa 29,3%. Bildet man den Mittelwert nur über die Anzahl der Nennungen liegt dieser bei etwa 44,0%. Der Wertebereich der Nennungen lag zwischen 10% und 100%.

Bei den Planungsfehlern liegt der gewichtete Anteil bei etwa 17,2%, der Mittelwert über alle Fragebögen bei 16,7%. Der Mittelwert über die Anzahl der Nennungen gebildet, liegt bei 35,7%. Der Minimalwert der Nennungen liegt bei 5%, der Maximalwert liegt bei 80%.

Bei den Materialfehlern liegt der gewichtete Anteil an den Schäden liegt bei 11,7%, der Mittelwert über alle Fragebögen liegt bei 11,3%. Der Mittelwert über die Nennung liegt bei 68%. Dies stellt den höchsten Mittelwert bei der Auswertung, mit Berücksichtigung der Anzahl

der Nennungen, dar. Die Extremwerte schwanken zwischen 30% und 100%.

Verfahrensfehler haben einen gewichteten Anteil von 11,7% an den Schäden bei Spezialtiefbauverfahren. Der Mittelwert über alle Fragebögen liegt bei 11,3%, der Mittelwert über die Anzahl der Nennungen liegt bei 48,6%. Das Minimum bei dieser Schadensursache wurde mit 30% genannt, das Maximum bei 70%.

Bei Höherer Gewalt ergab die Auswertung einen gewichteten Anteil von 5,8%. Der Mittelwert aus der Gesamtbetrachtung ergab einen Wert von 5,7%. Der Mittelwert unter der Berücksichtigung der Anzahl der Nennungen ergibt sich zu 56,7%. Die Werte liegen bei dieser Schadensursache zwischen 20% und 80%.

Dies sind nur einige Beispiele der Auswertung der Schadensursachen, mehr dazu ist unter Punkt 7.2 auf Seite 66 ersichtlich.

8.2 Kosten

Bei den Kosten hat es sich herausgestellt, dass auf Grund des großen Schwankungsbereiches der angegebenen Werte, ein Vergleich der Prozentwerte am aussagekräftigsten ist. Als Bezugsgröße wurde die jeweiligen Spezialtiefbaukosten gewählt. Die Auswertung wurde beispielsweise in Tab. 2 auf Seite 76 zusammengefasst. So ergab sich ein Mittelwert der jeweiligen Schadenskosten von etwa 76,8% der jeweiligen Tiefbaukosten. Die angegebenen Werte der Befragten schwanken jedoch in einem Bereich von 0,3% bis zu 933%. Die extremen Schadenskosten über 100% resultieren vor allem auf Schäden an Dritte wie einer Nachbarbebauung. Eine Verteilung der Schadenskosten ist in Abb. 22 auf Seite 77 dargestellt. Die Kosten für Sofortmaßnahmen in Abhängigkeit von den Tiefbaukosten wurden mit ca. 12,9% bestimmt. Hier schwanken die Werte zwischen 0%, es gaben keine Sofortmaßnahmen, und 133%. Bei den Sanierungskosten ergab der Mittelwert 165% der jeweiligen Spezialtiefbaukosten. Auch hier schwanken wieder die Werte zwischen 0,3% und 2.500%. Die hohen Werte resultieren wieder aus Schäden an einer vorhandenen Nachbarbebauung die saniert wurde. Bei den Vermeidungskosten ergab sich der Mittelwert bezogen auf die Spezialtiefbaukosten zu 13,2%, die Extremwerte schwanken zwischen rechnerischen 0,0%, eigentlich die Kosten für einen Telefonanruf, und 120% der jeweiligen Tiefbaukosten.

Somit zeigt sich deutlich, dass die Vermeidungskosten deutlich unter den Schadenskosten und den Sanierungskosten liegt. Bei den absoluten Zahlen aus Tab. 3 auf Seite 78 liegen die Schadenskosten mit etwa € 1,667 Mio im Mittel vorne. Aber hier liegen die Vermeidungskosten mit durchschnittlich € 129 Tsd deutlich unter den Schadenskosten und den Sanierungskosten mit € 1,453 Mio im Durchschnitt. Wie die Auswertung gezeigt hat, wäre es durchwegs günstiger gewesen im Falle des Schadeneintrittes die Vermeidungskosten zu investieren und so das Geld für den Schaden, die Sanierung und event. Sofortmaßnahmen zu sparen.

8.3 Vergleich mit der Untersuchung in Deutschland und dem 1. österreichischen Bauschadensbericht

Um einen direkten Vergleich der Untersuchungen anstellen zu können, wurde auf Grund der unterschiedlichen Gestaltung der Fragebögen, nur auf bestimmte Schadensursachen und -quellen eingegangen oder es wurden einzelne Ursachen sinngemäß zusammengefasst. Beispielsweise wurden die Planungsfehler und die Ausschreibungsfehler dieser Untersuchungen zusammengefasst, da Ausschreibungsfehler bei den anderen Untersuchungen nicht extra abgefragt wurden. Auch

wurden die Planungsfehler und mangelnde Voruntersuchungen der deutschen Untersuchung zusammengefasst, da für diese Untersuchung der Themenbereich der Voruntersuchungen als Teil der Planung gesehen wurde. Als vergleichbare Fehlerquellen haben sich die Ursachen nach Tab. 4 herausgestellt.

	1. österr. Bauschadensbericht	Schäden im Spezialtiefbau (D)	diese Untersuchung
Planungsfehler	28,0%	45,0%	25,8%
Ausführungsfehler	38,5%	21,0%	41,7%
Materialfehler	9,5%	-	11,7%
mangelnde Kommunikation	-	10,0%	4,7%
Nutzungsfehler	11,5%	-	0,7%
Höhere Gewalt und Ursache nicht feststellbar	12,5%	24%	7,2%

Tabelle 4: Vergleichbare Schadensursachen

Beim Vergleich dieser Arbeit mit den Ergebnissen der deutschen Untersuchung und dem 1. österreichischen Bauschadensbericht lässt sich unter anderem zeigen, dass die Verteilung der Bauschadensursachen in diesem Bericht besser zu den Untersuchungen zum 1. österreichischen Bauschadensbericht passen, als zu dem Bericht der sich mit dem Spezialtiefbau in Deutschland beschäftigt. Die Gründe hierfür liegen unter anderem darin, dass:

- Die Daten in Deutschland wurden in den Jahren 1980 bis 1989 gesammelt, die Daten für den 1. österreichischen Bauschadensbericht stammen aus dem Jahr 2004. Die Daten dieser Untersuchung wurden in den Jahren 2007 bis 2009 gesammelt. In dieser Zeit gab es technischen Fortschritt, nicht nur im Bereich des Spezialtiefbaus. Zum Beispiel gab es in diesem Zeitraum im Gebiet der Kommunikation, viele Weiterentwicklungen wie die mobile Kommunikation oder den Datenaustausch via Email. Dadurch hat sich z.B.: der Planaustausch beschleunigt.
- Auch die Art und der Umfang der zur Verfügung stehenden Daten unterscheidet die drei Untersuchungen. Während bei der deutschen Untersuchung die Daten aus 32 Fragebögen sowie aus 432 Versicherungsakten stammten, bestehen die untersuchten Daten im 1. österreichischen Bauschadensbericht aus 121 Fragebögen. Für diese Untersuchung wurden 30 Fragebögen ausgewertet.
- Im Allgemeinen wird in Versicherungsakten nur festgehalten, ob die Versicherung einen Schaden decken muss oder nicht. Nachdem eine eindeutige Verpflichtung nachgewiesen wurde, fanden kaum weitere genaue technische Untersuchungen statt. Auch wäre zu klären, ob die verwendeten Versicherungsakten von Versicherern der Baufirmen stammten oder ob es eine Mischung (AN, AG, Planer) der Versicherungsakten gab. Diese Daten konnten nicht eingeholt werden.
- Vor allem für den deutschen Untersuchungsbericht aber auch für den 1. österreichischen Bauschadensbericht wurden vor allem Klein- und Mittelbetriebe untersucht. Diesen fehlen

oft die Kapazitäten für eine genaue Schadensanalyse. In dieser Untersuchung wurden die Fragebögen an die größten, in Österreich arbeitenden Unternehmen versendet. Weiters wurden auch Fragebögen an Planer oder große Auftraggeber versandt (Siehe Abb. 3 auf Seite 64).

8.4 Folgerungen für die Schadensvermeidung

Auf Grund der Ergebnisse lassen sich einige Schlussfolgerungen für die zukünftige Schadensvermeidung ableiten. Dadurch lassen sich Prioritäten für das Hauptaugenmerk erkennen. Hier werden hier einige Punkte angeführt, die zur Erleichterung und Wissensmehrung der Beteiligten beim Bauprozess führen soll. Dieses Mehr an Wissen soll helfen, zukünftige Schäden zu vermeiden. Ausgehend von der Verteilung der Schadensursachen können einige Hauptschadensursachen abgeleitet werden. Aber auch aus den anderen Formen der Auswertung lassen sich einige Schadensgruppen definieren, auf denen besonders Rücksicht genommen werden soll. Auch sind die Gruppen bei denen maximale Extremwerte aufscheinen interessant.

- *Planungsfehler:* Mitunter den größten Einfluss auf die Bauqualität hat der Prozess der Planung. Im optimalen Fall sollte die Planung schon vor Baubeginn abgeschlossen sein, wobei es dem Bauherrn obliegt alle Standards und Qualitätsanforderungen festzulegen. Ein wichtiger Meilenstein der Planung ist die Ausschreibung, in der der AN erfährt was der AG bestellt. Hier soll dem AG bewusst gemacht werden, wie wichtig eine fehlerfreie Planung ist. Zur Fehlervermeidung in der Planungsphase könnte unter anderem eine ausführliche Kontrolle dienen. Planungsfehler wurden am zweithäufigsten genannt, der gewichtete Anteil liegt bei 17,2% (25,8% mit Berücksichtigung der Ausschreibungsfehler). Der Mittelwert, nur über die Nennungen gebildet, liegt bei 35,7% und damit auf Platz fünf der Aufzählung in Tab. 1 auf Seite 72.
- *Ausführungsfehler:* Einen ebenso großen Einfluss auf die Qualität des Spezialtiefbaues hat natürlich die Ausführung. Die Errichtung von Spezialtiefbauwerken erfolgt außerhalb einer optischen Kontrolle im Untergrund. Aber auch nur unter der Voraussetzung der fristgerechten Vermittlung der Planung sowie die Definition der Qualitätsanforderungen durch den AG, lässt sich die Qualität des Spezialtiefbaues steigern. Um nun die Spezialtiefbauverfahren fehlerfrei abwickeln zu können, soll beispielsweise nur fachkundiges und erfahrenes Personal eingesetzt werden, oder die Prüf- und Warnpflicht gewährleistet werden. Weitere Vermeidungsmöglichkeiten finden sich in Kap. 6 auf Seite 52. Ausführungsfehler wurden am häufigsten genannt, der gewichtete Anteil lag bei 30,3% (41,7% mit Berücksichtigung der Verfahrensfehler). Der Mittelwert, nur über die Nennungen gebildet, liegt bei 44,0% und begleitet damit den Platz drei in der Aufzählung. Ausführungsfehler wurden bei rund 7% der Fragebögen als alleinige Schadensursache mit 100% benannt.
- *Materialfehler:* Die Errichtung von Spezialtiefbauwerken erfolgt, wie bereits erwähnt, außerhalb einer optischen Kontrolle im Untergrund. Deshalb ist auch der richtige Materialeinsatz von großer Bedeutung. Die Materiallieferung wird meist wieder an Dritte vergeben oder auf Grund von Termindruck und Platzmangel erfolgt die Lieferung von Baustoffen für den Spezialtiefbau „Just in Time“. Um die Materialfehler im Allgemeinen zu reduzieren ist vor allem eine Kontrolle der gelieferten Baustoffen wie z.B.: Beton- oder Stahlgüte von

Nöten (z.B.: Baustellenlabor, zur Güteüberwachung des Betons). Materialfehler erreichten einen gewichteten Anteil an den untersuchten Bauschäden von etwa 11,7%. Materialfehler liegen bei der Anzahl der Nennungen auf Platz Sieben von Zehn. Der Mittelwert, nur über die Nennungen gebildet, liegt bei 68,0% und belegt damit den ersten Platz in der Aufzählung. Bei weiteren 7% der Fragebögen wurden Materialfehler als alleinige Schadensursache mit 100% genannt.

- *Höhere Gewalt*: Schäden die aus Höhere Gewalt entstehen lassen sich per Definition nicht vermeiden. Nur durch einen entsprechenden Mehraufwand bzw. Dimensionierung, die i.A. eine Unwirtschaftlichkeit darstellt, ließen sich diese Schäden reduzieren oder vermeiden. Bei einem gewichteten Anteil von 5,9% der untersuchten Bauschäden im Spezialtiefbau wurde die Ursache Höhere Gewalt angegeben. Höhere Gewalt liegt bei der Anzahl der Nennungen nur auf Platz Acht von Zehn. Der Mittelwert über die Nennungen gebildet, liegt bei 56,7% und belegt damit den zweiten Platz in der Aufzählung in Tab. 1 auf Seite 72.

Dies wären die Schadensursachen und -quellen laut dieser Untersuchung an 30 Bauschadensfällen im Spezialtiefbau, die einerseits am häufigsten auftreten, oder andererseits das höchste Schadenspotential aufweisen.

„Die Errichtung eines Qualitätsmanagementsystems als organisierte Maßnahme zur Verbesserung der Qualität ist auf jeden Fall zu befürworten. Diese Systeme auf Basis der ISO 9000:2000 Standards stellen eine Möglichkeit dar, die Produktqualität durch eine gezielte Verbesserung der Prozessqualität zu erreichen.“¹¹² Allein durch das Aufzeichnen und Beschreiben des Mangel, Fehlers oder Schadensfalls stehen dem Unternehmen intern Informationen zur Verfügung, die helfen sollen, zukünftige Probleme zu vermeiden. Natürlich bedarf dies einem Informationsfluss vom Schadensfall zum QM-System sowie einer gezielten Auswertung der Daten im Unternehmen oder Planungsbüro um daraus Rückschlüsse für zukünftige Aufgaben gewinnen zu können. Auch muss dieses Wissen wieder an die direkt am Bau Tätigen weitergegeben werden. Dies könnte z.B. über Checklisten erfolgen, wie sie beispielsweise im deutschen Bericht über Bauschadensfälle vorgeschlagen werden¹¹³. Diese Checklisten sollen helfen, dass alle bauschadensrelevanten und bautechnologischen Problempunkte beachten und behandelt werden. Dies soll eine Möglichkeit bieten, die interne Planung und Arbeitsvorbereitung zu erleichtern bzw. zu standardisieren und so zur Verminderung und Vermeidung von Schäden beizutragen.

Als eine überbetriebliche Wissensquelle für Bauschäden wird vom 1. österreichischen Bauschadensbericht ein Bauschadenskataster vorgeschlagen¹¹⁴. Laut Vorschlag sollen in diesem Kataster in Form einer Datenbank einerseits (Gerichts-)Gutachten einfließen, die nach einheitlichen Kriterien ausgewertet wurden. Andererseits sollten auch Probleme gemeldet werden können, die nicht über Gutachten geklärt werden mussten. Es soll diese Datenbank allen am Bau Beteiligten offen stehen, um Schadensfälle anonym nach einem standardisierten Verfahren eingeben zu können (z.B.: über ein Webformular). Die Institution die diese Datenbank führt und wartet muss unabhängig sein. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen können viel effizientere Maßnahmen gesetzt werden. Auch sollte diese Wissenssammlung Ausbildungsstätten dienen, sowie als Ausgangspunkt für Forschungsprojekte zur Verfügung stehen.

¹¹² Balak/Rosenberger/Michael (2005), S.75.

¹¹³ Vgl. Rizkallah et al. (1990), S. 64.

¹¹⁴ Vgl. Balak/Rosenberger/Michael (2005), S.76.

8.5 Weiterer Forschungsbedarf

Während des Literaturstudiums zu dieser Arbeit, sowie bei der Auswertung der Fragebögen, ergaben sich weitere Punkte, die sich zu erforschen lohnen aber den Umfang dieser Arbeit sprengen würden. Auch haben sich während oder nach der Fragebogenaktion weiter Verbesserungen ergeben, die nicht mehr eingearbeitet werden konnten.

- Eine größere Anzahl der zu untersuchenden Schadensfälle würde die statistische Auswertung verbessern und die Streuung der Ergebnisse vermindern. Auch zeigte sich, durch den Vergleich mit anderen Untersuchungen, dass es mitunter hilfreich ist, wenn die Befragung von einer großen Interessenvertretung unterstützt wird.
- Ein komprimierter Fragebogen würde vermutlich helfen die Anzahl der Rückmeldungen zu erhöhen. Man müsste sich allerdings auf die entsprechend wichtigen Fragen konzentrieren.
- Ein Zugang zu weiteren Quellen wie den Versicherungsdaten. Dieser Zugang wäre aber sicher nur möglich, wenn dies von der Versicherung selbst oder einer großen Interessenvertretung unterstützt wird. Wie erwähnt fehlen in Österreich große Fachversicherer, die diese Daten sammeln würden. Denkbar als weitere Quelle wären etwa Gerichtsakten von Schadensfällen.
- Eine statistische Untersuchung der Bauschadensfälle wäre auch auf anderen Tiefbaugebieten interessant:
 - Erdbau
 - Rohrvortriebe
 - Tunnelbau

8.6 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, Bauschäden bei Spezialtiefbauten statistisch mit Hilfe von Fragebögen zu erfassen. Dies erwies sich im Zuge der Bearbeitung als schwierig, da Schadensfälle individuelle Einzelereignisse darstellen. Dies gilt besonders für die Sanierungs- und Vermeidungsmöglichkeiten, da diese wieder eine Reaktion auf die jeweiligen Schadens- oder Problemfälle darstellen. Weiters würden natürlich mehr Fragebögen die Streuung der Antworten minimieren und die Ergebnisse präzisieren. Jedoch ließen sich bei den Fragen verschiedene Antwortkategorien ausmachen, die entsprechend ausgearbeitet wurden. Somit lässt sich als Ergebnis dieser Arbeit nicht für ein bestimmtes Spezialtiefbauverfahren die eine bestimmte Schadensursache angeben. Vielmehr gibt diese Arbeit die Kategorien und die Verteilung der Schadensursachen wieder. Diese Ursachenkategorien können als Ansatzpunkt für die Fehlervermeidung dienen. Die interessantesten Fehlerkategorien, die sich aus der Umfrage ergeben haben, sind die Planungs-, Ausführungs- oder Materialfehler. Wie die Auswertung und andere Untersuchungen in diesem Bereich gezeigt haben, ergeben sich die meisten Fehler bei der Ausführung selbst. Dies liegt unter anderem daran, dass sich manche Fehler erst bei der Ausführung zeigen. Auch bei Projekten die nicht über das Planungsstadium hinausgehen, wird selten ein Fehler auftreten.

In letzter Konsequenz bleibt natürlich die eher philosophische Möglichkeit zur absoluten Schadensvermeidung: Nichts mehr bauen.

Literatur

- ÖNORM A 2060: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Leistungen - Werkvertragsnorm.* 06 2002
- ÖNORM B 2110: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm.* 03 2002
- ÖNORM EN ISO 9000 *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe.* 12 2005
- ÖNORM EN 1997-1 *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln.* 01 2006
- Adam, Dietmar/Szabo, Marek:** 11. Bodenverbesserung. In Skriptum Grundbau und Bodenmechanik I. Wien, 2010
- ArcelorMittal:** *Rammfibel für Stahlspundbohlen.* Esch/Alzette, Luxembourg: Profil ARBED, Neudruck 2001
- Balak, Michael et al.:** 2. *Österreichischer Bauschadensbericht.* Wien: ofi-Institut für Bauschadensforschung and Wirtschaftskammer Österreich, 2008
- Balak, Michael/Rosenberger, Robert/Michael, Steinbrecher:** 1. *Österreichischer Bauschadensbericht.* Wien: ofi-Institut für Bauschadensforschung and Wirtschaftskammer Österreich, 2005
- Brandl, H./Jodl, H. G./et.al.:** *Ökoeffiziente Entscheidungskriterien im Tiefbau Modul 3.* Wien: Magistratsabteilung 22 und 29 der Stadt Wien, Juni 2005 – Technischer Bericht
- Hans Gerd Hangwitz, Matthias Pulsfort; Witt, Karl Josef (Hrsg.):** Kap. Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände. In Grundbautaschenbuch. Band 3, 7. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 2009, 579–648
- Hilmer, Klaus:** Kap. Baugrube von E. Hanke und K. Hilmer. In Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, 125–175
- Hilmer, Klaus:** Kap. Pfahlgründungen von A. Ellner und H. Becker. In Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, 37–73
- Hilmer, Klaus:** Kap. Flachgründungen von Klaus Hilmer. In Schäden im Gründungsbereich. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 1991, 1–36
- Hirnsperger, Franz:** *Rechtliche Konsequenzen aus Schadensfällen.* 2004, Vereinigung Österreichischer Bohr- und Spezialtiefbauunternehmungen Fortbildungsveranstaltung am 29.04.2004: Schäden im Grundbau
- Huber, Helmut et al.:** *Richtlinie Spritzbeton.* Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Juli 2004
- Kautz, Hartmut et al.:** *Richtlinie Schmalwände.* Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, März 2002

- Kempfert, Hans Georg/Raithel, Marc:** *Bodenmechanik und Grundbau; Teil Bodenmechanik*. Band 1, 1. Auflage. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2007
- Koziol, Helmut/Welser, Rudolf:** *Grundriß des bürgerlichen Rechts*. Band 1, 9. Auflage. Wien: Manz Verlag, 1992
- Kurbos, Rainer:** *Baurecht in der Praxis*. 5. Auflage. Wien: Linde Verlag, 2006
- Kurschl, Irene:** *Die Gewährleistung beim Werkvertrag*. Wien: Manz Verlag, 1989
- Maybaum, Georg et al.:** *Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009
- Oberleitner, Daniel et al.:** *Politische Bildung Staatsbürgerkunde und Recht*. Wien: Manz Verlag, 1996
- Oberndorfer, Wolfgang/Jodl, Hans Georg/et.al.:** *Handwörterbuch der Bauwirtschaft*. 2. Auflage. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2001
- Rizkallah, V. et al.:** *Bauschäden im Spezialtiefbau*. Hannover, 1990 – Technischer Bericht
- Rizkallah, Victor:** Kap. Schadensursachen und Schadensminimierung bei Tiefbauarbeiten von Victor Rizkallah. In *Bauschäden im Hoch- und Tiefbau*. Band 1, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2007, 11–26
- Weißbach, Anton/et.al.; Geotechnik e.V., Deutschen Gesellschaft für (Hrsg.):** *Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben"*. 4. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und tech. Wissenschaften, 2006
- Weigl, Johannes:** *Schadensfälle im Tunnelbau*. Diplomarbeit, TU-Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2001
- Wehsinger, Natascha:** *Das neue österreichische Gewährleistungsrecht - seine Auswirkungen auf Bauleistungen im internationalen Vergleich*. Dissertation, TU-Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2005
- Wikipedia:** Schaden. <http://de.wikipedia.org/wiki/Schaden> 05.01.2007

Abbildungsverzeichnis

1	Arten der Schäden	9
2	Rechte aus der Gewährleistung	14
3	Verteilung der eingelangten Fragebögen	64
4	Projektziele	65
5	Verteilung der Bauverfahren	65
6	Verteilung der Funktionen	66
7	Ort des Schadensereignisses	66
8	Wann ist der Schaden entstanden	67
9	Wann wurde der Schaden entdeckt	67
10	Wie ist der Schaden entstanden	68
11	Schadensursache den Sphären zugeordnet	69
12	Verteilung der Schadensursachen	70
13	Schadensursachen	70
14	Fehlerverteilung	71
15	Sofortmaßnahmen	72
16	Sanierungsmaßnahmen vs. Ersatzleistungen	73
17	Sanierungsmaßnahmen	73
18	Verteilung der Sanierungsverfahren	74
19	Vermeidungsstrategien	74
20	Was würden Sie anders machen?	75
21	Kosten	76
22	Verteilung der Schadenskosten	77
23	Verteilung der Sanierungskosten	77
24	Verteilung der Vermeidungskosten	78
25	Hätten mehr Untersuchungen den Schaden verhindert?	79
26	Grundwasser	79
27	Wasserhaltungsmaßnahmen	80
28	Grundwasserüberwachung	80
29	Wurde auf mögliche Fehler Rücksicht genommen?	80
30	Hätte ein anders Spezialtiefbauverfahren den Fehler verhindert?	81
31	Ersatzverfahren	81
32	Vereinbarungen zu Mängel	82
33	Gab es eine technische Definition?	82
34	Andere Ausschreibung	83
35	Schadensursachen in Prozent	84
36	Häufigkeit der Einzelschadenskosten bei Baugruben	86
37	Verteilung der Bauschadensquellen bei Baugruben	87

Tabellenverzeichnis

1	Ursachenauswertung	72
2	Kosten in Prozent der Spezialtiefbaukosten	76

3	Kosten in Euro	78
4	Vergleichbare Schadensursachen	91

A Fragebogen

Fragebogen zur Diplomarbeit: Probleme im Spezialtiefbau

Fragen zum Projekt:

Wird nicht veröffentlicht	Projektbezeichnung:	
	Ziel des Bauwerkes:	
	Auftraggeber/Bauherr:	
	Auftragnehmer/Arge:	
	Tiefbaufirma, wenn nicht AN:	
	Planung von:	

Spezialtiefbauverfahren:

Welche Verfahren wurden verwendet:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Spundwandverfahren | <input type="checkbox"/> Tiefenrüttelverfahren |
| <input type="checkbox"/> Schlitzwandverfahren | <input type="checkbox"/> Düsenstrahlverfahren |
| <input type="checkbox"/> Pfähle | <input type="checkbox"/> Injektionen |
| <input type="checkbox"/> Schmalwandverfahren | <input type="checkbox"/> Nägel, Anker, Spritzbeton |
| <input type="checkbox"/> Bodenstabilisierung | <input type="checkbox"/> |

Genauere Beschreibung des Verfahrens (z.B.: beim Schlitzwandverfahren ob Greifer oder Fräse):

Zweck des Spezialtiefbauwerkes:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tragendes Element/Gründung | <input type="checkbox"/> Baugrundverbesserung |
| <input type="checkbox"/> Abdichtende Funktion | <input type="checkbox"/> Baugrubenverbau |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges: | |

Bauschaden/Mangel/Fehler:

Schadensbeschreibung

Welcher Schaden/Mangel/Fehler ist aufgetreten?

Wo ist der Schaden/Mangel/Fehler entstanden?

Wann ist der Schaden/Mangel/Fehler entstanden?

Wann wurde der Schaden/Mangel/Fehler entdeckt?

Wie ist der Schaden/Mangel/Fehler entstanden?

Kann man den Schaden/Mangel/Fehler einer Sphäre zuordnen? Wenn ja welcher?

- Nein
 Ja
 Auftraggeber
 Planer
 Auftragnehmer
 Neutral/Höhere Gewalt

Was waren die Schadens-/Fehler-/Mangelursachen:

			Anmerkung/Beschreibung
Planungsfehler	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Ausschreibungsfehler	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Ausführungsfehler	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Falsches Verfahren	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Materialfehler	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Durch Nutzung	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Höhere Gewalt	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Mangelnde Kommunikation	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Erfahrungsmängel	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
Nicht mehr feststellbar	<div style="background-color: #cccccc; width: 50px; height: 15px;"></div>	[%]	<div style="background-color: #cccccc; height: 15px;"></div>
100		[%]	

Welche Sofortmassnahmen gab es zur Schadens-/Mangel-/Fehlerminimierung?

Wurde der Schaden/Fehler/Mangel saniert oder gab es eine Ersatzleistung (Welche)?

Wie wurde der Schaden/Fehler/Mangel saniert? Mit welchem Verfahren?

Wie hätte man den Schaden/Fehler/Mangel vermeiden können? Wodurch?

Würde das gleiche Projekt unter gleichen Voraussetzungen zur Ausschreibung/Bau kommen, was würden Sie mit dem jetzigen Wissen anders machen?

Kosten: (absolut oder in % der Projektskosten)

Wie hoch waren (grob) die Projektskosten?

Wie hoch waren (grob) die Kosten der Spezialtiefbaumassnahme?

Wie hoch waren (grob) die Schadenskosten?

Wie hoch waren (grob) die Kosten der Sofortmassnahmen?

Wie hoch waren (grob) die Sanierungskosten?

Wie hoch wären (grob) die Vermeidungskosten?

Planung/Voruntersuchung:

Welche geotechnischen Untersuchungen gab es?

Entsprachen die gemachten Untersuchungen dem Stand der Technik?

Hätten mehr Untersuchungen den/das Schaden/Mangel/Problem verhindert?

- Nein
 Ja

Wenn ja, welche?

Lag/liegt das Bauwerk im Grundwasser?

Gab/gibt es spezielle Wasserhaltungsmaßnahmen?

Gab/gibt es eine Grundwasserüberwachung?

Wurde schon bei der Planung auf Fehler/Schaden/Mangel Rücksicht genommen?

- Nein
 Ja

Wenn ja, wie?

Hätte ein anders Spezialtiefbauverfahren den Fehler/Schaden/Mangel verhindert/minimiert?

- Nein
 Ja

Wenn ja, welches?

Ausschreibung, Vertrag:

Gab es spezielle Vereinbarungen zum Mangel? Welche?

Gab es im Vertrag eine genaue technische Definition was mangelhaft/schadhaft/fehlerhaft ist?

- Nein
 Ja

Wenn ja, welche?

Wäre der Fehler/Schaden/Mangel durch eine andere Ausschreibung nicht aufgetreten?

Raum für Anmerkungen

Nochmals Vielen Dank für ihre Mitarbeit!

Formular drucken

Per E-Mail senden