

BAWEmpfehlung

Bauwerksuntersuchung inkl. Baugrund (EBB)

**Erfassung der maßgebenden technischen Eigenschaften zur
Bewertung von Wasserbauwerken**

Ausgabe 2024

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Als Download verfügbar im Hydraulic Engineering Repository (HENRY) der BAW unter
<https://hdl.handle.net/20.500.11970/101745>

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Anwendungsbereich	2
2	Begriffe	3
3	Untersuchungsanlass und -umfang	7
3.1	Allgemeines	7
3.2	Auffälligkeiten oder Schäden am Bauwerk	7
3.3	Aktualisierung der Bestandsunterlagen	8
3.4	Erstbewertung einzelner Bauwerke und von Bauwerksgruppen	8
3.5	Nutzungsänderungen oder Umbauten	8
3.6	Spezielle Fragestellungen	9
4	Projektablauf	10
4.1	Allgemeines	10
4.2	Fachlicher Ablauf	10
4.3	Zuständigkeiten und Schnittstellen	11
4.4	Unternehmensqualifikation und personelle Qualifikation/Eignung	17
4.5	Hinweise zur Vergabe von Leistungen	18
4.6	Qualitätssicherung	19
4.7	Hinweise zur Durchführung	19
5	Formulierung der Zielstellung	21
6	Vorbereitung	22
6.1	Recherche der Bauwerks- und Baugrundunterlagen	22
6.2	Recherche der örtlichen Randbedingungen	23
6.3	Recherche der sicherheitsrelevanten Randbedingungen	24
6.4	Probemessungen und Vorversuche im Massivbau	24
6.5	Kampfmittelerkundung	25
6.6	Bewertung von Abbruchmaterial, bauwerksbezogenen Abfällen und Abwässer	25
7	Untersuchungsplan	26
8	Untersuchungen am Massivbau	29
8.1	Typische Untersuchungsbereiche	29
8.2	Ableich der Bauwerksgeometrie	31
8.3	Zerstörungsfreie Prüfungen am Massivbau	32
8.3.1	Übersicht und Anwendungsbereiche	32
8.3.2	Sichtprüfung/Schadensaufnahme	33
8.3.3	Rissaufnahme	34
8.3.4	Abreißversuch	38
8.3.5	Rückprallhammer	39
8.3.6	Magnetisch induktive Verfahren	39
8.3.7	Radarverfahren	40
8.3.8	Ultraschallverfahren	43
8.3.9	Potentialfeldmessung	44
8.4	Zerstörende Prüfungen am Massivbau	46
8.4.1	Bohrkernentnahme	46

8.4.2	Untersuchungen im Bohrloch	47
8.4.3	Bauteilöffnung	50
8.4.4	Bohrmehlentnahme	52
8.4.5	Ankerzugversuch	52
8.5	Vermessung der Bohransatzpunkte und Untersuchungsbereiche	53
8.6	Probenbehandlung, Lagerung, Dokumentation und Transport	53
8.7	Verschluss von Öffnungsbereichen und Bohrlöchern	54
8.7.1	Planung des Verschlusses von Öffnungsbereichen und Bohrlöchern	54
8.7.2	Verschluss von Öffnungsbereichen	56
8.7.3	Verschluss von Bohrlöchern	56
8.7.4	Verschluss von unter Wasserdruck stehenden Bohrlöchern	61
8.8	Laborprüfungen	62
8.8.1	Bohrkernansprache	62
8.8.2	Dichte	62
8.8.3	Druckfestigkeit	63
8.8.4	Zugfestigkeit	63
8.8.5	Statischer E-Modul	64
8.8.6	Carbonatisierung	65
8.8.7	Abreißfestigkeit	66
8.8.8	Chloridbelastung	66
8.8.9	Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand	66
8.8.10	AKR-Restdehnungspotential	67
8.8.11	Scherfestigkeit	67
8.8.12	Porositätskennwerte	68
8.8.13	Bindemittelart und -menge	68
8.8.14	Betonstahluntersuchungen	69
9	Untersuchungen am Stahlbau und des Korrosionsschutzes	70
9.1	Typische Untersuchungsbereiche	70
9.2	Abgleich der Bauwerksgeometrie	71
9.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren am Stahlbau und Korrosionsschutz	71
9.3.1	Übersicht und Anwendungsbereiche	71
9.3.2	Sichtprüfung für Stahlbau und Korrosionsschutz	72
9.3.3	Klopfprobe - Stahlbau	73
9.3.4	Farbeindringverfahren - Stahlbau	73
9.3.5	Magnetpulverprüfung - Stahlbau	74
9.3.6	Wirbelstromverfahren - Stahlbau	75
9.3.7	Ultraschallverfahren - Stahlbau	76
9.3.8	Durchstrahlungsprüfung - Stahlbau	77
9.3.9	Funkenemissionsspektrometer - Stahlbau	78
9.3.10	Magnetisch-induktive Verfahren - Korrosionsschutz	79
9.3.11	Wirbelstromverfahren - Korrosionsschutz	80
9.4	Zerstörende Prüfverfahren am Korrosionsschutz	80
9.4.1	Allgemeines	80
9.4.2	Abreißversuch	81
9.4.3	Kreuzschnittversuch	81
9.4.4	Gitterschnittversuch	82
9.4.5	Keilschnittversuch	82
9.5	Entnahme von Korrosionsschutzproben	82
9.6	Entnahme von Stahlproben	83

9.7	Vermaßung der Entnahme- und Untersuchungsbereiche im Bestandsplan	83
9.8	Laborprüfungen	83
9.8.1	Zugfestigkeit nach DIN EN ISO 6892-1	83
9.8.2	Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1	84
9.8.3	Prüfung an Minizugproben	84
9.8.4	Chemische Analyse	85
9.8.5	Schadstoffanalyse der Beschichtung	86
9.8.6	Makroschliff	86
9.8.7	Mikroschliffe	86
9.8.8	Baumannabdruck	87
9.8.9	Bruchmechanische Untersuchungen	88
10	Untersuchungen im Baugrund	89
10.1	Typische Untersuchungsbereiche	89
10.2	Positionierung von Grundwassermessstellen (GWM)	89
10.3	Baugrunderkundung (Felduntersuchung)	91
10.3.1	Allgemeines	91
10.3.2	Direkte Aufschlussverfahren (Bohrungen)	92
10.3.3	Indirekte Aufschlussverfahren (Sondierungen)	93
10.3.4	Bohrlochversuche	95
10.3.5	Grundwassermessstellen (GWM)	100
10.3.6	Grundwassermessungen	102
10.3.7	Grundwasserprobenahme	102
10.3.8	Rammpegel	103
10.4	Vermessung der Aufschlusspunkte	103
10.5	Probenbehandlung, Lagerung, Dokumentation und Transport	103
10.6	Verfüllung von Bohrlöchern	104
10.7	Laborprüfungen	104
10.8	Wasseranalysen	106
11	Innovative Verfahren zur Bauwerksuntersuchung	108
11.1	Übersicht und Anwendungsbereiche	108
11.2	UAS-gestützte Fotografie	109
11.3	UAS-gestützte Photogrammetrie	109
11.4	Terrestrischer Laserscanner (TLS)	110
11.5	Ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug (ROV)	111
11.6	Fächerecholot	112
12	Entsorgung	114
13	Fachberichte	116
13.1	Allgemeines	116
13.2	Baustoffgutachten	116
13.3	Untersuchungsberichte Stahl und Korrosionsschutz	117
13.3.1	Untersuchungsbericht Stahl	117
13.3.2	Untersuchungsbericht Korrosionsschutz	118
13.4	Fachbericht Geotechnik	118
14	Datenübergabe	120
15	Bezugsvorschriften und Regelwerke	121

Tabellenverzeichnis		Seite
Tabelle 1:	Fachlicher Gesamtablauf einer Bauwerksuntersuchung	11
Tabelle 2:	ZfP-Bau Verfahren, Anwendungsbereiche im Verkehrswasserbau	32
Tabelle 3:	Verfahren zur Risserfassung	35
Tabelle 4:	Vergleich der Eignung der Bohrlochuntersuchungsverfahren	48
Tabelle 5:	Empfohlene Mindestanzahl der Bohrlöcher in Abhängigkeit von Bohrer- und Größtkorndurchmesser nach Heft 401 des DAFStb (DAFStb 1989) je Probenahmestelle	52
Tabelle 6:	Vergleich möglicher Bohrlochverschlussvarianten	57
Tabelle 7:	Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Stahlbau und Korrosionsschutz	72
Tabelle 8:	Zerstörende Prüfverfahren des Korrosionsschutzes	81
Tabelle 9:	Geohydraulische Bohrlochversuche mit instationären Auswerteverfahren	98
Tabelle 10:	Geohydraulischer Bohrlochversuch mit stationärem Auswerteverfahren (WD-Test)	99
Tabelle 11:	Eignung innovativer Verfahren zur Bauwerksuntersuchung nach (BAW 2023b)	108

Abbildungsverzeichnis		Seite
Abbildung 1:	Überblick über den organisatorischen und fachlichen Ablauf einer Bauwerksuntersuchung	10
Abbildung 2:	Mögliche Zuständigkeiten von der Planung bis zur Vergabe für die Auftragskategorien 2 und 3	13
Abbildung 3:	Variante 1: Mögliche Aufgaben und Zuständigkeiten von der Durchführung der Untersuchungen bis zur Erstellung der Fachberichte aufbauend auf Abbildung 2	15
Abbildung 4:	Variante 2: Mögliche Aufgaben und Zuständigkeiten von der Durchführung der Untersuchungen bis zur Erstellung der Fachberichte aufbauend auf Abbildung 2	16
Abbildung 5:	Schiffsschleuse mit den wesentlichen Bauwerksteilen in Anlehnung an BAWMerkblatt MBI (BAW 2010)	30
Abbildung 6:	Wehr mit den wesentlichen Bauwerksteilen in Anlehnung an BAWMerkblatt MBI (BAW 2010)	30
Abbildung 7:	Bestimmung der Rissbreite mit einem Risslineal	36
Abbildung 8:	Aufnahme der Rissbreite mit einer Risslupe an einer Bohrlochwand	36
Abbildung 9:	Rissmonitore an einem Vertikalriss der Wehranlage Obernau (Foto WSA Main)	37
Abbildung 10:	Wegsensoren und Datenlogger zur Messung horizontaler und vertikaler Rissbewegungen an der Wehranlage Geesthacht	38
Abbildung 11:	Beispiel des Messergebnisses einer Betondeckungsmessung mittels Ferromagnetischem Verfahren, PS200, Hilti	39

Abbildung 12:	Abseilen des 400 MHz Sensors, Schleuse Kiel-Holtenau (Foto IGP, Karlsruhe)	41
Abbildung 13:	Handführung des 1,5 GHz Sensors, Wehrpfeiler Lisdorf (Foto IGP, Karlsruhe)	41
Abbildung 14:	Ansprache einzelner Bewehrungsstäbe in unterschiedlichen Tiefenlagen im Radargramm, Schiffshebewerk Rothensee (IPG+GGU, Karlsruhe)	42
Abbildung 15:	Beispielradargramme zur Erkundung von Ablösungen der Klinkervorsatzschale, Schleuse Oldau (IGP+GGU, Karlsruhe)	43
Abbildung 16:	Ergebnisdarstellung zur Erkundung von Ablösungen der Klinkervorsatzschale, Gesamtbewertung des Bauteilbereichs bis 60 cm Tiefe, Schleuse Oldau (IPG+GGU, Karlsruhe)	43
Abbildung 17:	Durchführung einer Potentialfeldmessung an einer beschichteten Parkhausdecke durch die BAM mit Prüfung der Leitfähigkeit der Beschichtung und Anschluss der Messelektrode an die Bewehrung (Foto BAM)	45
Abbildung 18:	Ergebnis der flächigen Potentialfeldmessung mit Potentialtrichter im Bereich aktiver Bewehrungskorrosion (Foto BAM)	45
Abbildung 19:	Variante - Stahlplatte mit Befüll- und Entlüftungsschläuchen	59
Abbildung 20:	Variante - Stahlplatte mit Trichter zum Überfüllen des Bohrlochs, analog verwendbare Variante für Verschluss mit Vergussbeton	59
Abbildung 21:	Variante - Betonersatz im Handauftrag in der Betonrandzone und Bohrungen für Befüllungs- und Entlüftungsschläuche	60
Abbildung 22:	Einschieben eines mit Grobkorn gefüllten Drahtkorbs in ein Bohrloch an der Wehranlage Drakenburg	60
Abbildung 23:	Anpassung des Belastungs-Zeit-Diagramms der DIN EN 12390-13 (Verfahren B) an DIN 1048-5: 1991 gemäß Scheydt (Scheydt Jennifer C. et al. 2015)	65
Abbildung 24:	Stemmtor mit den wesentlichen Bauwerksteilen (BAW 2010)	70
Abbildung 25:	Abmessungen einer Minizugprobe (links) und möglicher Anordnung von Minizugproben und Kerbschlagbiegeproben (rechts) bei einer Kernbohrung (BAW 2018)	85
Abbildung 26:	Makroschliff einer Auftragsschweißung	86
Abbildung 27:	Makroschliff eines Puddelstahlteilstückes	86
Abbildung 28:	Mikroschliff eines Spundwandstahls mit unterschiedlicher Vergrößerung	87
Abbildung 29:	Baumannabdruck: Seigerung in einem Winkelprofil	87
Abbildung 30:	Wehranlage: Beispielhafte Anordnung von tiefen Grundwassermessstellen im Sohlbereich	90
Abbildung 31:	Wehranlage: Beispielhafte Anordnung von tiefen Grundwassermessstellen im Pfeilerbereich	90
Abbildung 32:	Doppelschleuse (linkes Bild) und Staustufe (rechtes Bild): Beispielhafte Anordnung von tiefen und flachen Grundwassermessstellen	90
Abbildung 33:	Beispielhafte Anordnung von flachen und tiefen Grundwassermessstellen an einer Schleuse (Straßer und Pittroff 2023)	91

Abbildung 34:	linkes Bild: leichte und schwere Rammsondierung aus (Liebetruth 2014); rechtes Bild: Längsschnitt durch eine Drucksondierspitze aus (Krumb und Donat 2017)	94
Abbildung 35:	Messprotokoll eines optischen Bohrlochscanners mit Detailabschnitt Übergang Beton/Fels	96
Abbildung 36:	Bohrkernaufnahme für den Detailabschnitt von 1 m bis 3 m Bohrtiefe	96
Abbildung 37:	Testanlage für Injektionsversuch mit konstanter Rate (KRI) am Beispiel einer Einzelpackeranordnung (links) und für Slug-, Drill-Stem- und Pulse-Test am Beispiel einer Doppelpackeranordnung (rechts) aus (Hekel und Odenwald 2012)	99
Abbildung 38:	Beispielhafte Darstellung einer offenen GWM mit Überflurausbau	101
Abbildung 39:	Beispielhaftes texturiertes Modell (links) und Orthophotomosaik (rechts) eines Kammerabschnittes der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord (BAW 2023b)	110
Abbildung 40:	Beispielhafte Aufnahmen eines Laserscanners, eingefärbt nach Intensitätswerten, der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord (BAW 2023b)	111
Abbildung 41:	Beispielhafte Aufnahme einer Kammerwand der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord durch das Sonar (links) und der Videokamera (rechts) eines ROV (BAW 2023b)	112
Abbildung 42:	Beispielhafte Aufnahme eines Schleusentores (links) und eines Kammerabschnittes (rechts) der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord durch ein Fächerecholot (BAW 2023b)	112
Abbildung 43:	Wehranlage Hessigheim, Fächerecholotaufnahme Kraffthaus mit 2 Wehrverschlüssen (unter Wasserspiegel) und mit mobilem Laserscanner (über Wasserspiegel) sowie dazugehörigem Längsschnitt (VRT Finland Ltd 2021)	113

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Massivbau – Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Strompfeiler einer Wehranlage (Prinzipdarstellung; kein konkreter Bauwerksbezug)
- Anlage 2: Stahlbau – Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für eine Stauwand und einen Riegelgurt
- Anlage 3.1: Geotechnik – Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Darstellung der charakteristischen Bodenparameter einer Auffüllung, eines Lockergesteins und von Schlick
- Anlage 3.2: Geotechnik – Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Darstellung der charakteristischen Felskennwerte für unterschiedliche Gneise

Vorbemerkung

Die BAWEmpfehlung wurde durch Mitarbeiter der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) aufgestellt und richtet sich in erster Linie an deren Beschäftigte, die zum ersten Mal mit einer detaillierten Bauwerksuntersuchung betraut werden. Darüber hinaus kann die BAWEmpfehlung aber auch erfahrene Beschäftigte bei der Beantwortung spezieller Fragestellungen unterstützen. Ausgehend von einer qualifizierten Erfassung und Beschreibung der Zielstellung der anstehenden Bauwerksuntersuchung durch den bzw. die mit der Bauwerksuntersuchung beauftragte Person können unterschiedliche Teile der BAWEmpfehlung zum Tragen kommen. Sie soll die Beschäftigten der WSV in die Lage versetzen, eine Bauwerksuntersuchung gemeinsam mit sachkundigen Externen fachgerecht umzusetzen und die Qualität der erhaltenen Leistungen zu bewerten.

Die BAWEmpfehlung ist eine Zusammenführung der Erfahrungen in den Fachgebieten der Bautechnik (Massivbau, Stahlbau und Korrosionsschutz) sowie der Geotechnik (Grundbau und Grundwasser) bei der Durchführung von Bauwerksuntersuchungen. Sie soll deshalb regelmäßig fortgeschrieben werden. Rückmeldungen von Anwenderinnen und Anwendern können unter der Funktionsmailadresse ebb@baw.de eingebracht werden, um in der nächsten Überarbeitung Berücksichtigung zu finden. Unter der genannten Funktionsmailadresse können auch Fragen zur Anwendung der BAWEmpfehlung gestellt werden. Eingehende Hinweise und Fragen werden durch die zuständigen Fachbereiche der BAW gesammelt bzw. beantwortet.

1 Anwendungsbereich

Die BAWEmpfehlung Bauwerksuntersuchung inkl. Baugrund (EBB) gibt Hinweise und Empfehlungen zur Vorbereitung, Vergabe und Durchführung von Untersuchungen an Wasserbauwerken sowie zu den damit im Zusammenhang stehenden Untersuchungen im Baugrund und zur Erstellung der Fachberichte. Deren Ergebnisse bilden die Datenbasis für weitere Schritte bis hin zur Bewertung der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit sowie der Dauerhaftigkeit von Wasserbauwerken oder der Instandsetzungsplanung.

Zusätzlich werden die wesentlichen, für eine Bauwerksuntersuchung notwendigen nationalen und verkehrswasserbauspezifischen Regelwerke vorgestellt und auf Übereinstimmungen und Abgrenzungen zu diesen Regelwerken hingewiesen.

Die BAWEmpfehlung EBB ist auf eine Anwendung in den Bereichen Massivbau und Stahlbau von Schleusen, Wehranlagen und anderen Wasserbauwerken im Sinne der DIN 19702, DIN 19704-1 und DIN 19704-2 sowie bei den im Zusammenhang mit der Tragfähigkeit stehenden Untersuchungen im Baugrund ausgerichtet.

Der Untersuchungsumfang und die Randbedingungen für das zu untersuchende Bauwerk/Bauwerksteil/Bauteil und den angrenzenden Baugrund sowie das Grundwasser sind projektspezifisch festzulegen. Es sollte sich dabei auf den zur Beantwortung der Fragestellung notwendigen Umfang beschränkt werden.

Mögliche Anwendungsbereiche der BAWEmpfehlung EBB können sein:

- Ermittlung von Stoffeigenschaften sowie von Materialkennwerten und ggf. Baugrundkennwerten als Grundlage zur Beurteilung von Auffälligkeiten und Schäden
- Schaffung einer aktuellen, statistisch ausreichend abgesicherten Datengrundlage für eine statische Bewertung des Massivbaus und des Stahlbaus
- Ermittlung von Stoffeigenschaften, Material- und ggf. Baugrundkennwerten als Grundlage zur Bewertung der Dauerhaftigkeit und des zu erwartenden Schadensfortschritts sowie deren Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks/Bauwerksteils
- Schaffung einer statistisch ausreichend abgesicherten Datengrundlage für die Instandsetzungsplanung
- Schaffung einer statistisch ausreichend abgesicherten Datengrundlage für die Entscheidungsfindung hinsichtlich Instandsetzung oder Neubau

Nicht Gegenstand der BAWEmpfehlung EBB sind:

- Untersuchungen zu spezifischen geotechnischen Fragestellungen
- Erstellung eines Geotechnischen Berichtes im Sinne der DIN 4020
- Bewertung der Untersuchungsergebnisse
- Untersuchungsmethoden zur Klärung von Sonderfragestellungen, die eine wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung erfordern
- Untersuchung von maschinentechnischen Ausrüstungen
- Untersuchungen zum Rückbau
- Umweltplanerische Untersuchungen im Sinne der Mantelverordnung (BMJ 2023b)

Die BAWEmpfehlung EBB ist nicht als Vertragsbestandteil zu vereinbaren, da sie lediglich mögliche Vorgehensweisen aufzeigt.

Der aktuelle Stand der Normung, technische Entwicklungen oder neue bzw. wasserbauspezifische Herangehensweisen sind bei der Nutzung der BAWEmpfehlung EBB zu berücksichtigen.

2 Begriffe

Im Folgenden werden die für das Dokument wesentlichen Begriffe der unterschiedlichen Fachbereiche alphabetisch geordnet aufgeführt.

Hinsichtlich der Bezeichnung von Bauwerken (Objekten) und Bauwerksteilen (Objektteilen) an Wasserbauwerken sowie sonstiger wasserbaulicher Begriffe wird auf das BAWMerkblatt MBI (BAW 2010), auf DIN 4054 sowie DIN 4048-1 und VV-WSV 1102 verwiesen.

- (1) Auffälligkeit
Eine von der Erwartung abweichende Eigenschaft.
- (2) Auftraggeberin
Auftraggeberin ist das WSA/WNA in Vertretung der Bundesrepublik Deutschland.
- (3) Auftragskategorie
Die Auftragskategorien 1 bis 3 gemäß Erlass W13/W14/02.50.10/5 VA 98 (BMV 1998) regeln die Einbindung der Oberbehörden BAW und BfG im Zusammenhang mit Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen.
- (4) Baugrunduntersuchung (Untersuchungen im Baugrund)
Die Baugrunduntersuchung im Sinne dieser Empfehlung umfasst sowohl direkte (z. B. Bohrungen, Schürfen) als auch indirekte (Sondierungen) Aufschlussverfahren, Bohrlochversuche, den Ausbau von Grundwassermessstellen zur Messung des Grundwasserstands, chemische Grundwasseranalysen und Laborversuche. Der Umfang der Baugrunduntersuchung richtet sich nach dem bautechnischen Anlass und dessen Zielstellung.
- (5) Bauwerksteil/Objektteil
Ein wesentlicher, konstruktiv in sich verhältnismäßig abgeschlossener Teil eines Bauwerks/Gebäudes, z. B. Vorboden, Staukörper oder Wehrpfeiler eines Wehres.
- (6) Bauteil
Ein konstruktiver Bestandteil eines Bauwerksteils, z. B. Torlager, Planie.
- (7) Bauwerks- und Baugrundunterlagen
Vorliegende Bestandsunterlagen und ggf. im Rahmen anderweitiger zurückliegender oder laufender Untersuchungen entstandene Dokumente, Pläne, Protokolle etc..
- (8) Bauwerksuntersuchung
Die Bauwerksuntersuchung im Sinne dieser Empfehlung umfasst alle Arbeitsschritte von der Formulierung der Zielstellung über die Vorbereitung und Durchführung der Untersuchungen am Bauwerk und im Baugrund bis zur Erstellung der Fachberichte. Untersuchungen am Bauwerk umfassen den Stahlbau einschließlich Korrosionsschutz und den Massivbau.
- (9) Dauerhaftigkeit (Bautechnik)
Gemäß (BAW 2016): "Eigenschaft eines Tragsystems zur Begrenzung der zeitabhängigen Veränderungen der tragwerksrelevanten Eigenschaften (Korrosion, Erosion usw.). Dauerhaftigkeit ist die notwendige Voraussetzung dafür, dass Tragwerke für eine bestimmte Nutzungsdauer tragfähig und gebrauchstauglich sind."
- (10) Entnahmekategorie (Geotechnik)
Die Kategorie der Probenahme stuft die Probenahmeverfahren in Abhängigkeit von der mit ihnen erzielbaren Probenqualität (Güteklasse der Probe) ein. Es gibt drei Entnahmekategorien A, B und C. Die Festlegung der Entnahmekategorien regelt die DIN EN ISO 22475-1.

(11) Externe

Externe sind beauftragte Fachingenieure/Fachingenieurinnen, beauftragte Ingenieurgemeinschaften, bauausführende Firmen oder Prüflabore. Im Sinne dieser Empfehlung werden vereinfachend auch die Oberbehörden (BAW, BfG) als Externe bezeichnet.

(12) Fachingenieur/in

Fachingenieure/Fachingenieurinnen im Sinne dieser Empfehlung sind:

- Sachkundige Planer/Sachkundige Planerinnen (Massivbau) (siehe (21))
- Sachverständige für Geotechnik (siehe (22))
- Sachverständige für Stahlbau (siehe (23))
- Tragwerksplaner/Tragwerksplanerinnen für Massiv- und Stahlbau

Sind Fachingenieure/Fachingenieurinnen aus anderen EU-Mitgliedsstaaten beteiligt, sind gleichwertige Fachnachweise anzuerkennen.

(13) Gebrauchstauglichkeit (Bautechnik)

Gemäß (BAW 2016): „Gebrauchstauglichkeit im Sinne von DIN EN 1990 ist die Fähigkeit des Tragwerks, die planmäßige Nutzung entsprechend festgelegter Bedingungen zu ermöglichen. Bei Wasserbauwerken gehören dazu vorrangig die Begrenzung von Rissbildung und Verformungen sowie eine ausreichende und dauerhafte Undurchlässigkeit der Konstruktion.“

(14) Grundwassermessstelle (GWM) (Geotechnik)

Grundwassermessstellen, nachfolgend GWM abgekürzt, dienen der Erfassung der zeitlichen Veränderungen sowie der räumlichen Verteilung der Grundwasserstände. GWM können Teil des Bauwerks sein.

(15) Güteklasse (Geotechnik)

Klassifikation, durch die die Güte einer Baugrundprobe (Lockergesteinsprobe, Festgesteinsprobe) im Labor bewertet wird, Handbuch EC 7, Band 2. Die Baugrundproben für Laborversuche werden in fünf Güteklassen eingeteilt. Die Zuordnung der bestimmaren Baugrundeigenschaften (Eigenschaften des Lockergesteins, Eigenschaften des Festgesteins) zur vorhandenen Probengüte erfolgt nach Handbuch EC7, Band 2, Tabelle 3.1. (DIN 2011).

(16) Ingenieurgemeinschaft

Unter „Ingenieurgemeinschaft“ wird hier als Synonym eine temporäre Gemeinschaft z. B. aus begutachtenden Fachingenieuren/Fachingenieurinnen des Massiv- und Stahlbaus sowie der Geotechnik, Fachfirmen für geotechnische Bohrlochversuche, besondere zerstörende und zerstörungsfreie Prüfverfahren sowie Prüflaboren verstanden. Dabei können unterschiedliche Vertragsverhältnisse innerhalb der Gemeinschaft (z. B. mit gleichberechtigten Unternehmen oder mit Nachunternehmern) bestehen.

(17) Instandhaltung (Bautechnik)

Gemäß DIN EN 1990: „Gesamtheit der Maßnahmen, die während der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerks durchgeführt werden, um dessen Funktionsfähigkeit zu erhalten.“

(18) Instandsetzung (DIN 2011)

Gemäß DIN EN 1990, Abschnitt 1.5.2.21: „Planmäßige und außerplanmäßige Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Erhaltung der Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, die über Maßnahmen der Bauwerksunterhaltung hinausgehen.“

(19) Maßgebende technische Eigenschaften

Zu den maßgebenden technischen Eigenschaften gehören:

- Stoffkennwerte für Beton, Stahl, Korrosionsschutz
- Informationen über den Baugrund (z. B. Schichtung, Baugrundparameter, geohydraulische Parameter)
- Geometrie und deren Veränderungen hinsichtlich Kubatur und Lage (z. B. Restwanddicke, Verformung, Kippung, Sackung des Bauwerks)
- Struktur (z. B. Aufbau des Massivbaus, Kontaktbereich Bauwerk/Baugrund)
- Risse im Massiv- und Stahlbau, Oberflächenschäden, Ausbrüche aus Fugen

(20) Nutzungsdauer/Restnutzungsdauer (Bautechnik)

Nutzungsdauer gemäß DIN EN 1990: „Angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche außerplanmäßige Instandsetzung erforderlich ist.“

Restnutzungsdauer gemäß BAWMerkblatt TbW (BAW 2016) sowie BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018): „Nutzungsdauer eines bestehenden Bauwerks bis zum Ende seiner Nutzungsfähigkeit. Sofern keine Anzeichen oder Analysen (auch Neuberechnungen) für eine zeitliche Nutzungsgrenze vorliegen, ist die Restnutzungsdauer die Differenzzeit zwischen Betrachtungszeitpunkt und Ende der geplanten Nutzungsdauer.“

(21) Sachkundiger Planer/Sachkundige Planerin (Massivbau)

Der Sachkundige Planer/die Sachkundige Planerin (SKP) ist ein Fachingenieur/eine Fachingenieurin mit einem Kenntnissnachweis über besondere Fachkunde auf dem Gebiet der Instandhaltung von Massivbauwerken. Der Kenntnissnachweis erfolgt auf Grundlage einheitlicher Regelungen des Ausbildungsbeirates „Sachkundiger Planer“ beim Deutschen Institut für Prüfung und Überwachung e.V. (DPÜ).

(22) Sachverständiger/Sachverständige für Geotechnik

Der/die Sachverständige für Geotechnik verfügt aufgrund einer fundierten Ingenieur- bzw. ingenieur-geologischen Ausbildung und langjähriger Erfahrung auf seinem/ihrer Fachgebiet über eine besondere geotechnische Expertise. In der DIN 4020 wird der Begriff des/der Sachverständigen für Geotechnik nur grob definiert. Ein umfassendes Leistungsbild ist in der Empfehlung des Arbeitskreises „Sachverständiger für Geotechnik“ (Arbeitskreis AK 2.11 der DGGT 2016) dargestellt.

(23) Sachverständiger/Sachverständige für Stahlbau

Normative Regelungen oder Empfehlungen für Sachverständige im Stahlbau liegen nicht vor. Als Sachverständiger/Sachverständige für Stahlbau wird hier ein Fachingenieur/eine Fachingenieurin verstanden, der/die über umfassende Kenntnisse und Erfahrungen hinsichtlich des Erkennens und Bewertens von Schäden und Mängeln an Stahlbauteilen verfügt. Er/Sie muss die Auswirkung der Schäden auf die Standsicherheit beurteilen können und bei Fragestellungen, die nicht in seiner/ihrer Fachkompetenz liegen, z. B. Schweißtechnik, weitere spezielle fachkundige Ingenieure/Ingenieurinnen hinzuziehen.

(24) Schaden

Ein Schaden ist eine Abweichung zwischen dem Ist- und dem Soll- Zustand eines Bauteils im Hinblick auf die Tragfähigkeit und/oder Dauerhaftigkeit und/oder die Gebrauchstauglichkeit, wenn diese Abweichung einen Nachteil darstellt.

(25) Tragfähigkeit (Bautechnik)

Gemäß (BAW 2016): „Unter dem Begriff Tragfähigkeit ist allgemein die Sicherheit gegen Störungen des mechanischen Gleichgewichts der inneren und äußeren Kräfte an einem Tragwerk bzw. Tragsystem oder seiner Teile zu verstehen. Ein Tragwerk ist dann ausreichend tragfähig, wenn es mit angemessener Zuverlässigkeit den erwarteten Einwirkungen widersteht, die während seiner Nutzung auftreten können. Ein Synonym für Tragfähigkeit sind die Begriffe Standsicherheit oder Tragsicherheit.“

(26) Untersuchungsplan

Der Untersuchungsplan beinhaltet die detaillierte Planung, Koordinierung und organisatorische Vorbereitung von Untersuchungen am Bauwerk und im Baugrund. An diesen Untersuchungen können ein Einzelfachbereich oder ein Zusammenschluss verschiedener Fachbereiche sowie unterschiedliche Ressourcen beteiligt sein.

3 Untersuchungsanlass und -umfang

3.1 Allgemeines

Untersuchungsanlass und -umfang resultieren im Rahmen der hier vorliegenden BAWEmpfehlung EBB aus **bautechnischen Fragestellungen**. Nachfolgend sind typische Anlässe dargestellt und geben Hinweise zum Untersuchungsumfang und zur Herangehensweise.

3.2 Auffälligkeiten oder Schäden am Bauwerk

Auffälligkeiten und Schäden an Wasserbauwerken reichen von augenfälligen Fehlstellen am Massivbau oder am Korrosionsschutz der Stahlbauten über akzeptable und nicht akzeptable Rissbilder oder schadhafte Fugen und Dichtungen bis hin zu größeren Tragwerksverformungen, ggf. in Verbindung mit Geländesetzungen oder Bodenausspülungen. Solche Schäden können die Tragfähigkeit oder die Gebrauchstauglichkeit bzw. die Dauerhaftigkeit reduzieren.

Bei der Bauwerksprüfung nach VV-WSV 2101 sollen visuell erkennbare Auffälligkeiten und Schäden systematisch festgestellt und bewertet werden. Es ist zu beachten, dass nicht alle Schäden aufgrund deren Lage im Bauteil visuell erkennbar sind, z. B. bei Lage unter Wasser oder im erdangeschütteten Bereich. Ein Anlass kann auch sein, dass infolge außerordentlicher Ereignisse während der Nutzung (wie z. B. Schiffsanprall, Extremhochwasser, Auskolkungen, Erdbeben o. ä.) die Existenz verdeckter Schäden am Tragwerk unterstellt werden muss.

Meist sind für eine umfassende Schadensbewertung gesonderte Untersuchungen am Bauwerk unverzichtbar. Dabei hängen Art und Umfang der Untersuchungen und der in diesem Zusammenhang zu ermittelnden Materialeigenschaften und Bauwerkskenngrößen von der konkreten Fragestellung bzw. ggf. erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen ab.

Sind statische Nachweise der Tragfähigkeit zur Beurteilung von Schäden erforderlich, stehen neben Aufbau und Abmessungen des Bauwerks bzw. Bauteils die Stofffestigkeiten, die Ermittlung von Wasser- bzw. Grundwasserständen und ggf. Baugrundaufbau und -eigenschaften als Basis für die Nachweisführung in den maßgebenden Bemessungsschnitten sowie im Lager- bzw. Gründungsbereich im Vordergrund. Für Tragfähigkeitsnachweise im Stahlbau sind weitere Kenngrößen wie Duktilität und Bauteilverformungen zu ermitteln. Der Untersuchungsplan leitet sich aus den Vorgaben der BAWMerckblätter TbW (BAW 2016) für Massivbauten und TbVS (BAW 2018) für Stahlbauten ab. Durch statische Vorbetrachtungen und geschickte Anordnung der Beprobungsstellen unter Berücksichtigung der Tragwirkung, der Lastverteilung am Bauwerk und unter Berücksichtigung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse ist es in der Regel möglich, vor Ort mit einer Untersuchungskampagne auszukommen.

Bei dauerhaftigkeitsrelevanten Schadensbildern, wie z. B. Frost- und Frost-Tausalzschäden, carbonatisierungs- oder chloridinduzierter Korrosion oder einer schädigenden AKR, steht neben der Klärung der Schadensursache die Abschätzung des zu erwartenden Schadensfortschritts im Mittelpunkt. Bei ausreichend gegebener Tragfähigkeit konzentrieren sich die Untersuchungen an Massivbauten überwiegend auf den oberflächennahen Bereich. Dabei sollte beachtet werden, dass im Ergebnis der Zustandsbewertung eine Oberflächeninstandsetzung nach ZTV-W LB 219 erforderlich werden kann, für deren Planung wiederum bestimmte technische Eigenschaften und Kennwerte bekannt sein müssen. Untersuchungen an geschädigten Korrosionsschutzsystemen bzw. Beschichtungen an Stahlbauten erfordern auf den Schaden abgestimmte Methoden (z. B. Schichtdickenmessungen oder Lösemittelbestimmungen), deren Umfang durch den Schaden bestimmt wird.

Bei geotechnisch bedingten Auffälligkeiten oder Schäden am Bauwerk oder umfassender geotechnischer Nachweisführung sind die im Rahmen dieser BAWEmpfehlung aufgeführten geotechnischen Untersuchungen nicht ausreichend. Für diese Anlässe ist Rücksprache mit der BAW zu halten.

3.3 Aktualisierung der Bestandsunterlagen

Bestandsunterlagen nach VV-WSV 2116 einschließlich Bestandsstatiken müssen für Wasserbauwerke der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung durch die WSÄ in aktueller Form vorgehalten werden. Liegen keine aktuellen Unterlagen vor, so sind diese mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu überprüfen und ggf. entsprechend zu ergänzen. Dazu gehört auch die Kontrolle von Bauwerksabmessungen sowie die Ermittlung baustofflicher Kennwerte und Einwirkungen.

Ist für massive Wasserbauwerke nach DIN 19702 ein Standsicherheitsnachweis erneut vorzunehmen, darf auf den vorhandenen Datenbestand zurückgegriffen werden. Fehlen Angaben zu den Stoffeigenschaften, können bei Massivbauten Erfahrungswerte gemäß Stufe A im BAWMerkblatt TbW (BAW 2016) zur Anwendung kommen. Bei Stahlbauten können für die Nachweise zum Strukturversagen in Stufe I die im BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) bereitgestellten Werkstoffkennwerte angenommen werden.

Ist eine statische Bewertung nach Stufe A bzw. Stufe I nicht erfolgreich, wird gemäß BAWMerkblatt TbW (BAW 2016) eine Bauwerksuntersuchung zur Ermittlung der dafür notwendigen maßgebenden technischen Eigenschaften erforderlich. Die Bauwerksuntersuchung richtet sich dann nach den Anforderungen der erforderlichen Nachweisführung, gemäß Stufe B oder C bzw. Stufe II oder III.

3.4 Erstbewertung einzelner Bauwerke und von Bauwerksgruppen

In Vorbereitung umfangreicher Instandsetzungs- oder Ausbaumaßnahmen bzw. zur Aufstellung von Instandsetzungsstrategien für eine oder mehrere Anlagen einer Bundeswasserstraße kann es erforderlich werden, den betroffenen Bauwerksbestand einer ersten Bewertung (Erstbewertung) zu unterziehen. Ziel dieser Bewertung kann u. a. die Überprüfung der vorhandenen Bauwerke hinsichtlich deren grundsätzlicher Eignung für die Erfüllung aktueller und zukünftiger Anforderungen und die Abschätzung des Umfangs der erforderlichen Eingriffe in die vorhandene Bausubstanz sein. Hierfür kann es sinnvoll sein, eine erste überschlägige Erfassung wesentlicher Eigenschaften zur vorläufigen Bewertung des Bauwerkszustandes vorzunehmen. Erforderlich sind gemäß dieser Zielsetzung zunächst Angaben zu den wesentlichen technischen Eigenschaften des Bauwerks oder der Bauwerksgruppe (z. B. Schleusen oder Wehranlagen aus vergleichbarer Bauzeit, mit vergleichbarer Bauausführung und Konstruktion an einem Flussabschnitt etc.). Es ist zu beachten, dass eine nach bautechnischen Aspekten zusammengefasste Bauwerksgruppe im Allgemeinen nicht auf den Baugrund übertragbar ist.

3.5 Nutzungsänderungen oder Umbauten

Ergeben sich im Rahmen von Nutzungsänderungen oder Umbauten an Wasserbauwerken Änderungen hinsichtlich des Tragwerks selbst oder der statischen und dauerhaftigkeitsrelevanten Beanspruchungen und Einwirkungen, ist für die angestrebte Nutzung ein Nachweis ausreichender Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erforderlich. In diesem Zusammenhang ist es oft notwendig, die maßgebenden technischen Eigenschaften des Ist-Zustandes eines Bauwerkes zum Beispiel als Grundlage für das Lastenheft des Betreibers zu erfassen. Art und Umfang der entsprechenden Untersuchungen sind abhängig von Art und Ausmaß der vorgenannten Änderungen und stets projektspezifisch festzulegen.

3.6 Spezielle Fragestellungen

In Ergänzung der vorgenannten Anlässe ist es nicht auszuschließen, dass aufgrund spezieller Fragestellungen Einzeluntersuchungen am Objekt notwendig werden. Das kann beispielsweise beim Ablauf der bisher zugrunde gelegten planmäßigen Nutzungsdauer oder bei Bekanntwerden von Bemessungs- oder Ausführungsmängeln bzw. bei baustoff-, bauweisen- oder systembedingtem Verdacht auf mögliche Beeinträchtigung der Sicherheit der Fall sein. Im Vordergrund der Untersuchungen stehen in diesen Fällen meist tragfähigkeitsrelevante Größen und Kennwerte. Art und Umfang der Erfassung der maßgebenden Eigenschaften sind dann entsprechend der konkreten Fragestellung festzulegen.

4 Projektablauf

4.1 Allgemeines

Jede Bauwerksuntersuchung besteht unabhängig von ihrem Anlass und Umfang aus einem organisatorischen und einem fachlichen Ablauf, welche parallel zueinander und in vielfältigen Wechselwirkungen miteinander stehen. Die BAWEmpfehlung orientiert sich in ihrem Aufbau an diesen in Abbildung 1 dargestellten Zusammenhängen.

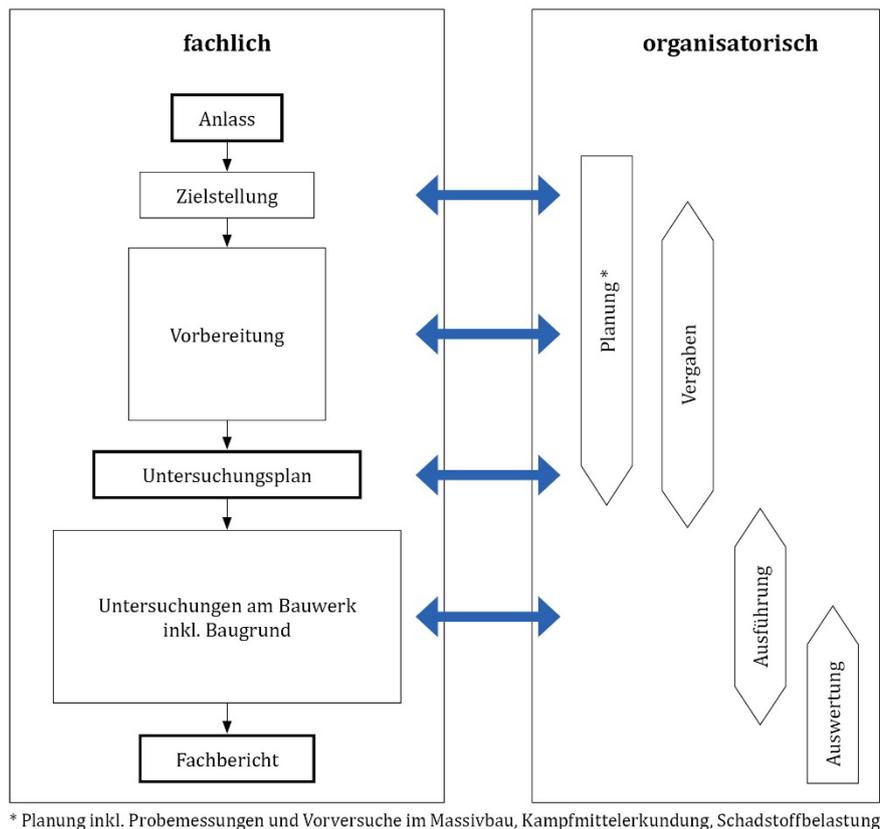


Abbildung 1: Überblick über den organisatorischen und fachlichen Ablauf einer Bauwerksuntersuchung

4.2 Fachlicher Ablauf

Eine Bauwerksuntersuchung verläuft im Regelfall nach dem in Tabelle 1 dargestellten fachlichen Gesamtprozess. Die Tabelle ist in die wesentlichen Projektphasen von der Formulierung der Zielstellung bis zur Erstellung der Fachberichte gegliedert. Die innerhalb der einzelnen Projektphasen (in der Tabelle grau hinterlegt) dargestellten Arbeitsschritte werden im Allgemeinen parallel abgearbeitet. Je nach projektspezifischer Situation müssen nicht alle hier aufgeführten Positionen (z. B. Untersuchungen gemäß Kapitel 6.4 bis 6.6 relevant werden, es können jedoch auch zusätzliche Arbeitsschritte (z. B. die Überarbeitung der Zielstellung und/oder des Untersuchungsplans) erforderlich sein. Die aufgeführten Arbeitsschritte benötigen je nach Fachbereich oftmals einen unterschiedlichen Zeitbedarf.

In den Kapiteln 5 bis 13 werden die Inhalte der einzelnen Arbeitsschritte näher erläutert.

Tabelle 1: Fachlicher Gesamttablauf einer Bauwerksuntersuchung

Arbeitsschritte			
	Massivbau	Stahlbau und Korrosionsschutz	Geotechnik
A	Formulierung der Zielstellung		
B	Vorbereitung		
B1	Recherche der Bauwerks- und Baugrundunterlagen		
B2	Recherche der örtlichen Randbedingungen		
B3	Recherche der sicherheitsrelevanten Randbedingungen		
B4	Probemessungen und Vorversuche		
B5			Kampfmittelerkundung
B6	Ermittlung der Schadstoffbelastung		
C	Untersuchungsplan		
D	Untersuchungen am Bauwerk		Untersuchungen im Baugrund
D1	Abgleich der Bauwerksgeometrie		
D2	Zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen am Bauwerk		Baugrunderkundung (Felduntersuchungen)
D3	Vermessung der Bohransatzpunkte und Untersuchungsbereiche		
D4	Probenbehandlung, Lagerung, Dokumentation, Transport		
D5	Verschluss von Öffnungsbereichen und Bohrlöchern	Verschluss der Entnahmestellen und Wiederherstellung des Korrosionsschutzes	Verfüllung von Bohrlöchern
D6	Laborprüfungen/Laborversuche		
D7	Entsorgung		
E	Fachberichte		

4.3 Zuständigkeiten und Schnittstellen

Zur Gewährleistung einer reibungslosen Organisation von Bauwerksuntersuchungen ist es entscheidend, sich frühzeitig Klarheit über den Ablauf sowie die Zuständigkeiten und Schnittstellen von der Vorbereitung bis zur Erstellung der Fachberichte zu verschaffen. Je nach Zuständigkeitsverteilung ergeben sich unterschiedliche Schnittstellen zwischen den am Projekt Beteiligten. Die notwendigen Kapazitäten und Ressourcen (Personal, Zeit und finanzielle Mittel) sowie die erforderliche Fachkompetenz richten sich nach der Komplexität der Aufgabenstellung und der Bedeutung der Maßnahme.

In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung müssen externe Fachingenieure/Fachingenieurinnen mit tragwerksplanerischer, baustofflicher und geotechnischer Sachkunde hinzugezogen werden, siehe Kapitel 4.4. Die Vergabe der Fachleistung sollte in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung, der Kompetenz der zuständigen WSV-Fachingenieure/WSV-Fachingenieurinnen sowie der Personalkapazität zu einem möglichst frühen Zeitpunkt erfolgen, siehe Abbildung 2.

Der Umfang der fachlichen Einbindung der BAW/BfG ist durch den Erlass W 13/W 14/02.50.10/5 VA 98 (BMV 1998) geregelt. Die Einordnung des geplanten Auftrages in die jeweilige Auftragskategorie sollte vor dem Auftragsbeginn gemeinsam mit der BAW/BfG festgelegt werden.

Die Auftragskategorie 1 ist wegen der besonderen Bedeutung durch die BAW/BfG zu bearbeiten. Die BAW kann zur Bearbeitung Externe hinzuziehen. (BMV 1998)

Aufträge der Kategorie 2 werden erst nach erfolgter Abstimmung mit der BAW/BfG von den Unterbehörden an Externe (Fachingenieur/Fachingenieurin) vergeben. (BMV 1998)

Aufträge der Kategorie 3 werden ohne Beteiligung der BAW von den Unterbehörden direkt an Externe (Fachingenieur/Fachingenieurinnen) vergeben. (BMV 1998)

Für die zeitliche Planung der Maßnahme sollten die erforderlichen Zeiträume für die Vorbereitung, Vergabe, Durchführung sowie Auswertung und Bewertung realistisch abgeschätzt werden. Die erforderliche Personalkapazität ist hierbei zu berücksichtigen. Weiterhin sind Untersuchungen, die über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden müssen, wie z. B. Grundwasserstandsmessungen oder Nebelkammeruntersuchungen zur Ermittlung der AKR-Restdehnung unbedingt zu berücksichtigen.

Für die organisatorische Planung der Maßnahme sollten frühzeitig die Zuständigkeiten und Schnittstellen durch die projektverantwortliche Person definiert bzw. festgelegt werden, um einen schnellen Informationsfluss und eine schnelle Handlungsfähigkeit zwischen den Beteiligten zu gewährleisten. Die festgelegten Zuständigkeiten und Schnittstellen müssen allen Beteiligten bekannt sein.

Für die Auftragskategorie 1 sind Aufgaben und die sich daraus ergebenden Zuständigkeitsverteilungen und die Verantwortlichkeitsbereiche mit der BAW abzustimmen.

Für die Auftragskategorien 2 und 3 werden im Folgenden **zwei mögliche Varianten** für Verantwortlichkeitsbereiche und Zuständigkeitsverteilungen der typischen Arbeitsschritte einer Bauwerksuntersuchung in Abhängigkeit von der verfügbaren fachlichen Kompetenz und/oder der Personalkapazität aufgezeigt und erläutert. **Neben diesen beiden Varianten ist eine Vielzahl von Mischvarianten vorstellbar.** In Abbildung 2 werden mögliche Zuordnungen von der Planungs- bis zur Vergabephase dargestellt. Aufbauend auf Abbildung 2 zeigen Abbildung 3 und Abbildung 4 variantenabhängige mögliche Zuordnungen während der Durchführung der Untersuchungen am Bauwerk (Stahlbau einschließlich Korrosionsschutz und Massivbau) ggf. inkl. Untersuchungen am Baugrund bis hin zur Erstellung der Fachberichte.

Die BAW kann die WSV ggf. auch in den Auftragskategorien 2 und 3 projektbegleitend beraten.

Unabhängig von den Zuständigkeiten und Schnittstellen innerhalb des Projektes verbleibt die Vertrags- und Projektverantwortung für die Bauwerksuntersuchung sowie die Baubevollmächtigung immer bei der WSV.

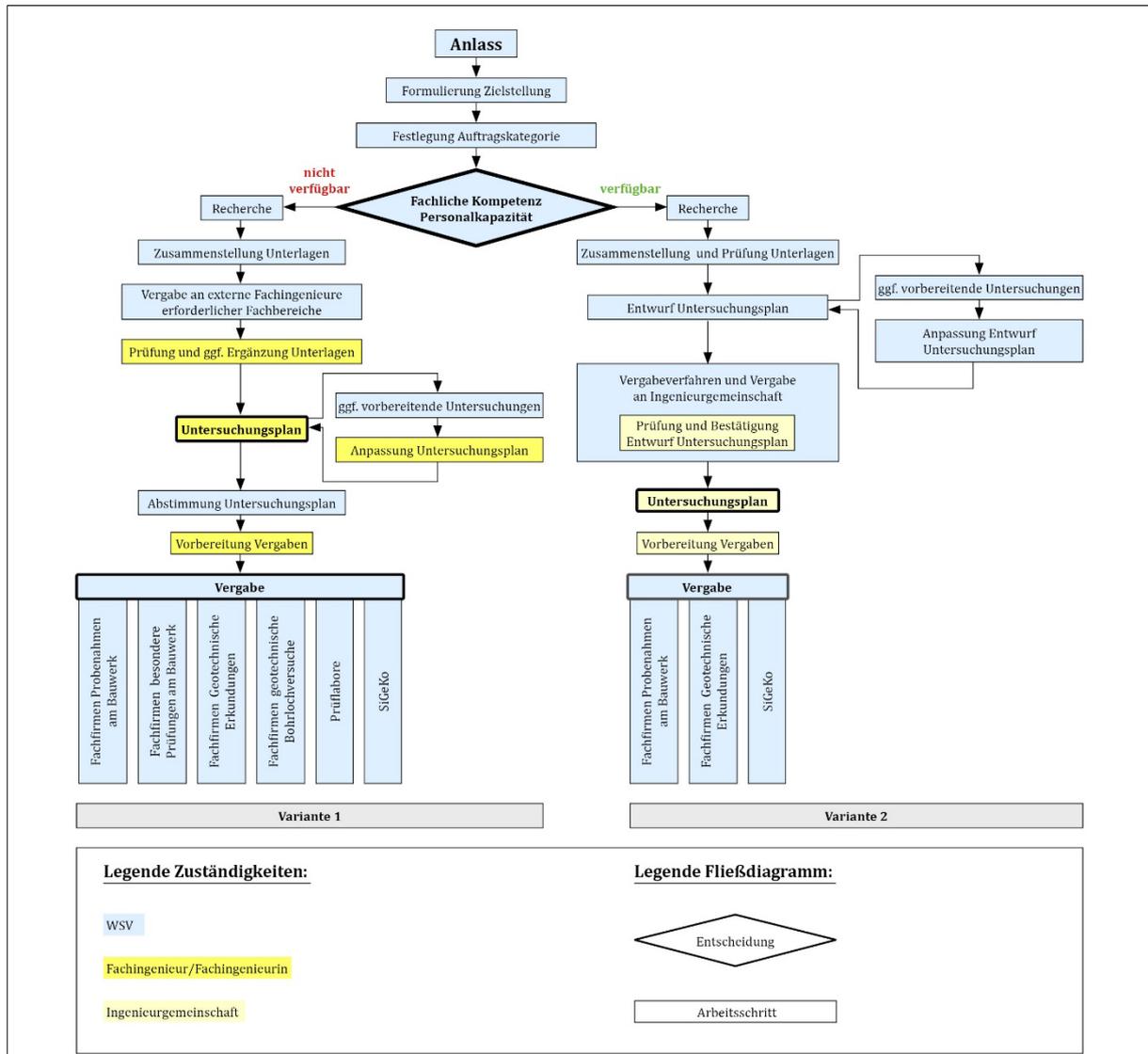


Abbildung 2: Mögliche Zuständigkeiten von der Planung bis zur Vergabe für die Auftragskategorien 2 und 3

Die **Variante 1** stellt eine mögliche Vorgehensweise dar, bei der die fachlichen Kompetenzen von externen Fachingenieuren/Fachingenieurinnen aus den Bereichen des Massivbaus, des Stahlbaus und der Geotechnik bereits für die Vorbereitung der Maßnahme in Anspruch genommen werden, siehe Abbildung 2. Die WSV stellt alle vorhandenen Bauwerksunterlagen zur Verfügung. Die Auseinandersetzung mit dem Bauwerk/Baugrund erfolgt von der Aufstellung des Untersuchungsplans über die Vorbereitung der Vergabeunterlagen bis zur Erstellung der Fachberichte durchgängig durch die externen Fachingenieure/Fachingenieurinnen der einzelnen Fachbereiche (Abbildung 2 und Abbildung 3).

Es kann sinnvoll sein, die Vergabe von Bohrleistungen, Bohrlochversuchen, zerstörenden/zerstörungsfreien Untersuchungen und Laborleistungen zu trennen. Dies ermöglicht eine zielgerichtete Beauftragung qualifizierter Fachfirmen, bedingt jedoch einen erhöhten Vergabeaufwand. Vergaberechtliche Rahmenbedingungen der WSV (VV-WSV 2102; VV-WSV 2104) sind zu beachten. Die daraus resultierenden Schnittstellen bei der Durchführung der Bauwerksuntersuchung erfordern einen erhöhten Koordinationsaufwand zwischen den an der Maßnahme Beteiligten, siehe Abbildung 3. Während der gesamten Projektlaufzeit sind zeitnahe Abstimmungen erforderlich.

Die fachliche Planung, die Begleitung der Durchführung und die Qualitätssicherung der Untersuchungen sollte durch die jeweiligen externen Fachingenieure/Fachingenieurinnen erfolgen, da diese die Ergebnisse der Untersuchungen verantworten müssen. Der WSV obliegt die Koordination der baulichen Durchführung. Davon unberührt liegt die fiskalische und bauaufsichtliche Verantwortung gem. VV-WSV 2110 bei der WSV.

Die **Variante 2** stellt eine mögliche Vorgehensweise dar, bei der der WSV die notwendige Personalkapazität und die fachliche Kompetenz zur Verfügung steht und diese von der Vorbereitung der Maßnahme über die Auseinandersetzung mit dem Bauwerk bis hin zur Aufstellung des Entwurfs eines Untersuchungsplans nutzen kann, siehe Abbildung 2. Bis zu einer endgültigen Abstimmung mit der Ingenieurgemeinschaft hat der Untersuchungsplan den Status eines Entwurfs.

Der durch die WSV erarbeitete Entwurf des Untersuchungsplans muss hinsichtlich seines Inhalts und Umfangs so aufgestellt werden, dass dieser von der zu beauftragenden Ingenieurgemeinschaft im Rahmen des Vergabeverfahrens geprüft werden kann. Die Akzeptanz des durch die WSV erstellten Entwurfs des Untersuchungsplans durch die Ingenieurgemeinschaft ist bei dieser Variante eine wesentliche Grundvoraussetzung für den Erfolg. Mit der endgültigen Festlegung des Untersuchungsplans durch die Ingenieurgemeinschaft geht die fachliche Verantwortung und Qualitätssicherung bis zur Erstellung der Fachberichte auf die Ingenieurgemeinschaft über, siehe Abbildung 2 und Abbildung 4. Bei dieser Variante sollte die Ingenieurgemeinschaft regelmäßig den Arbeitsfortschritt an die WSV kommunizieren.

Durch die Beauftragung einer Ingenieurgemeinschaft einschließlich deren Nachunternehmen können z. B. anspruchsvolle zerstörende und zerstörungsfreie Bauwerksprüfungen, Bohrlochversuche sowie Laborleistungen aus einer Hand ausgeführt werden. Der erforderliche Koordinationsaufwand durch die WSV während der Untersuchungen ist durch die Bildung der Ingenieurgemeinschaft im Vergleich zu Variante 1 geringer.

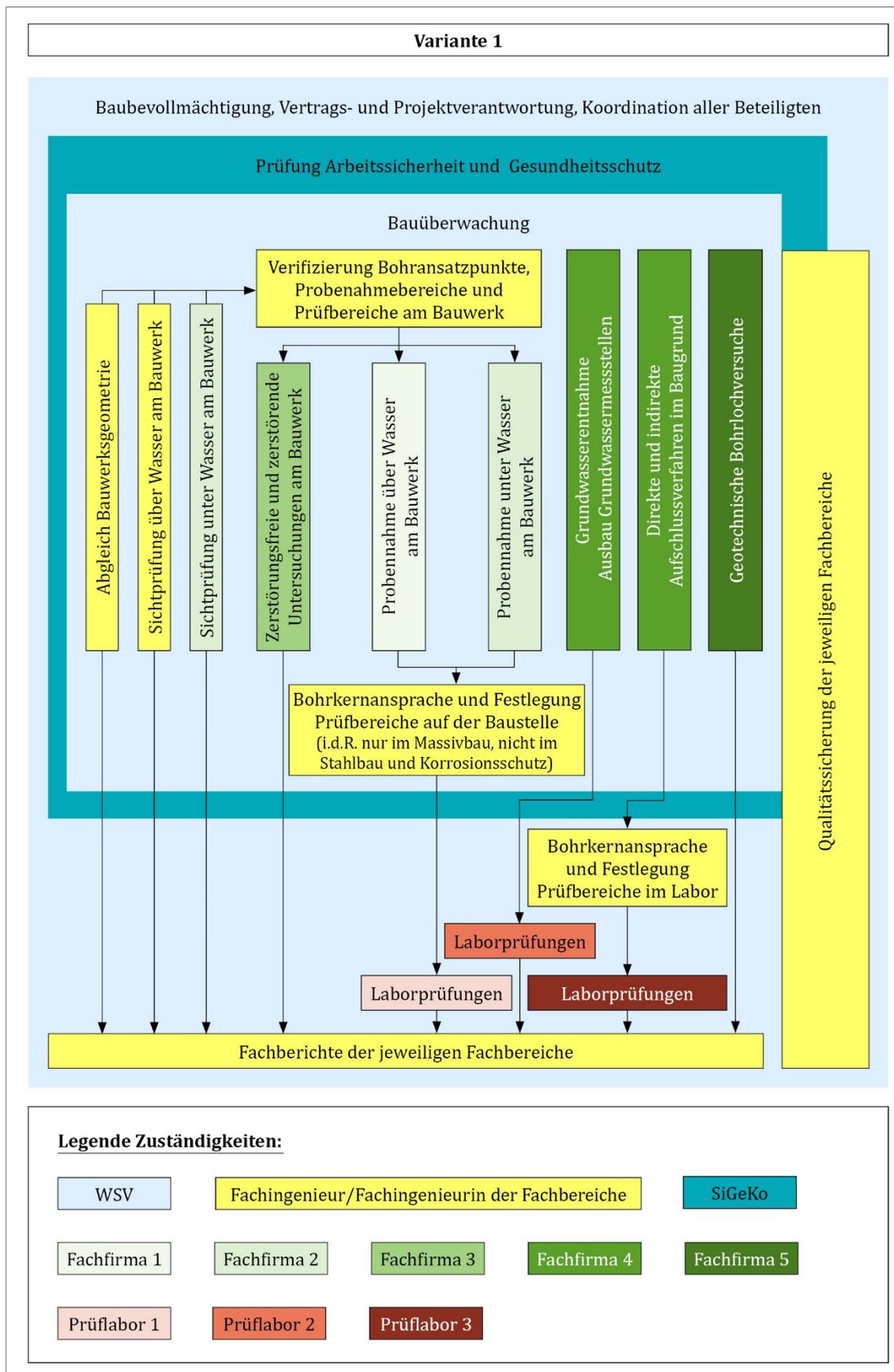


Abbildung 3: Variante 1: Mögliche Aufgaben und Zuständigkeiten von der Durchführung der Untersuchungen bis zur Erstellung der Fachberichte aufbauend auf Abbildung 2

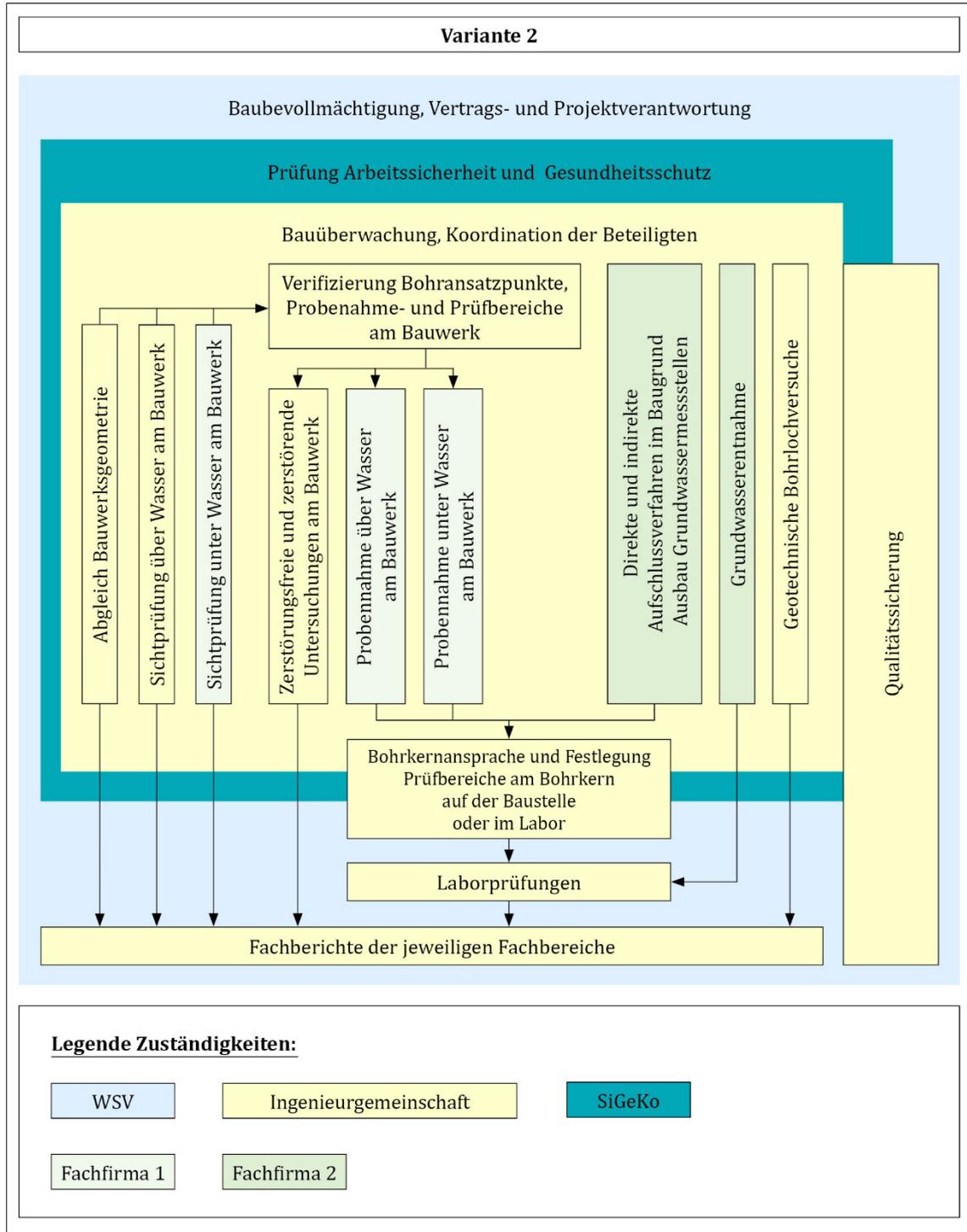


Abbildung 4: Variante 2: Mögliche Aufgaben und Zuständigkeiten von der Durchführung der Untersuchungen bis zur Erstellung der Fachberichte aufbauend auf Abbildung 2

4.4 Unternehmensqualifikation und personelle Qualifikation/Eignung

Die erforderlichen Unternehmensqualifikationen müssen im Vorfeld zur geplanten Vergabe festgelegt werden. Vorgaben zur Festlegung von Eignungsnachweisen enthalten das VHB (VV-WSW 2102) und das VHLF (VV-WSV 2104). Zum Nachweis der Eignung sollten insbesondere Referenzen für die Erbringung vergleichbarer Leistungen gefordert und bewertet werden.

Für die Ingenieurleistungen der unterschiedlichen Fachbereiche sind spezielle Qualifikationen erforderlich. Sind Fachingenieure/Fachingenieurinnen aus anderen EU-Mitgliedsstaaten beteiligt, sind gleichwertige Fachnachweise anzuerkennen.

Die projektspezifischen Anforderungen an die Sachkunde des Fachingenieurs/der Fachingenieurin für die Planung von Instandsetzungsmaßnahmen am Massivbau sind gemäß ZTV-W LB 219:2017 durch die Auftraggeberin festzulegen. Es wird empfohlen, für Bauwerksuntersuchungen mit entsprechender Zielsetzung grundsätzlich einen Sachkundigen Planer/eine Sachkundige Planerin mit entsprechendem Kenntnissnachweis gemäß den Regelungen des DPÜ (Deutsches Institut für Prüfung und Überwachung e.V.) zu binden. Dieser/Diese muss über besondere Kenntnisse hinsichtlich des Erkennens und Bewertens von Schäden und Mängeln und deren Ursachen am Massivbau verfügen. Die Auswirkung der Schäden auf die Standsicherheit müssen durch ihn/sie beurteilt werden können. Bei Fragestellungen, die nicht in seiner/ihrer Fachkompetenz liegen, sind weitere, spezielle fachkundige Ingenieure/Ingenieurinnen hinzuziehen.

Die erforderlichen projektspezifischen Anforderungen an die Sachkunde des Fachingenieurs/der Fachingenieurin für Stahlbau sind durch die Auftraggeberin festzulegen und sollten über Referenzprojekte nachgewiesen werden. Der/Die Sachverständige für Stahlbau muss über umfassende Kenntnisse und Erfahrungen hinsichtlich des Erkennens und Bewertens von Schäden und Mängeln an Stahlbauteilen verfügen. Er/Sie muss die Auswirkung der Schäden auf die Standsicherheit beurteilen können. Der/Die Sachverständige für Korrosionsschutz sollte die Qualifikation eines Beschichtungsinspektors/einer Beschichtungsinspektorin (Frosio, DIN Certco oder gleichwertig) vorweisen können. Für die Probenahme zur Analyse von gefahrstoffhaltigen Altbeschichtungen (Korrosionsschutz) ist eine gesonderte Qualifikation nach TRGS 519 (AGS 2014) erforderlich. Die Probenahme erfolgt vorzugsweise durch das zertifizierte Analyseinstitut.

In der Empfehlung EASV der DGGT (Arbeitskreis AK 2.11 der DGGT 2016) werden die notwendigen fachlichen Voraussetzungen und die konkreten Anforderungen an den Sachverständigen/die Sachverständige der Geotechnik und an seine/ihre Sachkunde, insbesondere in Abhängigkeit der unterschiedlichen Anforderungen je nach Geotechnischer Kategorie (GK), beschrieben. Bei Baumaßnahmen der GK 2 oder GK 3 ist ein Sachverständiger/eine Sachverständige für Geotechnik bereits zum Zeitpunkt der Grundlagenermittlung oder der Vorplanung einzuschalten. Die GK 3 erfordert vertiefte Kenntnisse und Erfahrungen in dem jeweiligen Teilgebiet der Geotechnik. Die Geotechnischen Kategorien sind im Handbuch EC7, Band 1 (DIN EN 1997-1) bzw. in der DIN 1054 definiert. Die hier in der Empfehlung zu betrachtenden Bestandwasserbauwerke sind i. d. R. der Kategorie GK 3 zuzuordnen.

Um den hohen Anforderungen an die Bauleistungen und die Baugrunderkundung gerecht zu werden, sind diese nur von Fachfirmen mit qualifiziertem Personal und entsprechender Ausrüstung durchzuführen. Konkrete Hinweise zu den Qualifikationskriterien für Unternehmen und Personal geben z. B. die Merkblätter BAW MBK (BAW 2012a) und FGSV MQGeoE (FGSV 2015). Beispielsweise muss der Bohrgeräteführer zur Durchführung der Baugrunderkundungsbohrungen den Fortbildungs- und Qualifikationsnachweis „Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1“ besitzen und sich mit diesem auf Nachfrage auf der Baustelle im Original ausweisen können. Weitere Festlegungen zur erforderlichen Qualifikation der ausführenden Fachfirmen sind durch den zuständigen Fachingenieur/die zuständige Fachingenieurin vorzugeben.

Für zerstörungsfreie Untersuchungen am Bauwerk sind häufig besondere Qualifikationsnachweise erforderlich, siehe dazu Kapitel 8.3 und 9.3. Ggf. sind entsprechende Anforderungen projektspezifisch festzulegen.

Die erforderliche Qualität der Laborleistung muss projektspezifisch festgelegt werden und kann nur durch entsprechend qualifizierte und ausgerüstete Prüflabore (Zertifizierung) gewährleistet werden.

4.5 Hinweise zur Vergabe von Leistungen

Für die Vergabe sind folgende Leistungen zu unterscheiden:

- Ingenieur- und Sachverständigenleistungen
- Bauleistungen (z. B. Baustelle einrichten, Vor- und Nachbereitungsarbeiten, Bohrkern- und Probenahme am Bauwerk, Baugrunduntersuchungen)
- Prüfungen am Bauwerk (z. B. Haftzugprüfungen, Bohrlochendoskopie, Ankerzugprüfungen)
- Laborleistungen
- Sicherheits- und Gesundheitsschutz (SiGeKo)

I. d. R. sind die Ingenieur- und Sachverständigenleistungen und die Laborleistungen von den Bauleistungen getrennt zu vergeben. Die Prüfungen am Bauwerk können in Abhängigkeit vom Anspruch und der Komplexität der Prüfaufgabe sowohl mit den Bauleistungen als auch mit den Ingenieurleistungen vergeben werden. Die erforderlichen Vergabeverfahren hängen von Art und Umfang des Projektes ab. Grundsätzlich sind unterschiedliche Konstellationen möglich. Diese sind projektspezifisch festzulegen. Den Vergabehandbüchern VHB-W (VV-WSV 2102) und VHLF (VV-WSV 2104) können detaillierte Angaben zu den relevanten Vergabeverfahren entnommen werden.

Für komplexe Projekte oder Probenahmen unter anspruchsvollen Randbedingungen (z. B. schwere Zugänglichkeit, Gefahr von Wassereintrüben, anspruchsvoller Baugrund) kann es sinnvoll sein, Qualitätskriterien zu definieren, die dann als Mindestanforderungen oder als Zuschlags-/Wertungskriterien in die Vergabeunterlagen aufzunehmen sind.

Durch eine losweise Vergabe sollten Aufgabenbereiche sinnvoll gebündelt und so problematische Schnittstellen reduziert werden, siehe Kapitel 4.3. Im Hinblick auf die Zusammenführung von Leistungen aus verschiedenen Vergabevorschriften bilden das VHB-W, Teil 0, Abschnitt 2 (VV-WSV 2102) und das VHLF, Teil 0, Abschnitt 2.5 (VV-WSV 2104) die verwaltungsinternen Grundlagen.

Grundsätzlich sind für die Vergabe von Bauleistungen die Standardleistungskataloge der WSV zu verwenden. Die aktuell vorhandenen Standardleistungskataloge für den Stahlbau, STLK-W LB 216, und die Instandsetzung von Betonbauteilen, STLK-W LB 219, sind jedoch nicht auf die Vergabe von Leistungen für eine Bauwerksuntersuchung ausgerichtet. Trotzdem finden sich in diesen Standardleistungskatalogen geeignete Positionen, die für die Vergabe von Bauwerksuntersuchungen verwendet werden können. Dies betrifft insbesondere die Bauleistungen nach VOB, wie Bohrkernentnahmen, Stemmarbeiten sowie einige Prüfungen am Bauwerk. Für die geotechnischen Untersuchungen steht der Standardleistungskatalog STLK-W LB 203 als Grundlage zur Verfügung.

Für die Ausschreibung von Laborleistungen stehen bisher keine Standardleistungstexte zur Verfügung. Es müssen daher Freitexte verwendet werden. Die Erarbeitung eines STLK-W LB 221 für die Bauwerkserkundung von Wasserbauwerken ist aktuell in Vorbereitung. Damit werden zukünftig entsprechende Standardleistungstexte zur Verfügung stehen.

Im Rahmen der Vergabe sind gemäß VHLF (VV-WSV 2104) und VHB-W (VV-WSV 2102) die Eignungskriterien bezüglich der erforderlichen Fachkompetenz und der technischen Ausstattung der an der Maßnahme Beteiligten festzulegen. Sollten für die geplanten Leistungen spezielle Kenntnisse, Fortbildungen und Qualifikationen erforderlich sein, sind entsprechende Nachweise im Vergabeverfahren zur Feststellung der Eignung des Unternehmens abzufragen. Weitere Hinweise sind in Kapitel 4.4 zu finden.

Die Auftraggeberin ist gemäß Baustellenverordnung (BaustellV) (BMJ 1998) verantwortlich für den Sicherheits- und Gesundheitsschutz, siehe hierzu die Erlasse Z 12/2116.1/1-3 (BMVI 2016) und WS 13/5257.20/2 (BMVBS 2009).

4.6 Qualitätssicherung

Grundsätzlich ist sowohl bei allen externen Projektbeteiligten als auch bei der WSV eine interne Qualitätssicherung zu gewährleisten.

Die Qualität von Probenahmen und Prüfungen am Bauwerk und im Baugrund hängen maßgeblich von der Qualifikation der an der Ausführung Beteiligten, einer erfolgreichen Koordination der Schnittstellen sowie einer für Dritte jederzeit nachvollziehbaren Dokumentation ab. Wichtig sind ein regelmäßiger Fachaustausch, eine zeitnahe Dokumentenübergabe sowie die Gewährleistung einer direkten Erreichbarkeit der zuständigen Fachingenieure/Fachingenieurinnen während der Untersuchung.

Zur Qualitätssicherung der Bauwerksuntersuchung ist eine Begleitung relevanter Arbeitsschritte durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin einzuplanen und es sind im Vorfeld angemessene Vorlaufzeiten abzustimmen. Relevante Arbeitsschritte können z. B. anspruchsvolle Bohrarbeiten, komplexe Versuche, Bewehrungsfreilegungen, Grundwassermessstellenausbau oder die Probenübergabe an das Prüflabor sein.

Die Gewinnung hochwertiger Proben und Versuchsergebnisse sollte Vorrang vor einem schnellen Fortschritt der Bauwerksuntersuchung haben.

Zur Sicherstellung der in der Ausschreibung gestellten Anforderungen an die Qualifikation des zum Einsatz kommenden Personals sowie an die zu verwendende Ausstattung, Geräte und Materialien sollten diese vor Ort abgeglichen und in die Dokumentation aufgenommen werden.

An Materialuntersuchungen und -prüfungen, die vor Ort ausgeführt werden, oder wenn eine Boden- und/oder Felsansprache vor Ort erforderlich wird, werden dieselben Anforderungen wie im Labor hinsichtlich Qualität und Dokumentationsumfang gestellt.

Die vertraglich geschuldete Dokumentation sollte zeitnah mit dem Untersuchungsfortschritt eingefordert werden. Zur Dokumentation gehören insbesondere die Tagesberichte, Bohr- bzw. Entnahmeprotokolle, Schichtenverzeichnisse, Feld- und Versuchsberichte und Fotodokumentationen. Vorlagen zur Erstellung von Bohrprotokollen im Massivbau enthält das BAWMerkeblatt MBK (BAW 2012a) und für den Fachbereich Geotechnik die DIN EN ISO 22475-1. Protokolle sind tagesaktuell zu schreiben, vollständig auszufüllen und direkt in handschriftlicher Form als Papier-Kopie der Baustellenüberwachung zu übergeben.

4.7 Hinweise zur Durchführung

Ausführungsbedingte Störungen oder Eingriffe in den Schleusen- und Wehrbetrieb sind bei Bauwerksuntersuchungen nicht auszuschließen. Der notwendige Handlungsbedarf ist mit ausreichendem Vorlauf mit dem zuständigen Außenbezirk festzulegen.

Vor Beginn der Bohrarbeiten sind die Ansatzpunkte der Bohrungen/Aufschlüsse nochmals bzgl. möglicher Hindernisse am Bauwerk und im Baugrund (z. B. Verankerungen, Leitungen, Dichtungen) zu überprüfen.

Es ist möglich, dass sich bei Beginn und während der Bauwerksuntersuchung Erkenntnisse oder geänderte Randbedingungen ergeben, die z. B. Anpassungen des Untersuchungsplans erforderlich machen. Hier ist eine enge Abstimmung aller Beteiligten notwendig.

Bei Antreffen von unvorhergesehenen Unstetigkeiten/Hindernissen (z. B. Bewehrung in vermeintlich unbewehrten Bauteilen, Abweichungen von den Annahmen der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse) ist zwingend eine Rücksprache mit dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin erforderlich, um zu klären, ob Gefahr in Verzug ist. Erst nach Klärung der Auswirkungen dürfen die Bohrarbeiten fortgesetzt werden.

Bei der Durchführung von Bauwerksuntersuchungen, Probenahmen und Laboruntersuchungen zur Kennwertermittlung für die Tragfähigkeitsbewertung gemäß BAWMerkblatt TbW (BAW 2016) und BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) sind die dort dargestellten Vorgaben einzuhalten.

5 Formulierung der Zielstellung

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Planung und Umsetzung einer Bauwerksuntersuchung ist die Formulierung der Zielstellung. Übliche Zielstellungen sind in Kapitel 1 als Anwendungsbereich dieser Empfehlung formuliert. Die konkrete Zielstellung ist abhängig vom jeweiligen Anlass, siehe Kapitel 3.

Der erforderliche Untersuchungsumfang ist auf die angestrebte Zielstellung abzustimmen. Ggf. ist dabei ein stufenweises Vorgehen in zwei oder mehr getrennten Bauwerksuntersuchungen mit aufeinander aufbauenden Untersuchungen sinnvoll.

Zur Konkretisierung der Zielstellung ist neben einer ersten Sichtung vorliegender Unterlagen eine Besichtigung des Bauwerks und eine frühzeitige Einbindung der Außenbezirke und Bauhöfe unerlässlich. Gerade die vor Ort Tätigen können praktische Auskünfte über die Besonderheiten der Anlage, ihrer Betriebsabläufe sowie über beobachtete Auffälligkeiten und Veränderungen geben. In Abhängigkeit von der Zielstellung sind ggf. Bauwerksbesichtigungen unter Betrieb und/oder im trockengelegten Zustand notwendig.

Im Verlauf der Maßnahme sollte die Zielstellung nach wesentlichen Arbeitsschritten, wie z. B. Recherche (Kapitel 6.1 bis 6.3) oder vorbereitende Untersuchungen (Kapitel 6.4 bis), überprüft und ggf. notwendige Korrekturen vorgenommen werden.

6 Vorbereitung

6.1 Recherche der Bauwerks- und Baugrundunterlagen

Für jedes Bauwerk muss eine Baubestandsakte vorliegen. Der Umfang des vorzuhaltenden Baubestandswerks ist in der VV-WSV 2116 geregelt. Grundsätzlich sind alle in VV-WSV 2116, Anlage 1 (§ 2) „Übersicht über wesentliche Baubestandsunterlagen“ genannten Unterlagen vorzuhalten. Die Baubestandsakte ist eine wesentliche Grundlage für die Planung und Vergabe einer Bauwerksuntersuchung. Für eine Beurteilung der Tragfähigkeit des Haupttragssystems des Massivbaus werden die in der BAWStellungnahme B3951.01.01.10304 „Vorzuhaltende Unterlagen für Bestandsbauwerke“ (BAW 2019c) gelisteten Unterlagen als unbedingt erforderlich empfohlen. Nicht vorhandene Unterlagen müssen gemäß der vorgenannten Stellungnahme nachträglich beschafft oder angefertigt werden. Des Weiteren werden in der genannten BAWStellungnahme (BAW 2019c) zusätzliche Unterlagen empfohlen, wenn nachträgliche statische Berechnungen für den Massivbau angefertigt werden sollen, sofern die Anfertigung fehlender Unterlagen nicht das Ziel der geplanten Bauwerksuntersuchung ist. Die Stellungnahme ist in EWisA unter der genannten Projektnummer und dem Projektamen abrufbar.

Für die Beurteilung baustofflicher Schäden und Schadensmechanismen am Massivbau, Stahlbau und Korrosionsschutz sind Informationen zur Schadenshistorie sowie zur Art der verwendeten Baustoffe und der Einwirkungen hilfreich:

- Zeitpunkt der ersten Erfassung des Schadens und Schadensverlauf
- Betonzusammensetzung (Zementart, Herkunft und Art der Gesteinskörnung)
- Angaben zu den verbauten Stahlsorten (Bestandspläne oder Bestandsstatik)
- Unterlagen zu den aktuell vorhandenen Beschichtungen
- möglicher Schadstoffeintrag aus der Umgebung, aktuell und in der Historie des Bauwerkes
- Veränderungen am Bauteil durch Umbauten und Instandsetzungen
- Historische Fotodokumentation (Bauverfahren, Bauausführung)

Für die Beurteilung des Baugrunds und der Grundwasserverhältnisse sind folgende Informationen hilfreich:

- Altgutachten (Baugrund, Grundwasser)
- Historische Fotodokumentation (Baugrund, Baugrube, Herstellungsverfahren etc.)
- Dokumentation besonderer Ereignisse/Vorkommnisse während des Baus, die den Baugrund sowie das Grundwasser betreffen (Schriftverkehr etc.)
- Dokumentation nachträglich durchgeführter Baumaßnahmen aufgrund einer Grundwasser- oder/und Baugrundproblematik (Entlastungsbrunnen, Rückverankerungen, Injektionen)
- Langlaufende Messreihen zu den GW-Ständen bereits vorhandener Grundwassermessstellen im Bauwerksbereich
- Ober- und Unterwasserstände für planungsrelevante Jährlichkeiten
- verfügbare Ganglinien für besondere Fragestellungen
- Abflusskenngrößen und verkehrswasserbauliche Kenngrößen (Normalwasserstände, obere und untere Betriebs- und Grenzwasserstände)

Für die Recherche der Bauwerks- und Baugrundunterlagen sowie Grundwassermessdaten stehen verschiedene Möglichkeiten in der WSV und der BAW/BfG zur Verfügung:

- digitale Rechercheplattformen: WSVPruf, EWisA, DVtU, IZW, WInD, FDB KS
- Veröffentlichungen aus der Bauzeit über die Baumaßnahme (IZW)
- nicht digitalisierte Archivakten bei Unterhaltungsämtern
- Fotodokumentationen aus der Bauzeit (historisches Bildarchiv der BAW, Revierämter)
- Abflusskennwerte (Revierämter)

Für wesentliche Hinweise zu den technischen Besonderheiten eines Bauwerkes und der Bauwerkshistorie sollte ein Gespräch mit den Beschäftigten des zuständigen Außenbezirkes geführt werden bzgl.:

- Auffälligkeiten im Betrieb
- mögliche Einschränkungen des Betriebes

Außerhalb der oben genannten können folgende Recherchemöglichkeiten genutzt werden:

- Landesarchive
- Länderspezifische Plattformen für z. B. Geologie (Datenbank Bohrungen), Gewässer (Datenbank Grundwasser)
- Bohrpunktkarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- nicht digitalisierte Archivakten von örtlichen Behörden und Stadtverwaltungen, Landesarchiven

6.2 Recherche der örtlichen Randbedingungen

Zur Erfassung der örtlichen Gegebenheiten sollte eng mit dem jeweils zuständigen WSA, AbZ und Bauhof zusammengearbeitet werden.

Eine Erstbegehung durch die Fachingenieure gemeinsam mit dem zuständigen WSA und ggf. AbZ ist zwingend erforderlich, um die Zielstellung zu überprüfen und ggf. zu konkretisieren sowie das Untersuchungsprogramm entsprechend der örtlichen Randbedingungen auszurichten.

Für die Planung der Durchführung einer Bauwerksuntersuchung können in Abhängigkeit der Zielstellung z. B. folgende Punkte relevant sein:

- Zugänglichkeit zum Bauwerk (land- und wasserseitig)
- angrenzende Infrastruktur (z. B. erforderliche Straßen- und Brückensperrungen)
- Platzangebot (z. B. für Baustelleneinrichtung, temporäres Probenlager)
- mögliche Aufstellflächen für Probenahme- und Untersuchungsgeräte sowie ggf. Mobilkrane
- allgemeine Arbeitsschutzanforderungen und Arbeitssicherheitsrisiken
- zusätzlich erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen bei Schadstoffbelastungen (DGUV-Regel 101-004 (DGUV 1997)/TRGS 519 (AGS 2014) und TRGS 524 (BMAS 2010))
- Verfügbarkeit und Begrenzung der Einsatzzeiten von Revisionsverschlüssen
- jahreszeitliche und witterungsbedingte Einflüsse auf Wasserstände (z. B. Elwis)
- tägliche Arbeitszeitfenster am und im Umgebungsbereich des Bauwerkes
- Koordinierung mit planmäßiger Trockenlegung zur Bauwerksprüfung

- natur- und landschaftsschutzrechtliche Randbedingungen
- Belange des Denkmalschutzes
- Belange des Immissions- und Artenschutzes sowie weiterer umweltrechtlicher Vorgaben
- Belange von Anliegern und Dritten

6.3 Recherche der sicherheitsrelevanten Randbedingungen

Es ist abzusichern, dass die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes/Bauwerksteils sowie die Standsicherheit des Baugrunds durch die Probenahme nicht beeinträchtigt wird.

Sofern nicht Gegenstand der geplanten Bauwerksuntersuchung, ist sich zur Vermeidung von Schäden mindestens Kenntnis über folgende Aspekte zu verschaffen:

- Prüfung, ob eine Trockenlegung gefahrlos durchgeführt werden kann (durch Prüfung, ob diese Bemessungssituation in der vorzuhaltenden statischen Berechnung betrachtet wurde und z. B. durch Prüfung der Betriebsanweisung)
- Geometrie der zu beprobenden Bauteile
- Lage von Leitungen, Dichtungsebenen, Schächten, Kanälen, Rückverankerungen
- Lage statisch relevanter Bewehrung (z. B. Anker, Spannstäbe)
- statische Auslastung des Verschlusses bzw. des zu beprobenden Bauteils
- Gefahren bei Durchörterung (z. B. anstehendes drückendes Wasser, Ausspülung von Boden)
- Kampfmittelfreiheit (siehe Kapitel 6.5)

Hinweis zu Leitungsfreiheit: Der Auftragnehmer/die Auftragnehmerin muss sich vor Beginn der Arbeiten über die im Baugelände vorhandene Spartenlage (Verlauf von Ver- und Entsorgungsleitungen) informieren und sich vom zuständigen Unternehmen einweisen lassen. Die Auftraggeberin kann dem Auftragnehmer/der Auftragnehmerin die einzelnen Spartenträger bei der Vergabe der Erkundungskampagne benennen oder ihn mit der Ermittlung derselben beauftragen. Der Auftragnehmer/die Auftragnehmerin muss sich über vorhandene Leitungen sowie deren Lage informieren und die Auftraggeberin darüber in Kenntnis setzen.

6.4 Probemessungen und Vorversuche im Massivbau

Bei fehlender Datengrundlage bzw. erheblichen Unsicherheiten hinsichtlich der Umsetzbarkeit vorgesehener Untersuchungen können folgende vorbereitende Maßnahmen im Bereich des Massivbaus sinnvoll sein:

- Feststellung des verwendeten Größtkorns zur Festlegung des erforderlichen Bohrkerndurchmessers gemäß BAWMerkblatt TbW (BAW 2016)
- Probebohrungen, wenn Zweifel an der Eignung des geplanten Bohrverfahrens bestehen, siehe BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a)
- Probemessungen zur Eignung und Auswahl zerstörungsfreier Messverfahren, siehe Kapitel 6.4
- Unterwasserscans mittels optischer Verfahren oder Sonar zur Reduktion von Tauchereinsätzen für die Bauwerksuntersuchung in nicht trockenlegbaren Bereichen, siehe Kapitel 11.
- Ermittlung von Schadstoffbelastungen zur Planung der Entsorgung (siehe Kapitel 6.6 und 12)

6.5 Kampfmittelerkundung

Im Rahmen der Recherche muss eine Bestätigung zur Erfüllung der länderspezifischen Anforderungen bzgl. der Kampfmittelfreiheit zu Erkundungs- und Räumungsmaßnahmen bereits mit jeder Ausschreibung von Bauarbeiten, die den Baugrund tangieren, eingeholt werden.

Kann keine Kampfmittelfreiheit im Untersuchungsbereich nachgewiesen werden, muss eine Kampfmittelerkundung als Vorbereitung der Untersuchungen im Baugrund durchgeführt werden.

Detaillierte Informationen zum Thema Kampfmittelfreiheit und Kampfmittelerkundung finden sich im Internet unter www.kampfmittelportal.de. Die DIN 18323 Kampfmittelräumarbeiten ist zu berücksichtigen. Auf Liegenschaften des Bundes gelten die Baufachlichen Richtlinien Kampfmittelräumung BFR KMR (BMI 2018).

6.6 Bewertung von Abbruchmaterial, bauwerksbezogenen Abfällen und Abwässer

Fugenstoffe, Beschichtungen, Anstriche, Oberflächenschutzsysteme, Abdeckungen, Abdichtungen, Instandsetzungsmörtel und weitere können umweltrelevante und auch gesundheitsgefährdende Inhaltstoffe aufweisen.

Im Hinblick auf die Arbeitssicherheit und die Entsorgung von anfallendem Bohrwasser und Abbruchmaterial bei der Probenahme sowie ggf. anfallendem Strahlgut, siehe Kapitel 12, ist eine mögliche Schadstoffbelastung unbedingt im Vorfeld im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung zu überprüfen. Als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind ggf. technische, organisatorische und/oder personenbezogene Schutzmaßnahmen umzusetzen. Eine Ausschreibung ohne Berücksichtigung eventuell vorhandener Schadstoffe kann zu massiven Nachträgen und zu Bauzeitverlängerungen führen. Bei gegebenen Verdachtsmomenten ist eine ausreichend große Durchschnittsprobe zu gewinnen. In den Veröffentlichungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) finden sich weiterführende Informationen zur Beprobung, zum Umgang mit belasteten Abbruchmaterialien sowie Bewertungshintergründe. Auch wird auf die am 01.08.2023 im Rahmen der Mantelverordnung (BMJ 2023b) in Kraft getretene Ersatzbaustoffverordnung (EBV) (BMJ 2023a) sowie auf die Richtlinien des Verein Deutscher Ingenieure e.V. verwiesen. Wichtig ist eine sorgfältige Probenahme, um eine Kontaminierung der einzelnen Proben untereinander auszuschließen. Bei Verdacht einer Schadstoffbelastung und der daraus resultierenden Emission ist bei der Probenahme eine geeignete Schutzausrüstung zu tragen. Die Auswertung und die Beurteilung müssen durch einen Sachverständigen erfolgen.

Bei der Vermutung einer Kontamination ist der „Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden)“ (BMDV 2023) anzuwenden. Für alle Fachfragen beim Umgang mit Gefahrstoffen und umweltschädlichen Materialien ist das Dezernat U21 der GDWS zuständig. Für Fachfragen zu Schadstoffen steht die BfG beratend zur Verfügung.

Bei Verdacht auf Schadstoffe im Baugrund ist die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beratend hinzuzuziehen.

7 Untersuchungsplan

Ein Untersuchungsplan beinhaltet, unabhängig von der Herangehensweise nach Kapitel 4.3, die detaillierte Darstellung der geplanten Untersuchungen einschließlich ihrer Organisation und Koordinierung der Beteiligten.

Für komplexe Aufgabenstellungen kann es sinnvoll sein, vor der Erstellung des Untersuchungsplans zunächst ein Untersuchungskonzept als Basis aufzustellen. Das Untersuchungskonzept ist ein erstes Gedankengerüst (Darstellung einer Idee, Entwurf) zur Realisierung der zu planenden Untersuchungen unter den vor Ort vorgefundenen Rahmenbedingungen.

Bei der Erstellung des Untersuchungsplans ist zu beachten, dass sowohl die Quantität als auch die Qualität der Bohrungen und der zerstörenden sowie zerstörungsfreien Prüfungen den Umfang und die zeitliche Dauer der Projektbearbeitung erheblich beeinflussen. Der Untersuchungsumfang sollte nicht unnötig groß sein, aber so festgelegt werden, dass die relevanten Untersuchungsbereiche abgedeckt sind und die statistisch notwendige Mindestversuchsanzahl erreicht wird. Dies kann zielgerichtet nur durch die verantwortlichen Fachingenieure/Fachingenieurinnen erfolgen. Bei Beteiligung unterschiedlicher Fachbereiche ist eine Abstimmung zwischen diesen erforderlich.

Ein Untersuchungsplan sollte in Abhängigkeit von der Fragestellung die im Folgenden aufgeführten Inhalte aufweisen:

- Ziel der Bauwerksuntersuchung
- Zusammenfassung des Kenntnisstandes zum Bauwerk
- Darstellung der örtlichen Randbedingungen
- Darstellung und Bewertung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse aus vorhandenen Bestandsunterlagen und der Daten von bereits vorhandenen Grundwassermessstellen
- Beschreibung und Bewertung möglicher technischer Risiken bei der Probenahme und den Untersuchungen
- Arbeitssicherheitsanforderungen und Maßnahmen zu deren Sicherstellung
- Umwelanforderungen und Maßnahmen zu deren Sicherstellung (z. B. Verwertung/Entsorgung von Bohrspülung und Abfällen)
- Anforderungen an Zugänglichkeiten zu den Probeentnahmepunkten (z. B. Hängegerüste, schwimmende Geräte, Arbeitsbühnen, Taucherarbeiten)
- Festlegung und Begründung notwendiger vorbereitender Untersuchungen (siehe Kapitel 6.4 bis 6.6)
- Erforderliche Vorbereitungsmaßnahmen (z. B. Trockenlegung, Reinigung, Beleuchtung)
- Festlegung und Begründung der Untersuchungen am Bauwerk, inkl. Vorgabe der Prüfrandbedingungen und Festlegung der Probenahmeverfahren
- Festlegung und Begründung der Untersuchung im Baugrund inkl. Festlegungen zu den Bohr- und Entnahmeverfahren, der Randbedingungen für Bohrlochversuche sowie zum Ausbau der Grundwassermessstellen und -messungen
- Festlegung der Lage der Probenahme- und Untersuchungsbereiche am Bauwerk, im Übergangsbereich Bauwerk/Baugrund und im Baugrund
- Umgang mit den entnommenen Proben (z. B. Probenlagerung auf der Baustelle, Probentransport auf der Baustelle und ins Labor, Entsorgung von überschüssigem Material)
- Vorgaben zum Verschluss der Probenahmebereiche (siehe Kapitel 8.7.1, Kapitel 9.5 und 9.6, Kapitel 10.6)

- Festlegung und Begründung der Untersuchungen im Labor, inkl. Vorgabe der Prüfrandbedingungen
- Abschätzung des Untersuchungsumfangs im Labor
- Festlegungen zur Datenlieferung (Art und Umfang der Daten, Übergabeart, Zeitpunkt der Übergabe)
- Festlegung von Zuständigkeiten und Schnittstellen zwischen Auftraggeberin, Fachingenieurinnen/Fachingenieurinnen und sämtlichen an der Bauwerksuntersuchung beteiligten Externen

Wenn vorbereitende Untersuchungen, wie Probemessungen, Vorversuche, Kampfmittelerkundung oder zur Schadstoffbelastung (siehe Kapitel 6.4 bis 6.6) durchgeführt werden, muss der anfänglich aufgestellte Untersuchungsplan ggf. fortgeschrieben werden. Weitere Änderungen im Untersuchungsplan sind aufgrund neuer Erkenntnisse durch die Beprobung oder die Versuchsdurchführung möglich.

Grundlegende fachliche Anforderungen an die Untersuchungen am Massivbau zur Bewertung der Tragfähigkeit sind dem BAWMerkblatt TbW (BAW 2016) zu entnehmen. Die Aufstellung des Untersuchungsplans für den Massivbau sollte grundsätzlich in Abstimmung mit dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin für Tragwerksplanung erfolgen. Bei der Festlegung der Untersuchungsbereiche sind die für die Nachweisführung kritischen Berechnungsschnitte im Vorfeld abzustimmen.

Die Untersuchungen zur Vorbereitung und Planung von Injektionen von massigen Bauwerksteilen mit hydraulischen Bindemitteln regelt das Merkblatt DWA-M 506 (DWA 2018).

Bei geplanter Durchörterung eines Massivbauteils ist zu überprüfen, ob die Gefahr auf Wassereinbruch besteht, wenn die Bohrung bis an den Baugrund geführt wird. Hier ist eine Einbindung des geotechnischen Fachingenieurs/der geotechnischen Fachingenieurin dringend geboten. Erforderliche Schutzmaßnahmen, wie das Bohren unter Wasserauflast oder der Einsatz von Sicherheitsvorrichtungen (Preventer) gegen unkontrollierten Wasseraustritt werden durch die Art des anstehenden Baugrundes und Grundwassers bestimmt.

Im BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) sind Hinweise zum erforderlichen statistischen Umfang der Stahlproben zu finden, aber auch zur Lage der Entnahmestellen. Durch diese Hinweise wird gewährleistet, dass ein ausreichender Probenumfang zur Verfügung steht und durch die Probenahme keine Schwächung des Bauwerkes erfolgt.

Die Planung der Art und des Umfangs der direkten und indirekten Aufschlussverfahren (Bohr- und Sondieransatzpunkte) sowie der Bohrlochversuche für die Baugrunderkundungen und die Planung von Grundwassermessstellen (GWM) richtet sich grundsätzlich nach dem Normenhandbuch zur DIN EN 1997-2. Im Rahmen dieser Empfehlung ergeben sich Art und Umfang der Erkundungen in Verbindung mit der Aufgabenstellung. Aufgrund der besonderen Zielvorgabe können Abweichungen von den in den Normen DIN 4020 und DIN EN 1997-2 sowie in dem dazugehörigen Normenhandbuch geforderten Untersuchungsanzahl, -abständen, -tiefen sinnvoll sein. Abweichungen von den Normen müssen durch die Auftraggeberin geprüft und genehmigt werden.

Im Baugrund muss im Grundwasser immer unter ausreichender Wasserauflast in der Verrohrung gebohrt werden, so dass die Sohlstabilität der Bohrung durchgängig gewährleistet ist.

Es ist von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin zu bewerten, in wie weit die für die Bauwerksuntersuchungen erforderlichen (vertikalen) Bohrungen mit genutzt werden können/sollen, um zusätzliche Informationen über den Übergangsbereich Bauwerk/Baugrund und den direkt anstehenden Baugrund zu erhalten. Hier ist eine fachliche Abstimmung zwischen den Fachingenieurinnen/Fachingenieurinnen des Massivbaus und der Geotechnik erforderlich.

Für belastbare Aussagen bezüglich der Grundwasserstände sollte ein Beobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren angestrebt werden. Mit der Planung bzw. mit dem Ausbau der Grundwassermessstellen und der dann folgenden Messwertaufzeichnung sollte daher zu einem möglichst frühen Zeitpunkt begonnen werden.

Die Grundwassermessstellen sind so zu planen, dass sie sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung des Bauwerks Informationen bzgl. der vorhandenen Grundwasserpotentiale liefern und damit fundierte Rückschlüsse auf die Potentialverteilung unterhalb des Bauwerks ermöglichen (Auftriebssicherheit). Bei GWMs, die im Bauwerk liegen, sollten sich die Fachingenieure/Fachingenieurinnen aus den Bereichen Massivbau und Geotechnik rechtzeitig über die Planung der Bohrungen (Massivbau und Baugrund) austauschen und abstimmen. Unnötige Zusatzbohrungen oder Überbohrungen und eine damit einhergehende Schädigung des Bauwerks können so vermieden werden. Neben der Positionierung der GWM sind Tiefe, Durchmesser und Bohrverfahren sowie das zu verwendende Messsystem und der Messstellenausbau im Vorfeld zu planen. Der Ablesezeitraum und -zyklus (Erfassung von auch kurzfristigen Ereignissen, z. B. Hochwasserspitzen) ist festzulegen.

Bereits existierende Grundwassermessstellen, deren Messungen und Aufzeichnungen der Grundwasserstände aktuell nicht ausgelesen werden bzw. bei denen aktuell keine Messungen stattfinden, sollten möglichst schon in der Vorbereitungsphase der Bauwerksuntersuchung reaktiviert werden.

8 Untersuchungen am Massivbau

8.1 Typische Untersuchungsbereiche

Die dominierenden Objektarten in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung sind Schiffsschleusen und Wehranlagen. Neben diesen gibt es eine Vielzahl anderer massiver Anlagen wie Sperr-, Pump- und Hebewerke, Unter- und Überführungsbauwerke bzw. Kanalbrücken, Düker, massive Uferwände sowie Fisch-auf- und -abstiegsanlagen. Die wesentlichen Bauwerksteile des Massivbaus von Schleusen und Wehranlagen sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

Für die Durchführung von Bauwerksuntersuchungen können die Anlagen grundsätzlich in aufgehende/wandartige Bauwerksteile und in überwiegend horizontal ausgerichtete, plattenartige Bauwerksteile/Sohlbereiche untergliedert werden.

Aufgehende Bauteile sind z. B. Schleusenkammer- oder Uferwände, Wehrpfeiler und Flügelmauern bzw. Wehrwangen. Sie befinden sich häufig im Wasserwechselbereich und sind damit erheblichen physikalischen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt. Zu nennen sind hier insbesondere betriebs- oder gezeitenbedingte Temperatur- und Feuchtegehaltsänderungen, aber auch mechanische Beanspruchungen wie beispielsweise Eisgang oder Schiffsanfahrt. In dieser Hinsicht weniger beansprucht sind Bauteile im Sohlbereich wie z. B. Sohlplatten von Schleusen, Wehren und Durchlässen, Dremmelteile oder Riegel von Rahmenbauwerken bei Unterführungen. Diese liegen überwiegend unter Wasser bzw. sind im Baugrund eingebettet. Solche Bauteile können aber im Vergleich zu den aufgehenden Bauwerksteilen intensiven hydraulischen Belastungen, teilweise in Verbindung mit Geschiebetransport (Hydroabrasion z. B. in Tosbecken) unterliegen. Oft unterscheiden sich aufgehende Bauwerksteile und Sohlbereiche auch in den verbauten Materialien bzw. der Betonrezeptur. Die bei alten vor 1950 errichteten Wasserbauwerken anzutreffende zonierte Bauweise (Randzone mit hoher Materialqualität, Bauteilkern mit geringerer Materialqualität) kann sowohl bei den aufgehenden Bauteilen als auch im Sohlbereich vorkommen und ist bei Materialuntersuchungen einschließlich der Beprobung entsprechend zu berücksichtigen.

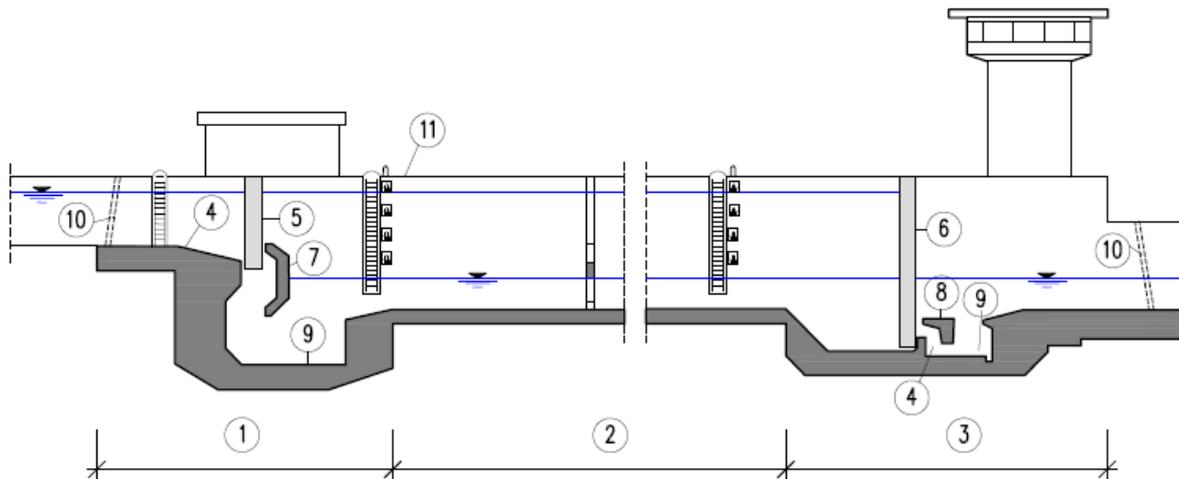


Abbildung 5: Längsschnitt einer Schiffschleuse mit den wesentlichen Bauwerksteilen in Anlehnung an BAWMerkblatt MBI (BAW 2010)

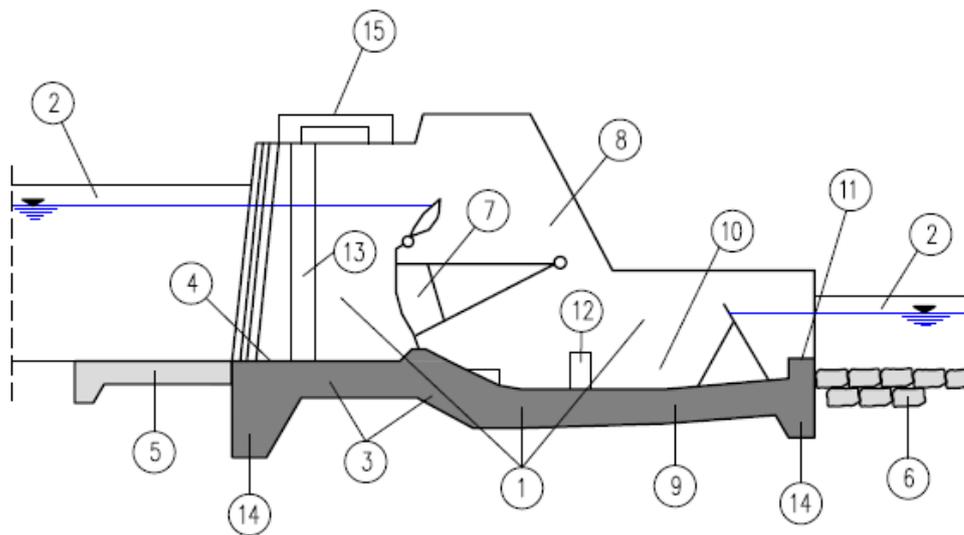


Abbildung 6: Längsschnitt eines Wehrs mit den wesentlichen Bauwerksteilen in Anlehnung an BAWMerkblatt MBI (BAW 2010)

8.2 Abgleich der Bauwerksgeometrie

Die Planunterlagen sind hinsichtlich der Bauwerksgeometrie in Vorbereitung oder spätestens im Rahmen der Bauwerksuntersuchung mit der Situation am konkreten Bauwerk vor Ort abzugleichen. Stellt sich dabei heraus, dass in den Unterlagen Angaben fehlen oder unplausibel erscheinen, sind diese zu ergänzen und bei Bedarf anzupassen; ggf. sind Pläne neu aufzustellen. Werte in den Bestandsunterlagen sind, sofern das von Belang ist, im günstigen, wie auch im ungünstigen Fall durch gemessene Werte unter Beachtung eventuell vorhandener Veränderungen am Bauwerk zu ersetzen.

Das Aktualisieren der Angaben zur Geometrie ist besonders wichtig, da hiervon wesentliche Einwirkungen abhängen und die Tragwerkswiderstände von der jeweiligen Querschnittsgeometrie dominiert werden. Das wesentliche Ziel des Abgleichs besteht in der gesicherten Feststellung der Bauwerksgeometrie (Hüllflächen, Raummaße) bezüglich der tragenden Strukturen. Dementsprechend sollten die maßgebenden geometrischen Größen in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner/der Tragwerksplanerin bzw. dem Sachkundigen Planer/der Sachkundigen Planerin festgelegt werden. Neben den eigentlichen Bauwerks- und Bauteilabmessungen sind i. d. R. Höhen- und Lagekoordinaten, lichte Weiten wie Kammerbreiten oder Pfeilerabstände, Bauteilneigungen, Abmessungen von Überdeckungen, Abgrabungen, Auskolkungen und Verformungen inklusive Verformungs- bzw. Setzungsunterschiede von Bedeutung.

Für die Erkundung der Geometrie stehen in einfachen Fällen Gliedermaßstab, Bandmaß, Laserdistanzmessgerät, Schieblehre, Lot, Wasserwaage mit Neigungsanzeige und Schlauchwaage zur Verfügung. In Abhängigkeit von den erforderlichen Genauigkeitsangaben und zur Vermessung größerer Bauteile bzw. für die Einbindung des Bauwerks in das übergeordnete zentrale Festpunktenetz kommen die klassischen geodätischen Verfahren mit Tachymeter, GNSS-Technik, ggf. auch nur Theodolit oder Nivelliergerät zum Einsatz.

An Bedeutung und auch an Genauigkeit zur Erfassung der Bauwerksgeometrie gewinnen immer mehr innovative Verfahren, wie Photogrammetrie und im Besonderen das Laserscanning, die eine komplette räumliche Erfassung der Bauwerkssituation incl. vorhandener Verformungen mit sehr hoher Genauigkeit ermöglichen.

Vereinzelt kann es erforderlich sein, zerstörende Methoden anzuwenden, wie beispielsweise Sondierungsbohrungen zur Bestimmung von Bauteildicken erdhinterfüllter Wände bzw. massiver Sohlplatten oder aber stichprobenhafte Aufgrabungen und Freilegungen von Bauteilen. Für die Gewährleistung einer belastbaren Festlegung der Oberflächengeometrie ist es wichtig, einen ausreichend großen Umfang an Messwerten zu erzielen. Dazu kann es sinnvoll sein, die zerstörenden Prüfungen mit an diesen Stellen kalibrierten zerstörungsfreien Untersuchungen zu ergänzen.

Ein Einsatz der aus der Bauwerksdiagnostik bekannten zerstörungsfreien Prüfverfahren wie Bauradar und Ultraschall- bzw. Impakt-Echo-Verfahren sind im Rahmen des Abgleichs der Bauwerksgeometrie aufgrund der dafür meistens nicht ausreichenden Genauigkeit und des teilweise großen Aufwandes auf Sonderfälle und auf eine Kombination mit zerstörenden Methoden beschränkt.

Können in Einzelfällen maßgebende geometrische Angaben mit den bekannten und bewährten Verfahren nicht oder nur mit extrem hohem Aufwand ermittelt werden, sind auf Erfahrung beruhende Vorentscheidungen zu treffen und wirtschaftliche Abwägungen anzustellen, die entweder zugunsten oder gegen eine vertiefte neuerliche Geometrieanalyse mit alternativen Methoden unter Hinzuziehung geeigneter Institute sprechen können.

8.3 Zerstörungsfreie Prüfungen am Massivbau

8.3.1 Übersicht und Anwendungsbereiche

Mittels zerstörungsfreier Prüfungen (ZfP) am Bauwerk können vielfältige Fragestellungen beantwortet werden. In Tabelle 2 sind mögliche Verfahren und ihre Anwendungsbereiche im Verkehrswasserbauwerken zusammengestellt.

Tabelle 2: ZfP-Bau Verfahren, Anwendungsbereiche im Verkehrswasserbau

Lfd. Nr.	Verfahren	Anwendungsbereich	
		gut geeignet	bedingt geeignet
1	Sichtprüfung	Oberflächenschäden, Schadenstiefen, z. B. Betonierfehler, Kiesnester, Abwitterung, Abrasion, randnahe Hohllagen, äußerlicher Zustand von Fugen, äußerlicher Risszustand und -verlauf, Rissbreite, -länge, Korrosionshinweise, z. B. Rostflecke, Rostfahnen, Abplatzungen durch Korrosionsprozesse, Durchfeuchtungen, Wasseraustritte, Aussinterungen, Ausblühungen, Baustoffwechsel, grobe Verformungen	
2	Rissaufnahme	Rissverlauf, -länge, -breite, Rissbewegung	Risstiefe
3	Abreißversuch	Oberflächen- und Haftzugfestigkeit	
4	Rückprallhammer	Minderfeste Bereiche in der Betonrandzone	Druckfestigkeit
5	Magnetisch induktive Verfahren	Bewehrungsdetektion, Betondeckung der Bewehrung	
6	Radarverfahren	Bewehrungsdetektion, Betondeckung der Bewehrung, Spannglieddetektion, eingebaute Konstruktionshilfen (z. B. Stahlträger, Verankerungen, Gerüste), Materialwechsel (z. B. Klinkervorsatzschalen vor Stampfbeton), Hohllagen, Ablösungen von Vorsatzschalen, Massive Gefügeschädigungen (z. B. durch AKR)	Bauteildicke, Fehlstellen und Kiesnester in Abhängigkeit von der Größe und Ausdehnung sowie dem Bewehrungsgrad, Feuchte- und Salzverteilung
7	Ultraschallverfahren	Hohlräume und Ablösungen, Gefügeunterschiede und -veränderungen, Bewehrungsdetektion, Spannglieddetektion	Schichtaufbau, Fehlstellen, Kiesnester Rissdetektion (Abschätzung von Risstiefen und -verlauf)
8	Potentialfeldmessung (nur chloridinduzierte Korrosion)	Ortung korrosionsaktiver Bereiche, Umfang und Verteilung korrosionsaktiver Bereiche	Feuchteverteilung

Bei den in Tabelle 2 dargestellten Verfahren 5 bis 8 handelt es sich um indirekte Messverfahren. Das heißt, dass die gewonnenen physikalischen Messergebnisse mit Blick auf die Fragestellung an der zu untersuchenden Bausubstanz bewertet und interpretiert werden müssen. Für die Wahl des geeigneten indirekten Verfahrens sind sowohl bautechnische Kenntnisse als auch Kenntnisse der Randbedingungen der Messverfahren erforderlich. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen und Fehlinterpretationen auszuschließen, muss die Interpretation der Messergebnisse in der Regel in Zusammenarbeit des Prüfenden mit dem Fachingenieur/der Fachingenieurin erfolgen. Je nach Aufgabenstellung sind zusätzliche zerstörende Bauteilöffnungen wie zum Beispiel gezielte Bohrkernentnahmen zur Kalibrierung der Messwerte erforderlich. Ggf. ist eine Kombination von verschiedenen zerstörungsfreien Prüfverfahren notwendig, um die gewünschte Aussage und Aussagequalität zu erlangen. Das erforderliche Messraster und der daraus resultierende Aufwand variieren in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung und angestrebten Aussagesicherheit. (Patitz et al. 2016)

Vom Fachingenieur/von der Fachingenieurin ist auf der Basis der gegebenen Randbedingungen ein geeignetes Messkonzept zu entwickeln. Es ist vor Ort immer zunächst die Plausibilität und Qualität der Messdaten zu überprüfen. Das Messkonzept ist ggf. entsprechend anzupassen.

Für die Wahl eines indirekten Prüfverfahrens sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Klare Formulierung des Erkundungsziels
- Qualitäts- und Genauigkeitsanforderungen
- Erwartete Aussagesicherheit
- Repräsentative Größe des Messbereichs: Festlegung ausreichend großer Flächen, ggf. geeignete Bereiche für Vergleichsmessungen wie Verdachtsbereiche mit/ohne Schädigung
- Lage und Zugänglichkeit zum Messbereich sowie erforderliche Hilfsmittel, z. B. handnahe Zugänglichkeit, Arbeitsschiff, Gerüst, Hebebühne, Abseilvorrichtung
- Untergrundbedingungen, z. B. Feuchtigkeit, Bewuchs und Ablagerungen, Ebenheit, Rauigkeit, Profilierung
- Zulässige Anzahl zerstörender Kalibrieröffnungen

In den folgenden Unterkapiteln werden die in Tabelle 2 dargestellten Verfahren in Bezug auf ihre Anwendung im Bereich des Verkehrswasserbaus kurz erläutert. Als weiterführende Literatur werden der ZfP-Bau Verfahrenskatalog (DZSF 2021) sowie das DBV-Merkblatt „Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen“ (DBV 2014) empfohlen. Im ZfP-Bau Verfahrenskatalog (DZSF 2021) wird eine Kurzbeschreibung zu jedem Verfahren inkl. Durchführung und Verweise zur Normung gegeben. Im DBV-Merkblatt (DBV 2014) werden die im Wesentlichen Anwendung findenden Verfahren ausgehend von konkreten Prüfaufgaben dargestellt und bewertet.

8.3.2 Sichtprüfung/Schadensaufnahme

Eine Sichtprüfung/Schadensaufnahme zur konkreten Erfassung von Schäden oder Auffälligkeiten ist als Grundlage zur Ermittlung von deren Ursache unerlässlich. Sie ist daher durch den verantwortlichen Fachingenieur/die verantwortliche Fachingenieurin unter dem jeweiligen Blickwinkel der zu beantwortenden Fragestellung durchzuführen und geht damit über die Feststellung der Schäden im Rahmen der Bauwerksinspektion deutlich hinaus.

Eine Sichtprüfung im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung ist als handnahe Prüfung in Verbindung mit einer Klopfprüfung und ggf. weiteren Hilfsmitteln durchzuführen. Sie beinhaltet somit die Inaugenscheinnahme, das Abklopfen, Messen und Tasten.

Die allgemeinen Grundlagen für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation einer Sichtprüfung sind in DIN EN 13018 geregelt. Diese unterscheidet direkte und indirekte Sichtprüfungen, je nachdem, ob der Prüfbereich direkt einsehbar ist oder Hilfsmittel benötigt werden. Typische Hilfsmittel sind Spiegel, Endoskope oder faseroptische Geräte.

Eine Klopfprüfung wird mit einem leichten Stahlhammer durchgeführt. Diese Prüfung ist ungeregelt und unterliegt der Erfahrung des Prüfenden.

Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung sind ausreichende Lichtverhältnisse sowie eine für den Untersuchungszweck angemessene Sauberkeit des Untersuchungsbereiches. In Abhängigkeit von der Fragestellung ist es jedoch ggf. erforderlich, den Zustand des Untersuchungsbereiches zusätzlich vor der Reinigung handnah zu untersuchen. Die zu reinigenden Bereiche, der Reinigungszeitpunkt und der erforderliche Reinigungsgrad sind im Rahmen der Erstellung des Untersuchungsplans abzustimmen. Es gelten sinngemäß die Festlegungen des BAWMerkblatts MBI (BAW 2010) zur Reinigung des Bauwerks für Bauwerksinspektionen. Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung von Hochdruckstrahlen zur Vorbereitung von Bauteiloberflächen gibt das DBV-Merkblatt „Hochdruckwasserstrahlen im Betonbau“ (DBV 2022).

Ist keine Trockenlegung der aufzunehmenden Bauwerksbereiche möglich, ist die Sichtprüfung handnah durch Taucher/Taucherinnen durchzuführen. Es gelten sinngemäß die Festlegungen des BAWMerkblatts MBI (BAW 2010). Der WSV stehen hierfür eigene Tauchergruppen zur Verfügung. Diese sollten bevorzugt gebunden werden, da sie die erforderliche Erfahrung mit der Komplexität der Aufgabenstellung und den besonderen Anforderungen an Zustandsaufnahmen an Wasserbauwerken besitzen.

Das Kompetenzzentrum für das Taucherwesen (KofTa) mit Standort in Hörstel (WSA Westdeutsche Kanäle) ist das Ausbildungszentrum der WSV-Taucher/-Taucherinnen. Es kann für spezielle Fragen in Zusammenhang mit Tauchaufgaben der WSV ebenfalls hinzugezogen werden.

Bei der Durchführung von Sichtprüfungen durch Taucher/Taucherinnen hat sich eine direkte Kommunikation zwischen Taucher/Taucherin und zuständigem Fachingenieur/zuständiger Fachingenieurin bewährt. In Abhängigkeit von der Zielstellung und den Randbedingungen des zu besichtigenden Bauwerksteils kann zur globalen Aufnahme von Bauteilen, Minimierung von Tauchereinsätzen und zielgerichtetem Einsatz von Tauchern/Taucherinnen der Einsatz von ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen (ROV) oder Fächerechlot eine sinnvolle Unterstützung darstellen, siehe auch Kapitel 11.

8.3.3 Rissaufnahme

Beton- und Stahlbetonbauwerke weisen aus planmäßigen Lasten Risse mit zulässigen Rissbreiten auf. Für diese Risse sind im Allgemeinen keine Maßnahmen erforderlich. Eine Ausnahme bilden Bauwerke im Meer- und Brackwasserbereich, die ggf. auch für planmäßige Risse zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern. Unplanmäßige Risse und Risse mit unzulässig großen Rissbreiten müssen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit beurteilt und ggf. instandgesetzt werden.

Für eine erfolgreiche Rissinstandsetzung ist es erforderlich, die Ursache der Rissbildung zu kennen. Unplanmäßige Risse im Bauwerk können verschiedenste Ursachen haben, die z. B. aus statischer Überlastung, aus frühem Zwang infolge Hydratationswärmeentwicklung, aus spätem Zwang infolge ungleichmäßiger Setzungen oder saisonaler Temperatureinwirkungen sowie aus gefügeschädigenden Reaktionen im Beton resultieren.

Risse ermöglichen das Eindringen von Feuchte und beton- und stahlaggressiven Substanzen. Sie verursachen oder beschleunigen verschiedene Schädigungsmechanismen, wie z. B. Bewehrungskorrosion, Alkali-Kieselsäure-Reaktion oder Frost- und Sulfatangriff, die die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes reduzieren. Die resultierenden Schäden führen zur Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit bis hin zu einer Reduzierung der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks.

Zur Klärung der Rissursachen ist sowohl eine lokale Bewertung des Einzelrisses als auch eine globale Bewertung des Gesamtrissbildes vorzunehmen. Die Betrachtung muss in zwei- und in dreidimensionaler Richtung erfolgen. Die Art des Rissbildes und der Rissverlauf auf der Bauteiloberfläche oder ggf. vorhandene Verschiebungen der Rissufer geben eine erste Auskunft über mögliche Rissursachen.

Die Rissbreitenänderung und Rissentwicklung ist eine Funktion der Temperatur, der einwirkenden Lasten (z. B. Pegelwasserstand, Verkehrsbelastung) sowie betonschädigender Reaktionen über die Zeit.

Wesentliche Randbedingungen bei der Rissaufnahme, wie z. B. Messzeitpunkt bzw. -zeitraum, Temperatur bzw. Temperaturverlauf, Bauteilausrichtung und Lastzustand müssen dokumentiert und in die Bewertung einbezogen werden. Zur Klärung von Rissursachen sind zu einer Rissaufnahme auf der Bauteiloberfläche meist zusätzliche Untersuchungen zu Risstiefe und Verlauf im Inneren des Bauteils und/oder mikroskopische Untersuchungen an Bohrkernen durchzuführen.

Zur Bewertung eines Schadensfortschrittes ist der zeitliche Verlauf der Rissentstehung und -entwicklung bzw. -veränderung heranzuziehen. Dazu sind bereits vorhandene Prüfberichte und frühere Dokumentationen des Rissbildes auszuwerten. Ggf. ist es erforderlich, die Rissbewegungen oder Veränderungen des Rissbildes über einen festzulegenden Zeitraum am Bauteil zu erfassen und/oder mit zusätzlichen Messungen, z. B. Temperatur, Pegelstand, Grundwasser oder Lasteinleitung aus Verkehr zu kombinieren.

Um Risse sowie deren Verlauf und Breite auf der Bauteiloberfläche vollständig erkennen und dokumentieren zu können, ist im Allgemeinen eine Reinigung von Verschmutzungen oder Bewuchs der ständig oder wechselnd unter Wasser liegenden Bereiche notwendig.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über mögliche Messverfahren zur Risserfassung.

Tabelle 3: Verfahren zur Risserfassung

Lfd. Nr.	Verfahren	Messbereich	Einzelmessung	Langzeitmessung	händisch	automatisiert
1	Risslineal	lokal	x		x	
2	Risslupe		x		x	
3	Gipsmarken		x		x	
4	Rissmonitor			x	x	
5	Setz-Dehnungsmesser			x	x	
6	Wegsensor			x		x
7	Risskartierung	global	x		x	

Risslineal

Risslineale, siehe Abbildung 7, sind Vergleichsmaßstäbe zur Rissbreitenbestimmung, mit denen Rissöffnungen auf der Bauteiloberfläche in einem Größenbereich zwischen 0,1 und 5 mm visuell zweidimensional eingeordnet werden können. Die Genauigkeit beträgt 0,05 mm (Lange und Benning 2006), sie hängt jedoch deutlich von der Erfahrung des Prüfenden ab. Gebrochene Rissflanken, Aussinterungen und Verschmutzungen beeinträchtigen die Messgenauigkeit und sind zu dokumentieren. Verschiebungen/Versätze der Rissufer können nicht erfasst werden.

Risslupe

Mit einer Risslupe, siehe Abbildung 8, können Rissbreiten auf der Oberfläche punktuell bestimmt werden. Zur Bestimmung der Rissbreite weist die Lupe eine eingravierte Messskala auf. Messbereich und Genauigkeit hängen von der Art der Lupe und der Skalierung ab. Verschiebungen bzw. Versätze der Rissufer können nicht erfasst werden. Die Risslupe wird direkt auf die Bauteiloberfläche aufgesetzt, in der eine ausreichende Ebenheit zur Erstellung scharfer Fotos gegeben sein muss.



Abbildung 7: Bestimmung der Rissbreite mit einem Risslineal

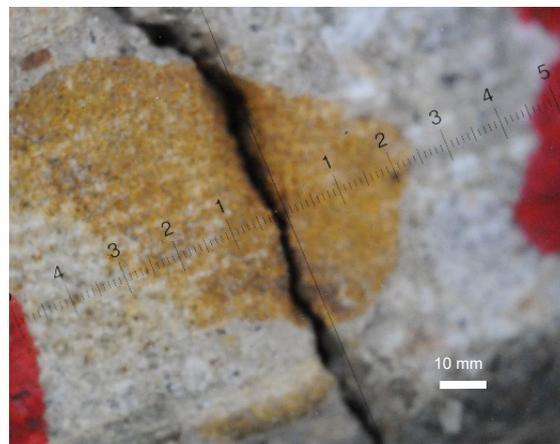


Abbildung 8: Aufnahme der Rissbreite mit einer Risslupe an einer Bohrlochwand

Gipsmarken

Gipsmarken sind einfache Hilfsmittel zur Feststellung von Rissbewegungen in einem gewählten Beobachtungszeitraum. Bereits bei kleinen Rissbewegungen kommt es aufgrund des spröden Materialverhaltens des Gipses zum Bruch des Materials. Vor der Bewertung einer Gipsmarke ist durch vorsichtiges Klopfen zu überprüfen, ob beide Seiten der Gipsmarke fest auf dem Untergrund anhaften, da ein Ablösen einer Gips-hälfte zu Fehleinschätzungen der Marke führt. Gipsmarken sind mit dem Setzdatum zu kennzeichnen. Gipsmarken können nach der Rissbildung weiter als feste Messpunkte zur optischen Erfassung der Rissbewegungen mittels Risslineal oder -lupe genutzt werden.

Rissmonitor

Als Rissmonitore werden einfache mechanische Messgeräte zur qualitativen Erfassung von Rissbewegungen in Ebenen, Ecken und horizontalen Versätzen oder Neigungen bezeichnet. Durch sich gegeneinander verschiebende Maßstabkunststoffscheiben können Verschiebungen parallel und senkrecht zum Riss angezeigt werden. Zur Messung von Bewegungen von Versätzen oder Neigungen werden bewegliche Messarme genutzt. Die Ablesung erfolgt direkt am Messgerät, so dass nur eine diskontinuierliche Erfassung der Rissbewegungen stattfinden kann. In Abhängigkeit von der Rissbreite und vom gewählten Rissmonitor können

Messgenauigkeiten zwischen 0,1 mm bis 1,0 mm erreicht werden (Lange und Benning 2006). Die festgestellte Wegänderung bezieht sich auf die Summe aus Rissbreitenänderung und temperaturabhängiger Betondehnung der Gesamtmesslänge. Die zeitlichen Abstände der Messungen sind entsprechend der zu klärenden Fragestellung zu planen.

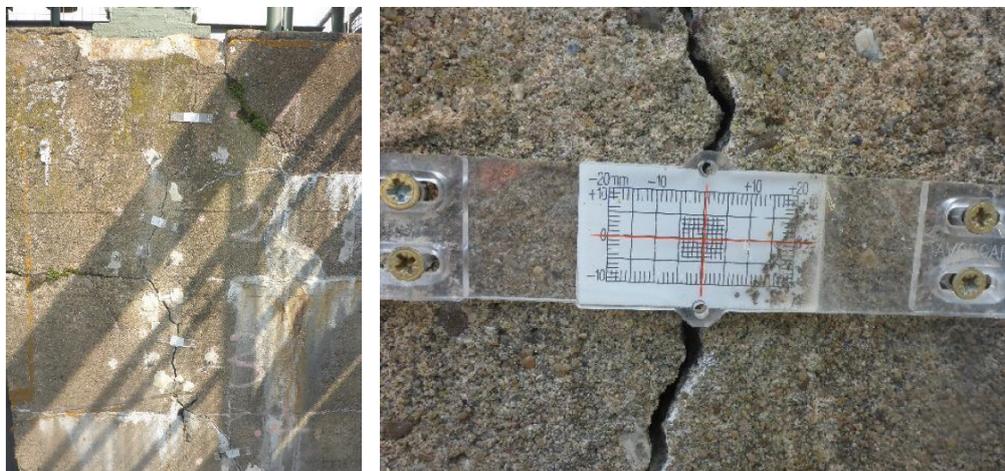


Abbildung 9: Rissmonitore an einem Vertikalriss der Wehranlage Obernau (Foto WSA Main)

Setz-Dehnungsmesser

Mit Hilfe eines Setz-Dehnungsmessers können über ein wiederholtes Abgreifen von fest eingeklebten Messmarken relative Rissbreitenänderungen über einen zeitlichen Verlauf ermittelt werden. Die Messung erfolgt händisch, so dass nur eine diskontinuierliche Veränderung eines Einzelrisses erfasst werden kann. Die Genauigkeit beträgt 0,001 mm (Lange und Benning 2006). Entsprechend des Rissmonitors bezieht sich die festgestellte Wegänderung auf die Summe aus Rissbreitenänderung und temperaturabhängiger Betondehnung der Gesamtmesslänge. Die Messmarken sind vor Beschädigungen zu schützen. Die zeitlichen Abstände der Messungen sind entsprechend der zu klärenden Fragestellung zu planen.

Wegsensor

Wegsensoren wandeln die mechanische Messgröße (Rissbreite) in ein elektrisches Signal um. Dieses kann mit einem Datenlogger über die Zeit gespeichert werden. Weitere Größen, wie z. B. Temperatur (Pt100) und Pegelwasserstand (Drucksensor), können ebenfalls mitgeschrieben werden. Zur kontinuierlichen Datenerfassung kann eine Messdatenfernübertragung realisiert werden. Es ist auch möglich, Grenzwerte zu definieren und bei Überschreitung einen Alarm auszulösen. Für das Messsystem muss eine Energieversorgung sichergestellt werden.

Durch geeignete mechanische Adapter sind sowohl ein-, zwei- oder dreidimensionale Rissbewegungen messbar, siehe z. B. Abbildung 10. Bei der Bewertung der ermittelten Wegänderung ist zu beachten, dass sich diese aus Rissbreitenänderung und Betondehnung der Gesamtmesslänge ergeben.

Der Fachingenieur muss im Vorfeld die Messanforderungen und die Randbedingungen (Lage, Umgebungsbedingungen) genau definieren. Auf dieser Basis kann aus einer Vielzahl von Sensoren der jeweils geeignete Sensor (wasserdicht, seewassergeeignet, UV-beständig, Genauigkeit, Messbereich usw.) für die individuelle Anwendung gewählt werden. Ebenso stehen eine Vielzahl von Datenloggern (Auflösung, Anzahl der Eingangskanäle, Speichertiefe, Energiebedarf) zur Verfügung.



Abbildung 10: Wegsensoren und Datenlogger zur Messung horizontaler und vertikaler Rissbewegungen an der Wehranlage Geesthacht

Risskartierung

Die allgemein übliche Praxis zur Kartierung von Rissen an Bauteilen ist das händische Einmessen der Einzelrisse und augenscheinliche Beurteilung des Rissbildes. Sie erfolgt in der Regel gemeinsam mit der allgemeinen Schadensaufnahme des Bauteils mittels Sichtprüfung, siehe Kapitel 8.3.2. Zu dokumentieren sind die Rissverläufe, Rissbreiten, Risszustände, ggf. vorhandene Versätze oder Netzrissabstände. Aufgrund der handnahen Aufnahme erfordert die Risskartierung in den meisten Fällen entsprechende Gerüste oder Hubtechniken. Sowohl der Allgemeinzustand der Risse als auch festgestellte Besonderheiten sollten fotografisch dokumentiert werden. Im Anschluss sollten die Feststellungen der Risskartierung sowie die Fotodokumentation in vorhandene Bestandspläne eingetragen oder aussagekräftige Skizzen angefertigt werden.

Für großflächige Kartierungen kann der Einsatz von innovativen Methoden zur Zustandserfassung unterstützend, kosten- und zeitsparend sein, siehe Kapitel 11.

8.3.4 Abreißversuch

Die Ermittlung der Abreißfestigkeit ist ein mechanisches Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Betons und der Haftzugfestigkeit von Beschichtungen auf Oberflächen.

Die Beurteilung des Betonuntergrundes über die vorhandene Oberflächenzugfestigkeit ist ein wesentlicher Kennwert zur Einstufung des Betons in seine Altbetonklasse nach ZTV-W LB 219, siehe auch Kapitel 8.8.7. Bei Vorhandensein von Altbeschichtungen kann mit diesem Verfahren der Haftverbund zwischen Beschichtung und Betonuntergrund ermittelt werden.

Die Versuchsdurchführung und Dokumentation erfolgen entsprechend DIN EN 1542 und ZTV-W LB 219, Anhang 1.

Die Betonoberfläche bzw. die geprüfte Altbeschichtung werden durch die Prüfung geschädigt. Die Prüfbereiche sind zur Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit und/oder Optik nach der Prüfungsdurchführung fachgerecht instand zu setzen. Erforderliche Vorgaben sind im Untersuchungsplan zu treffen.

8.3.5 Rückprallhammer

Mittels Rückprallhammer wird ein Kennwert der elastischen Verformung der oberflächennahen Randzone durch mechanische Anregung ermittelt. Unter bestimmten Randbedingungen darf nach DIN EN 13791/A20 auf die Druckfestigkeit des Betons geschlossen werden.

Aufgrund der Massigkeit im Verkehrswasserbau üblicher Bauwerkteile sowie ihrer bereichsabhängig variierenden Durchfeuchtungen und Carbonatisierungstiefen kann dieses Verfahren an Verkehrswasserbauwerken im Allgemeinen nicht angewendet werden.

Einsatz finden kann der Rückprallhammer ggf. für Vergleichsmessungen zu Festigkeitseigenschaften der Betonrandzone. Ein weiterer Anwendungsbereich kann die Eingrenzung von Bohrkernentnahmebereichen in Abhängigkeit von der Oberflächenfestigkeit sein.

8.3.6 Magnetisch induktive Verfahren

Magnetische induktive Verfahren beruhen auf der Magnetisierbarkeit und elektrischen Leitfähigkeit der zu detektierenden Objekte. Anwendung finden die Verfahren im Wesentlichen bei der Detektion oberflächennaher Bewehrung und deren Betondeckung. Zur Detektion wird ein Magnetfeld in den Messbereich eingebracht. In Abhängigkeit von der Frequenz eines eingebrachten Magnetfeldes werden niederfrequente Verfahren (Ferromagnetische Verfahren) und hochfrequente Verfahren (Wirbelstromverfahren) unterschieden. Mittels ferromagnetischer Verfahren können Objekte aus magnetischem Metall, wie z. B. gewöhnlicher Baustahl, detektiert werden. Mittels Wirbelstromverfahren können auch nicht oder gering magnetische Materialien, die jedoch eine elektrische Leitfähigkeit aufweisen, wie z. B. Edelstahl und Kupfer, detektiert werden.

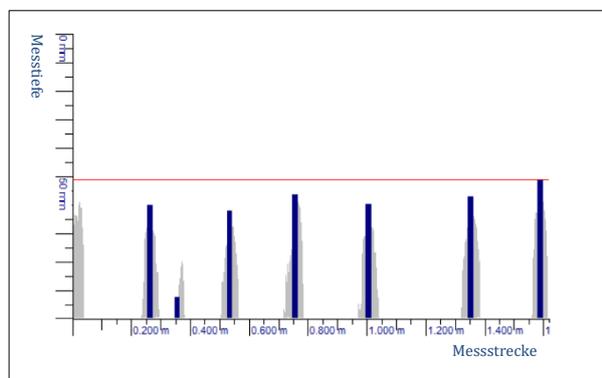


Abbildung 11: Beispiel des Messergebnisses einer Betondeckungsmessung mittels Ferromagnetischem Verfahren, PS200, Hilti

Allgemeine Einflussgrößen:

- oberflächennahe Objekte schatten tiefer liegende Objekte ab (geräteabhängiger Mindestabstand der detektierten Objekte in Abhängigkeit von der Tiefenlage erforderlich)
- eng benachbarte, in unmittelbarer Nähe tiefer liegende Objekte sowie Kreuzungspunkte der Bewehrung (ggf. Überlagerung der Signale und Beeinflussung des Messergebnisses)
- Orientierung des Messobjektes zum Sensor (abhängig von der Messtechnik, meist nur Detektion orthogonal zur Ausrichtung der Bewehrung)

Besondere Einflussgrößen:

- Ferromagnetische Verfahren:
 - magnetische Leitfähigkeit des Messobjektes: Genormte Betonstäbe weisen hohe magnetische Leitfähigkeit auf und sind daher gut messbar. Edelstähle und ggf. ältere Betonstäbe mit geringer magnetischer Leitfähigkeit sind eingeschränkt bzw. nicht messbar.
 - ferritische Bestandteile im Untergrund, wie z. B. bestimmte Gesteinskörnungen beeinflussen erheblich die Messergebnisse bis hin zur Unbrauchbarkeit
- Wirbelstromverfahren:
 - elektrische Leitfähigkeit des Messobjektes: Ab einer Frequenz > 40 kHz sind auch Materialien ohne oder geringer magnetischer Leitfähigkeit aber mit elektrischer Leitfähigkeit detektierbar, z. B. Edelstähle, älter Betonstähle Kupfer.
 - magnetische, elektrisch leitende Bestandteile im Untergrund, wie z. B. Stahlfasern, führen zu erheblicher Beeinflussung der Messergebnisse bis hin zur Unbrauchbarkeit der Daten

Messbereich:

- Geräteabhängig: überwiegend bis max. 10 cm Betondeckung

Vorteile:

- genaue Detektion der Betondeckung bei Kenntnis des Bewehrungsdurchmessers innerhalb des Messbereiches (± 1 bis 2 mm)
- keine Abhängigkeit vom Zustand des umgebenden Betons hinsichtlich Feuchte- und Salzbelastung
- schnelle, großflächige Datenerfassung möglich (2D, 3D)

Nachteile:

- relativ geringe Messtiefe
- Abschattung tiefer liegender Bewehrung; es sind meist nur die beiden oberen, sich kreuzenden Bewehrungslagen messbar

Eine umfassende Verfahrensbeschreibung, Erläuterungen zur Präzision, Einflussgrößen auf die Messverfahren sowie praktische Hinweise zur Betondeckungsmessung sind dem Merkblatt B02 „Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen“ (DGZfP 2014) zu entnehmen.

8.3.7 Radarverfahren

Das Radarverfahren findet breite Anwendung bei der Untersuchung von Verkehrswasserbauwerken. Es ist ein indirektes Verfahren, bei dem elektromagnetische Wellen über eine Sende-Empfangseinheit (Radarsensor) in das Bauteil eingebracht werden. An Material- und Objektgrenzen werden diese gebrochen und reflektiert. Bei Metallen kommt es zur Totalreflexion. Die Reflexionen werden mit der Sende-Empfangseinheit erfasst, abgespeichert, bewertet und interpretiert. Dabei wird die Reflexionsstärke, die Form der Reflexionen, die Absorption und die Wellenlaufzeit berücksichtigt.

Die erzielbaren Messergebnisse sind vom gewählten Messraster, den einsetzbaren Sensoren, siehe Abbildung 12 und Abbildung 13, der Zugänglichkeit am Objekt sowie der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig. Für die Aussagesicherheit der Messergebnisse ist in der Regel eine Kalibrierung der Radardaten am zu prüfenden Bauteil erforderlich. Liegen Messbereiche mit unterschiedlicher Durchfeuchtung und/oder Versalzung vor, sind diese ggf. gesondert zu kalibrieren.



Abbildung 12: Abseilen des 400 MHz Sensors, Schleuse Kiel-Holtenau (Foto IGP, Karlsruhe)

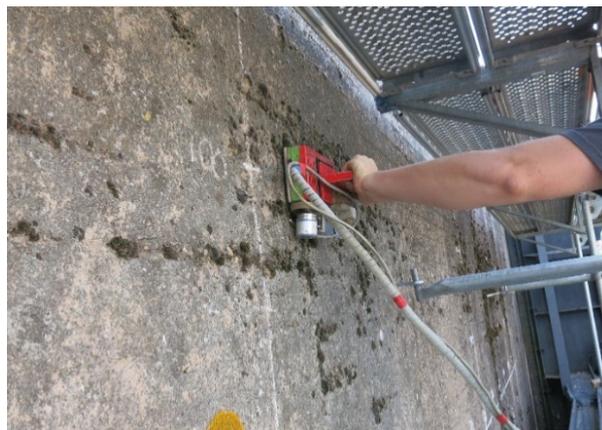


Abbildung 13: Handführung des 1,5 GHz Sensors, Wehrpfeiler Lisdorf (Foto IGP, Karlsruhe)

Einflussgrößen:

- Frequenz des Radarsensors: tiefere Frequenzen ermöglichen größere Messtiefen verbunden mit geringerer Auflösung
- Beschaffenheit des Untergrundes: Feuchte- und Salzgehalt dämpfen die Radarimpulse und reduzieren die Eindringtiefe der Radarimpulse erheblich, Stahlfasern verhindern aufgrund der hohen Streuungen zuverlässige Aussagen
- Kontraste der elektromagnetischen Eigenschaften der Objekte/Materialien im Messbereich, z. B. Metalle, Luft, Wassereinlagerungen, Materialübergang Vorsatzschale Ziegel/Beton sowie Grenzbe-
reich zwischen Bauteil und Hinterfüllung/Erde/Fels
- Orientierung des Messobjektes im Bauteil: lineare Objekte müssen orthogonal überfahren werden
- Objektgröße: Mindestgröße erforderlich, z. B. können Bewehrungsköpfe von Ankern und Nadeln nicht erfasst werden

Messbereich:

- ab 2 bis 3 cm Tiefe (aufgrund Überlagerung der Oberflächenreflexion mit dem Sendesignal)
- verschiedene Untersuchungstiefen in Abhängig von der Wahl der Radarsensoren, sowie Art und Beschaffenheit des Untergrundes

Vorteile:

- Anpassung der Sendefrequenz auf die Größe und Lage der zu beantwortenden Fragestellung (gilt nicht für Multidetektoren mit fester Voreinstellung)
- Beurteilung eines Bauteils auch hinter einem Hohlraum möglich, z. B. abgelöste Vorsatzschalen, Zustandsbeurteilung und Objektdetektion hinter einem Hohlraum
- keine direkte Ankopplung des Radarsensors an den Untergrund erforderlich, bei verstärkten Unebenheiten kann über eine Auflageplatte gemessen werden
- wählbare tiefen- und flächenaufgelöste Ergebnisdarstellung
- schnelle, großflächige Datenerfassung durch Abrollen des Messbereiches

Nachteile:

- erhebliche Reduzierung der Eindringtiefe durch hohe Feuchte- und Salzgehalte (z. B. Chloride) des Messuntergrundes
- wechselnde Feuchte- und Salzgehalte innerhalb einer Messfläche können zu Ergebnisungenauigkeiten führen
- Objekte mit Totalreflexion (z. B. Bewehrung) verschatten unmittelbar hintereinander liegende Objekte (bei sehr dicht verlegter Bewehrung ist keine Information aus tieferen Lagen möglich)
- sehr dicht nebeneinanderliegende Objekte können nicht als einzelne Objekte aufgelöst werden, z. B. Doppelstäbe, Übergreifungsstöße
- keine Messung in anstehendem Wasser möglich

Umfassende Darstellungen des Verfahrens sowie Hinweise zur Ausschreibung und Personalqualifikation können den DGZfP-Merkblättern B02 (DGZfP 2014) und B10 (DGZfP 2008) entnommen werden.

Abbildung 14 zeigt ein Beispielradargramm für die Erkundung tief liegender Bewehrung an der Trogabschlusswand des Schiffshebewerkes Rothensee. An der Bauteiloberfläche kann die Lage der Bewehrung angezeichnet werden, um zu verhindern, dass bei der Bohrkernentnahme Bewehrung durchtrennt wird bzw. gezielt freigelegt werden kann.

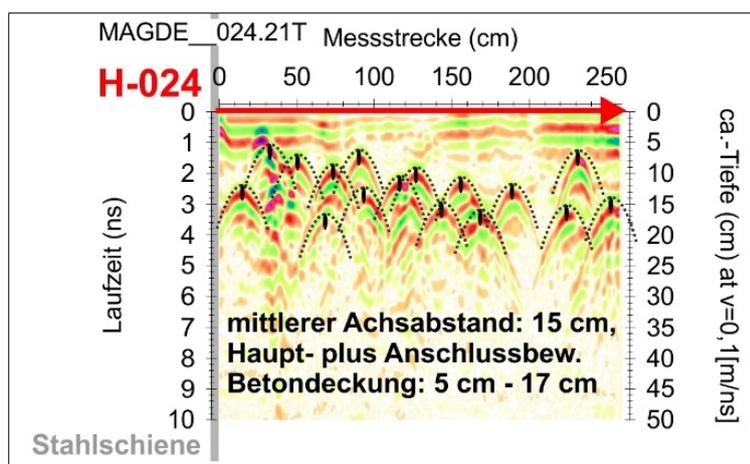


Abbildung 14: Ansprache einzelner Bewehrungsstäbe in unterschiedlichen Tiefenlagen im Radargramm, Schiffshebewerk Rothensee (IPG+GGU, Karlsruhe)

In Abbildung 15 sind Beispielradargramme, in denen aufgrund stark erhöhter Reflexionen hinter der Klinskervorsatzschale Hohlräume und Bewehrungseisen an der Schleuse Oldau detektiert wurden. Sie zeigen die vorgefundenen unterschiedlichen Schädigungsbereiche in den Kammerwänden. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Radaruntersuchungen hinter der Vorsatzschale bis zu einer Tiefe von 60 cm farbkodiert dargestellt. Die Kalibrierung der Radardaten erfolgte über gezielte Kernbohrungen und Abklopfen der Kammerwände.

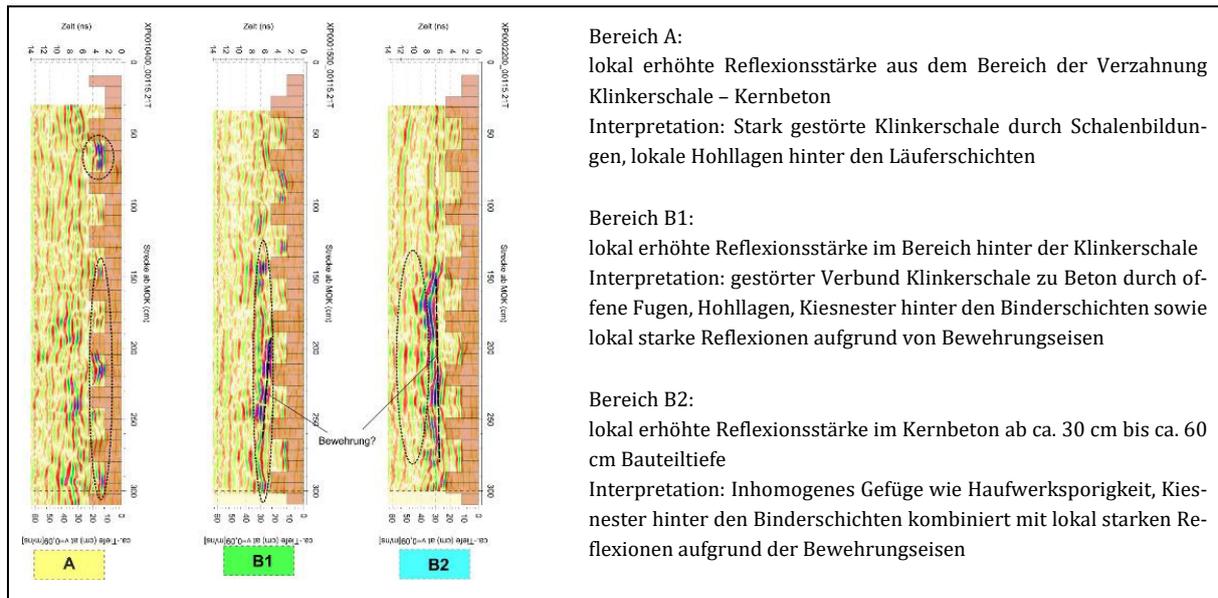


Abbildung 15: Beispielradargramme zur Erkundung von Ablösungen der Klinkervorsatzschale, Schleuse Oldau (IGP+GGU, Karlsruhe)

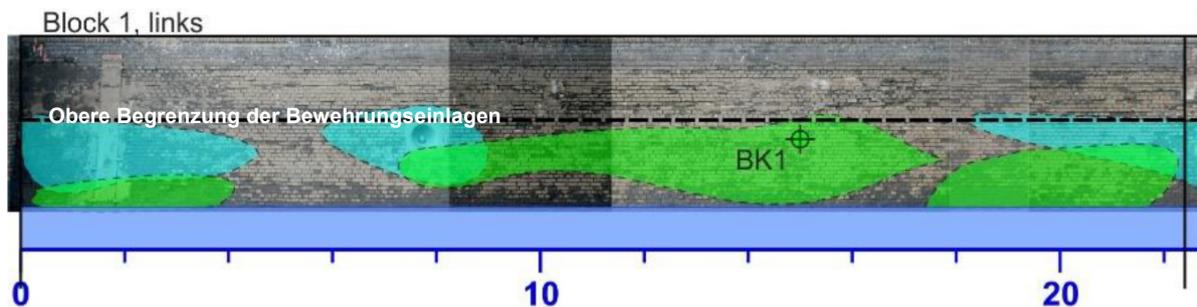


Abbildung 16: Ergebnisdarstellung zur Erkundung von Ablösungen der Klinkervorsatzschale, Gesamtbewertung des Bauteilbereichs bis 60 cm Tiefe, Schleuse Oldau (IGP+GGU, Karlsruhe)

8.3.8 Ultraschallverfahren

Das Ultraschallverfahren ist ein indirektes Verfahren, bei dem elastische Wellen in das Bauteil eingebracht werden. An Materialgrenzen (z. B. Bewehrung, Hüllrohre) werden die Wellen gebrochen und reflektiert. An Luftschichten erfolgt eine Totalreflexion, infolgedessen können keine Aussagen hinter Hohllagen getroffen werden.

Bei einer beidseitigen Zugänglichkeit befinden sich Sender und Empfänger direkt gegenüber, so dass im Durchschallungsverfahren die baustoffabhängige Wellengeschwindigkeit direkt bestimmt werden kann. Daraus lassen sich Gefügezustandsänderungen und Festigkeitsänderungen beurteilen.

Im Verkehrswasserbau ist im Allgemeinen nur eine einseitige Zugänglichkeit zum Bauteil möglich. Daher kann nur das Ultraschall-Echo-Verfahren zum Einsatz kommen, bei dem Sender und Empfänger einseitig auf der Bauteiloberfläche aufgesetzt werden. Aus der ermittelten Wellenlaufzeit kann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit im umgebenden Material die Lage von Reflektoren berechnet werden.

Im Verkehrswasserbau gab es bisher wenige praktische Anwendungen. Im Folgenden werden allgemeine Einflussgrößen auf das Verfahren genannt.

Einflussgrößen:

- Luftschichten (Totalreflektion an Luftschichten im μm -Bereich)
- Gesteinskörnung $d_{gr} > 16 \text{ mm}$ (Verursachung von Streueffekten)
- Ankopplung an den Untergrund

Messbereich:

- 5 cm bis 50 cm (größere Messtiefen mit besonderen Prüfköpfen und Auswertungsmethoden möglich)

Vorteile:

- Messung in dicht bewehrten Bereichen möglich
- kaum Beeinflussung durch Feuchte und Salzbelastung
- gute Durchdringung engliegender schlaffer Bewehrung
- guter Kontrast und Auflösung nichtleitender Objekte

Nachteile:

- Totalreflektion an Luftschichten (keine Erkundung von Bereichen hinter Hohlräumen und parallel zur Oberfläche verlaufenden Rissen oder Ablösungen)
- keine Untersuchungen im direkten oberflächennahen Bereich
- empfindlich gegen raue Oberflächen
- empfindlich gegen Beschichtungen
- direkte Ankoppelung auf der Oberfläche erforderlich (federgelagerte Messköpfe, mögliche Rauigkeit der Oberfläche ist begrenzt)
- Aufnahme der Daten durch schrittweises Abtasten (nur kleinflächige Aufnahmen mit angemessenem Messaufwand möglich)

Eine umfassende Verfahrensbeschreibung sowie Hinweise zur Ausschreibung und Personalqualifikation sind im Merkblatt B04 der DGZfP (DGZfP 2018) gegeben.

8.3.9 Potentialfeldmessung

Die Potentialfeldmessung ist ein elektrochemisches Verfahren, das auf der Bestimmung von Potentialdifferenzen zwischen dem Bewehrungsstahl im Beton und einer auf der Oberfläche aufgesetzten Bezugslektrode basiert. Ausgeprägte örtliche Potentialverschiebungen können Hinweise auf aktive Prozesse chloridinduzierter Bewehrungskorrosion geben.

Im Bereich von Verkehrswasserbauwerken kann das Verfahren z. B. auf Planien oder Wehrpfeilerköpfen unter Brücken mit Tausalzbeanspruchung sinnvoll Anwendung finden. In Bauteilen mit starker und bereichsweiser unterschiedlicher Durchfeuchtung ist die Aussagefähigkeit des Verfahrens jedoch stark eingeschränkt.

Im Verkehrswasserbau gab es bisher wenige praktische Anwendungen. Eine umfassende Verfahrensbeschreibung, Hinweise zur erforderlichen Personalqualifikation, Hinweise zur Ausschreibung sowie Hinweise zur Messungsdurchführung und -auswertung sind dem DGZfP-Merkblatt B 03 (DGZfP 2021) zu entnehmen.

Im Folgenden werden allgemeine Einflussgrößen auf das Verfahren gemäß DGZfP-Merkblatt B 03 (DGZfP 2021) genannt.

Einflussgrößen:

- Dicke der Betondeckung (mit zunehmender Betondeckung Verschiebung zu positiven Potentialen, Aussagegenauigkeit nimmt ab)
- Feuchtegehalt des Betons (mit zunehmender Durchfeuchtung Verschiebung zur negativen Potentialen, bei hohen Feuchtegehalten i. d. R. flachere Potentialgradienten)
- Betondeckung mit hohem elektrischem Widerstand (z. B. Verschiebung der Potentiale in positive Richtung durch sehr dichte Instandsetzungsmörtel und -betone)
- frei liegende Bewehrung (insbesondere bei erhöhter Feuchtigkeit und Korrosion Verschiebung der Potentialdifferenzen in negative Richtung)
- Risse (bei tiefer gehenden Rissen und Durchfeuchtung Verschiebung der Potentialdifferenz in negative Richtung)
- Temperatur (Mindestluft- und Mindestbauteiltemperatur 5 °C)
- metallische Einbauteile (mögliche Mischpotentiale bei elektronenleitender Verbindung mit dem Bewehrungsstahl)
- großflächige Ablösung und Hohllagen der Betondeckung (Verfälschung der Potentiale)

Messbereich:

- zuverlässige Aussagen bei ordnungsgemäßer Durchführung bis ca. 10 cm Betondeckung (bei größeren Betondeckungen besondere Fachkunde erforderlich)

Vorteile:

- schnelle, großflächige Erfassung korrosionsaktiver Bereiche (nur chloridinduzierte Korrosion!)

Nachteile:

- ausschließlich Erfassung korrosionsaktiver Bereiche, keine Erfassung ehemals korrodierender Bereiche
- kein Rückschluss auf korrosionsbedingten Querschnittsverlust und Korrosionsgeschwindigkeit



Abbildung 17: Durchführung einer Potentialfeldmessung an einer beschichteten Parkhausdecke durch die BAM mit Prüfung der Leitfähigkeit der Beschichtung und Anschluss der Messelektrode an die Bewehrung (Foto BAM)

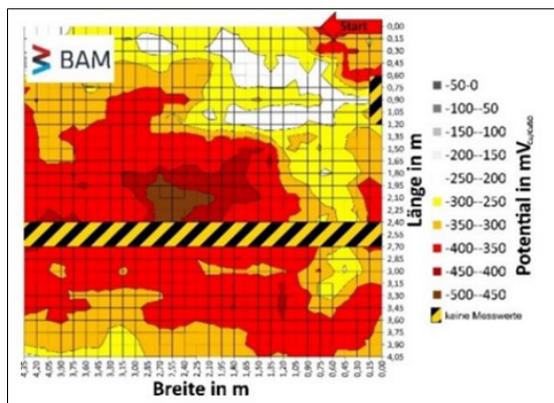


Abbildung 18: Ergebnis der flächigen Potentialfeldmessung mit Potentialtrichter im Bereich aktiver Bewehrungskorrosion (Foto BAM)

8.4 Zerstörende Prüfungen am Massivbau

8.4.1 Bohrkernentnahme

Bohrkernentnahmen sind das zentrale Element jeder Bauwerksuntersuchung. Die Qualität der gewonnenen Bohrkernproben bestimmt wesentlich die Aussagekräftigkeit der später im Labor zu gewinnenden Ergebnisse.

Ziele können sein:

- Bestimmung des Bauwerks-/Bauteilaufbaus
- Gewinnung von Probenmaterial zur Bestimmung von Festbetonkennwerten für statische Betrachtungen
- Gewinnung von Probenmaterial für Untersuchungen zur Bewertung der Dauerhaftigkeit
- Bewertung des Gefügestandes
- Ermittlung von Riss- und Schädigungstiefen
- Planung von Injektionsmaßnahmen
- Verifizierung von Messergebnissen zerstörungsfreier Prüfungen

Die Planung und Durchführung der Bohrarbeiten, die Wahl des Bohrverfahrens sowie die Dokumentation erfolgen nach BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a). Für die Planung und Vorbereitung von Injektionsmaßnahmen ist zusätzlich das DWA-Merkblatt M 506 (DWA 2018) heranzuziehen.

Anzahl, Länge und Durchmesser der zu entnehmenden Bohrkernproben sowie die Art der Entnahme und die Art der Lagerung nach der Entnahme richten sich nach der konkreten Fragestellung und den vorgesehenen Laborprüfungen. Der erforderliche Bohrkerndurchmesser wird zusätzlich durch das vorhandene Größtkorn des Betons bestimmt.

Es ist grundsätzlich darauf zu achten, dass möglichst wenig Bewehrung durchtrennt wird. Bei sehr eng liegender Bewehrung muss ggf. Bewehrung gezielt durchtrennt werden, so dass möglichst wenig Bewehrungsanteile geschädigt werden. Ein Anschneiden von Bewehrung führt häufig zum Verkanten der Bohrkronen und damit zur Erhöhung von Bohrzeiten. Zur Feststellung der genauen Lage von Bohransatzpunkten ist daher die Kenntnis der Lage der Bewehrung erforderlich. Aufgrund der meist hohen Betondeckungen bei Wasserbauwerken hat sich der Einsatz von Radarverfahren, siehe Kapitel 8.3.7, zur Ortung von Bewehrung bewährt.

Wesentliche Hinweise und einzuhaltende Anforderungen an die Festlegung von Bohrkernentnahmen für die Bewertung der Tragfähigkeit bestehender massiver Wasserbauwerke sind dem BAWMerkblatt TbW (BAW 2016), Abschnitt 3.3.1.2 und Anlage 1 zu entnehmen.

Besondere einzuhaltende Anforderungen an die Lagerung von Bohrkernen aus AKR-geschädigten bzw. im Verdacht darauf stehenden Bauwerken sind in Kapitel 8.8.10 dargestellt.

Für Bohrkernentnahmen zur Ermittlung von Chloridprofilen an Bohrkernscheiben sind zusätzliche Hinweise in Kapitel 8.8.8 gegeben.

Bei Bohrungen, die bis an den bzw. nahe an den Baugrund herangeführt geführt werden, ist bereits in der Planungsphase zwingend Rücksprache mit dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin für Geotechnik zu halten. Folgende Abstimmungen sind zu treffen:

- Art des Baugrunds (z. B. Lockergestein, Festgestein, veränderlich festes Gestein, Risse und Klüfte)
- Grundwasserbelastung
- Gefahr eines Grundbruchs oder Austrag von Material
- Wahl geeigneter Maßnahmen zum Schutz des Baugrundes und des Bauwerks (z. B. Wasserauflast, Schutzmaßnahmen gegen unkontrolliertes Austreten von Wasser)

Bei Bohrungen, die für Baugrunderkundungen bzw. zum Ausbau von Grundwasserstellen weiter in den Baugrund geführt werden sollen, sind zusätzlich die Hinweise unter 10.3.2 zu beachten.

Horizontale Bohrungen können zur Erleichterung und Absicherung eines vollständigen Verschlusses in Abstimmung mit dem begutachtenden Fachingenieur/der begutachtenden Fachingenieurin leicht nach unten geneigt (max. 10°) erfolgen.

Sämtliche einzuhaltende Randbedingungen für die Bohrkernentnahme sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin im Untersuchungsplan festzulegen.

8.4.2 Untersuchungen im Bohrloch

8.4.2.1 Überblick und Anwendungsbereiche

Die Beschaffenheit der entnommenen Bohrkernspiegel nicht immer die Beschaffenheit der Bauwerkssubstanz wider. Zur Beurteilung der Gesamtsubstanz sind insbesondere für historische Bauwerke im Allgemeinen zusätzliche Untersuchungen der Bohrlochwandungen und der Gefügestruktur im Bauteil erforderlich.

Zielstellungen:

- Dokumentation der Bauwerkssubstanz
- Ergänzung und Verifizierung der Feststellungen der Bohrkernansprache
- Bewertung und Abgleich des Anteils nicht prüffähiger Bohrkernspiegel
- Detektion und Bewertung von Rissen, kluffartigen Störbereichen, Kiesnestern, Verdichtungsmängeln, Arbeitsfugen
- Detektion und Bewertung der Gefügedichtigkeit, von Wasserwegigkeiten und der Durchströmung
- Planung von Injektionsmaßnahmen und Auswahl von Injektionsverfahren

Verfahren:

- Optischer Bohrlochscan (Darstellung der Bohrlochwandung als echtfarbige, richtungsorientierte Abwicklung)
- Kamerabefahrung (Darstellung der Bohrlochwandung als Film oder Einzelfotos)
- Wasserdruckversuche (WD-Versuche)

Die unterschiedliche Eignung der Bohrlochuntersuchungsverfahren zur Erreichung der vorgenannten Untersuchungsziele ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Vergleich der Eignung der Bohrlochuntersuchungsverfahren

Lfd.-Nr.	Untersuchungsziel	Optischer Bohrlochscan	Kamera-befahrung	WD-Versuch
1	Dokumentation der Bauwerkssubstanz	++	0	-
2	Ergänzung und Verifizierung der Feststellungen der Bohrkernansprache	++	+	-
3	Bewertung von Rissen, Klüften, Kiesnestern, Verdichtungsmängeln, Arbeitsfugen	++	+	-
4	Bewertung der Gefügedichtigkeit, von Wasserwegigkeiten und Durchströmung	+	++	++
5	Planung von Injektionsmaßnahmen und Auswahl von Injektionsverfahren	-	-	++

Bewertungsmatrix: ++ sehr gut geeignet; + gut geeignet; 0 bedingt geeignet; - ungeeignet

8.4.2.2 Optischer Bohrlochscan und Kamerabefahrung

Optische Bohrlochscans und Kamerabefahrungen geben einen bildlichen Eindruck der Bohrlochwandungen. Es werden der Gefügebautbau, vorhandene Risse, Ausbrüche und Ausspülungen in-situ erfasst.

Der Vorteil von optischen Bohrlochscans (digitale Abwicklung der Bohrlochwandung) ist die schnelle und übersichtliche Erfassung der gesamten Bohrlochwandung als Abwicklung. Sie sind damit für eine allgemeine Dokumentation besonders geeignet. Bohrlochscans geben wichtige Hinweise über die Bohrqualität bzw. bohrbedingte Schäden an den gewonnenen Bohrkernen und liefern somit wertvolle Zusatzinformationen für die Bohrkernansprache und Bewertung von Laborergebnissen. Sie sollten entsprechend kurzfristig für die weitere Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt werden.

Kamerabefahrungen (Film-, oder Einzelfotoaufnahmen) bieten den Vorteil einer möglichen Beobachtung über einen vorgegebenen Zeitraum, so dass z. B. Wasseraustritte und deren Intensität beobachtet und bewertet werden können. Für eine allgemeine Gefügedokumentation sind Kamerabefahrungen mit Film oder Fotos weniger geeignet, da der Nachbereitungsaufwand für allgemeine Fragestellungen zum Baustoffgefüge zu groß ist und im Allgemeinen nicht die gesamte Bohrlochwandung erfasst wird. Kamerabefahrungen sollten deshalb zur Klärung gezielter Fragestellungen eingesetzt werden.

Grundsätzlich ist es für jedes Bauwerk sinnvoll, charakteristische Gefügebereiche als Basis für spätere Entscheidungen und für die Beantwortung zusätzlicher oder neuer Fragestellungen zu dokumentieren. Insbesondere vertikale Bohrungen über maßgebliche Bauwerkshöhen sollten dokumentiert werden. Bei sich in der Randzone ändernden Baustoffeigenschaften oder -wechsel (z. B. Rand- und Kernbeton, Klinker und Hintermauersteine) sowie zur Dokumentation von Vorsatzschalen hinsichtlich Geometrie und Verbund sollte zusätzlich eine Dokumentation der horizontalen Bohrungen erfolgen.

Für Untersuchungen im Rahmen von Tragfähigkeitsbewertungen sind die Vorgaben zur Durchführung von Bohrlochendoskopien im BAWMerksblatt TbW (BAW 2016) zu beachten.

In Abhängigkeit vom Untersuchungsziel kann die Befahrung einer feuchten (zur Gefügedokumentation) oder einer trockenen Bohrlochoberfläche (zur Detektion von Wasserzutrittsbereichen) sinnvoll sein.

Folgende Bedingungen sind bei der Vorbereitung und Durchführung zu berücksichtigen:

- Bohrlochvorbereitung:
 - entfernen von anhaftendem Bohrschlamm und eingetragenen Fremdmaterialien durch Spülen
 - vollständiges Abpumpen von Spülwasser oder einströmendem Wasser vor Beginn der Befahrung
 - bei unvermeidlichem Wasserstand müssen sich eindringende Schwebstoffe absetzen, ggf. Stillstandzeiten und/oder Bohrloch mit Klarwasser füllen

Bei Bohrlöchern mit Kontakt zu Baugrund aus Lockergestein sind Spülmaßnahmen mit dem geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin abzustimmen.

- Durchführung:
 - Verwendung von wasserdichten Kameras- und Bohrlochscannern entsprechend der erforderlichen Eintauchtiefe
 - Verwendung von Vorrichtungen zur mittigen Führung der Kameras und des Bohrlochscanners
 - Abstimmung der vertikalen und horizontalen Bildauflösung
 - Abstimmung der Zug-/Schubgeschwindigkeit der Winde auf das Untersuchungsziel
 - Dokumentation der Orientierung im Bohrloch (Tiefenlage, Ausrichtung)
(Bei der Verwendung von optischen Scannern ist zu beachten, dass Bewehrungen und Stahleinbauteile magnetische Störungen bei der Orientierung verursachen.)
 - Angabe des Bildmaßstabes
 - ggf. Verwendung einer Einfahrhilfe zur Messsonden-/Kameraführung für Aufnahmen im oberflächennahen Bereich

Bei unvermeidlicher Belastung von wassergefüllten Bohrlöchern mit z. B. Schwebstoffen, die eine Dokumentation mittels Kamera bzw. optischen Scannern nicht zulassen, können zur Erfassung von Rissen und Klüften akustische Scans durchgeführt werden. Akustische Scans basieren auf dem Impulsechoverfahren, wobei ein rotierender Schallsender die Bohrlochwand mit hoher Auflösung abtastet. Aus der ermittelten Laufzeit und Amplitude wird eine richtungsorientierte Abwicklung in Falschfarben erstellt. Es können Trennfugen, Klüfte und Störzonen erkannt werden. In Abhängigkeit von der Fragestellung kann eine Kombination optischer und akustischer Verfahren in wassergefüllten Bohrlöchern sinnvoll sein.

8.4.2.3 Wasserdruckversuch (WD-Versuch)

WD-Versuche dienen zur integralen Erfassung von Einflüssen auf die Bauteildurchlässigkeit. Sie sind insbesondere als Grundlage für die Planung von Injektionsmaßnahmen massiger Bauteile von besonderer Bedeutung.

Es werden Einfachpacker für Untersuchungen gegen den Bohrlochboden und Doppelpackerversuche mit zweiseitiger Abdichtung unterschieden. Zur Erfassung der Gefügedurchlässigkeit wird Wasser mit einem definierten Druck eingepresst und die Wasseraufnahmemenge pro Zeiteinheit pro Meter Bohrloch bestimmt. Es können sowohl porositätsbedingte Durchlässigkeiten als auch Durchlässigkeiten, die durch Risse, Spalten und Fehlstellen verursacht werden, erfasst werden.

Voraussetzung für die Durchführung des WD-Versuches ist ein standfestes Bohrloch.

Das Merkblatt DWA M 506 (DWA 2018) regelt die Planung, Durchführung und Auswertung von WD-Versuchen in massigen Bauteilen.

8.4.3 Bauteilöffnung

8.4.3.1 Überblick und Anwendungsbereiche

Neben Bohrkernentnahmen sind Bauteilöffnungen von zentraler Bedeutung für jede Bauwerksuntersuchung. Bauteilöffnungen können sehr unterschiedliche Zielstellungen haben. Die erforderliche Anzahl, Größe und Tiefe der Bauteilöffnungsbereiche sowie das geeignete Öffnungsverfahren hängen von der Zielstellung ab und sind durch den planenden Fachingenieur/die planende Fachingenieurin festzulegen.

Zielstellungen:

- Bestimmung des Durchmessers und der Art der Bewehrung
- Feststellung des Zustandes der Bewehrung
- Bestimmung der Carbonatisierungstiefe
- Referenzöffnungen zur Überprüfung und Kalibrierung indirekter zerstörungsfreier Messverfahren, siehe Kapitel 8.3.6 bis 8.3.9
- Ankopplung der Bewehrung für Potentialfeldmessungen, siehe Kapitel 8.3.9
- Entnahme von Bewehrungsabschnitten

Um die Anzahl von Öffnungsbereichen zu minimieren, ist es sinnvoll Öffnungsbereiche mit verschiedenen Zielstellungen soweit möglich zu kombinieren.

Das übliche Verfahren zur Herstellung von Öffnungsbereichen ist das Stemmen mittels Stemmhammer. Hier ist besonders darauf zu achten, dass die Bewehrung durch den Stemmvorgang möglichst nicht geschädigt wird. Das Verfahren ist unabhängig von der Anzahl der Öffnungsbereiche für das Freilegen kleinerer Einzelbereiche geeignet.

Bei tief liegender Bewehrung (> 10 cm) kann es sinnvoll sein, gezielt Kernbohrungen bis in die zu untersuchende Bewehrungsebene zu führen, um großflächige, tiefe Öffnungsbereiche zu vermeiden, welche nur mit erheblichem Aufwand wieder verschlossen werden können. Es kann ggf. auch sinnvoll sein, Bewehrung vereinzelt gezielt zu durchbohren und aus dem Bohrkern auszubauen. Hier sollte soweit möglich auf eine Kombination von Bohrkernentnahmen zur Bestimmung von Betonkennwerten mit der Entnahme von Bewehrungsabschnitten geachtet werden.

In Abhängigkeit von der Fragestellung kann auch ein Freilegen der Bewehrung mittels Hochdruck-/Höchstdruckwasserstrahlen erforderlich bzw. zielführend sein, z. B.

- zum Freilegen langer Arbeitsfugenbereiche,
- zur Entnahme von längeren Bewehrungsabschnitten zur Ermittlung mechanischer Kennwerte und/oder
- zur Vermeidung einer Beschädigung der Bewehrung.

Bei einer Freilegung durch Hochdruckwasserstrahlen ist zu beachten, dass Korrosionsprodukte verfahrensbedingt bei der Erstellung des Öffnungsbereichs entfernt werden und für eine Bewertung des Ist-Zustandes nicht zur Verfügung stehen. Probenahmen zur chemischen Analyse der Chloridbelastung sowie die Ermittlung des Carbonatisierungsfortschritts sind im direkten Umgebungsbereich ebenfalls nicht möglich. Hinweise zur Anwendung und Ausführung von Hochdruckwasserstrahlarbeiten gibt das DBV-Merkblatt „Hochdruckwasserstrahlen im Betonbau“ (DBV 2022).

8.4.3.2 Öffnungsbereiche zur Bestimmung von Bauwerkskenngrößen

Im Allgemeinen werden Öffnungsbereiche zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe in direkter Verbindung mit der Feststellung des Bewehrungszustandes hergestellt und sind somit bis hinter die erste Bewehrungsebene zu führen.

Die Bewehrung ist in der Regel so freizulegen, dass auch eine Bewertung der Rückseite, z. B. mittels Spiegel, erfolgen kann. Zur Feststellung des Zustandes der Bewehrung wird eine Öffnungslänge auf Bewehrungsebene von min. 10 cm empfohlen.

Die Ermittlung der Carbonatisierungstiefe am Bauteil erfolgt gemäß DIN EN 14630 durch Aufsprühen von Phenolphthaleinlösung auf eine frische Bruchfläche. Durch einen Farbumschlag bei pH-Werten > 9 kann die Tiefe der carbonatisierten Randzone ermittelt werden. Die am Bauteil bestimmte mittlere Carbonatisierungstiefe bildet die Grundlage für die Abschätzung der Restnutzungsdauer des Bauteils hinsichtlich carbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion gemäß BAWMerckblatt MDCC (BAW 2019a).

Die Zustandsermittlung der Bewehrung sowie die Ermittlung der Carbonatisierungstiefe müssen unmittelbar nach Herstellung des Öffnungsbereichs erfolgen. Die Bewertung der Öffnungsbereiche ist Aufgabe des Fachingenieurs/der Fachingenieurin. Die Dokumentation vor Ort sollte daher durch diesen/diese begleitet werden.

8.4.3.3 Öffnungsbereiche zur Entnahme von Bewehrungsabschnitten

Die Länge der zu entnehmenden Bewehrungsabschnitte richtet sich nach dem Ziel der Untersuchung und ist mit dem ausführenden Prüflabor abzustimmen.

Untersuchungsziele können sein:

- Restquerschnittbestimmung
- Ermittlung mechanischer Kennwerte, z. B. Zugversuch
- chemische Analyse, z. B. Bestimmung der Schweißseignung

8.4.3.4 Öffnungsbereiche zur Kalibrierung und Ankopplung zerstörungsfreier Prüfverfahren

Bei Einsatz der indirekten zerstörungsfreien Messverfahren gemäß Kapitel 8.3.6 bis 8.3.9 sollten grundsätzlich Referenz- bzw. Kalibrieröffnungen zur Überprüfung der Messaussage und der Erhöhung der Aussagegesicherheit hergestellt werden. Die erforderliche Größe der Öffnungsbereiche wird von der Aufgabenstellung bestimmt.

Für die Durchführung von Potentialfeldmessungen, Kapitel 8.3.9, ist eine Ankopplung der Bewehrung des jeweiligen Messbereiches erforderlich. Durch Bauwerksfugen getrennte Bereiche müssen gesondert an das Messsystem angekoppelt werden.

8.4.4 Bohrmehlentnahme

Die Bohrmehlentnahme dient im Allgemeinen zur direkten Probengewinnung für die Bestimmung einer tiefengestaffelten Belastung der Betonrandzone mit Chlorid. Die Entnahme erfolgt trocken. Im Allgemeinen kommen zur Entnahme Bohrmehlentnahmegeräte mit Tiefenschlag zum Einsatz.

Die allgemeinen Anforderungen an den Probenahmeplan sowie das Sammeln der Bohrmehlproben zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Festbeton sind in der DIN EN 14629 geregelt.

Chloridprofile bilden die Grundlage für die Ermittlung der Eingangsparameter zur Abschätzung der Restnutzungsdauer hinsichtlich chloridinduzierter Bewehrungskorrosion gemäß BAWMerkblatt MDCC (BAW 2019a). Die Vorgaben des Merkblattes zur Entnahmetiefe und Tiefenstaffelung der Proben sind daher bei der Planung der Bohrmehlentnahmen über die Festlegungen der DIN EN 14629 hinaus zu beachten.

Die im Folgenden in Anlehnung an DAfStb -Heft 401 (DAfStb 1989) dargestellten Anforderungen sollten zur Absicherung einer exakten Probenahme ebenfalls bei jeder Bohrmehlentnahme beachtet werden:

- Um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten, ist die Anzahl der Bohrlöcher je Probenahmestelle in Abhängigkeit vom Größtkorn des Betons und vom Durchmesser des gewählten Bohrers gemäß Tabelle 5 zu wählen.
- Der Tiefenbereich der Entnahme ist für jede Teilprobenahme gesondert auf 1 mm genau zu ermitteln.
- Das Bohrmehl ist auf geeignete Weise aufzufangen, z. B. durch die Verwendung eines Bohrmehlentnahmegerätes.
- Ein Verschleppen von chloridbelastetem Material in die folgenden Teilproben ist zu vermeiden, z. B. durch Reinigung der Absaugleitungen nach jedem Entnahmevergang und Ausblasen des Bohrlochs.

Tabelle 5: *Empfohlene Mindestanzahl der Bohrlöcher in Abhängigkeit von Bohrer- und Größtkorndurchmesser nach Heft 401 des DAfStb (DAfStb 1989) je Probenahmestelle*

Größtkorndurchmesser in mm	Anzahl der Bohrlöcher je Probenahmestelle bei Bohrerdurchmesser von			
	20 mm	26 mm	32 mm	40 mm
8	1	1	1	1
16	2	1	1	1
≥ 32	5	3	2	1

Anmerkung: Die empfohlenen Bohrerdurchmesser beziehen sich jeweils auf einen Teilprobenabschnitt von 10 mm.

8.4.5 Ankerzugversuch

Bei vermuteten geringen Betonfestigkeiten kann es sinnvoll sein, die aufnehmbaren Ankerzugkräfte des Altbetons für die Planung von Instandsetzungsvarianten einzuschätzen. Es können daraus Anhaltspunkte für die Ankerbemessung von Betonvorsatzschalen abgeleitet werden. Die Ankerzugversuche sind gemäß ZTV-W LB 219, Anhang 2 durchzuführen.

Folgende Festlegungen sollten durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin getroffen werden:

- Anzahl und Lage der Prüfungen
- Durchmesser, Länge und Verbundlänge des Ankers
- Stahlsorte des Ankers
- Bohrlochdurchmesser, -länge und Neigung des Bohrlochs
- Art des Ankermörtels
- Prüfzeitpunkt
- max. Prüflast (Ankerkraft)
- ggf. Vorgabe von Zentrierhilfen/Abstandhalter zur Zentrierung der Anker im Bohrloch
- Rückbau des Ankers und ggf. Instandsetzung des Prüfbereiches

8.5 Vermessung der Bohransatzpunkte und Untersuchungsbereiche

Zur Dokumentation der Bauwerksuntersuchung sind alle Bohransatzpunkte und Untersuchungsbereiche einzumessen und in Plänen darzustellen. Es sind eindeutige Bezugspunkte zu wählen, die ein leichtes Wiederauffinden der Prüfbereiche ermöglichen. Werden höhere Anforderungen an die Genauigkeit der Lage und Höhe der Bohransatzpunkte und der Untersuchungsbereiche gestellt (z. B. für BIM-Modell), so sind diese in einem übergeordneten System georeferenziert einzumessen.

8.6 Probenbehandlung, Lagerung, Dokumentation und Transport

Die Art und Weise der Probenbehandlung, der Lagerung und des Transports zum Labor können maßgeblich die im Labor gewonnenen Ergebnisse beeinflussen und sind deshalb vom Fachingenieur/von der Fachingenieurin im Untersuchungsplan festzulegen. Eine vollständige Dokumentation ist eine wesentliche Voraussetzung für die Nachvollziehbarkeit gewonnener Daten und deren Interpretation.

Die Anforderungen an die Lagerung, den Transport und die Dokumentation der Bohrkerne durch die Bohrfirma sind im BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a) geregelt.

Die entnommenen Bohrkerne sollten auf der Baustelle nicht längere Zeit der Witterung ausgesetzt werden, sondern zügig in das Prüflabor und in die für die jeweilige Prüfung vorgesehene Lagerung gebracht werden. Bei größeren Probenahmen ist es sinnvoll ein temporäres Lager für die Bohrkerne zum Schutz vor Witterung, insbesondere Frost, vorzusehen.

Bohrkerne aus Bauwerken mit Verdacht auf eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion sind nach der Entnahme so zu lagern, dass die Oberflächen rasch abtrocknen können. Die Bohrkerne sind offen in Kernkisten vor Niederschlag geschützt auf der Baustelle zwischenzulagern. Keinesfalls dürfen die Kerne in Folie eingeschlagen oder in abgedichtete Behälter verpackt werden. Der Transport von der Baustelle zum Labor sollte so rasch wie möglich erfolgen.

Die Entnahme von Bohrkernen zur Bestimmung der Druckfestigkeit ist in DIN EN 12504-1 allgemein geregelt. Gemäß DIN EN 12504-1:2021 sind Bohrkerne zur Ermittlung der Druckfestigkeit aus Bauwerken nach der Entnahme in abgedichteten Behältern zu lagern. Da die späteren Laborprüfungen, wie die Druckfestigkeits-, Spaltzugfestigkeits- und E-Modul-Prüfung, siehe Kapitel 8.8.3 bis 8.8.5, unter definierten Vorlagebedingungen erfolgen sollen, ist dies nicht erforderlich. Die als abgedichtete Behälter verwendeten Kunststoffrohre erschweren unnötig das Handling und die Lagerung auf der Baustelle und im Labor. Bei

einer ggf. unerkannt ablaufenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion kann sich die Lagerung in einem abgedichteten Behälter zudem schädigend auf das Gefüge auswirken bzw. die späteren Laboruntersuchungsergebnisse verfälschen. Es wird empfohlen, Bohrkerne in der Regel in Kernkisten nach BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a) zu lagern.

Kernkisten, die Proben sowohl aus dem Baugrund als auch aus dem Massivbau (Übergangsbereich Bauwerk/Baugrund) beinhalten, sollten sowohl dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin Massivbau als auch dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin Baugrund angezeigt werden. Diese sollten sich darüber verständigen, inwieweit der Fugenbereich der vorliegenden Proben eine Relevanz für den jeweiligen Untersuchungsbereich hat. Der Lagerungs- und Untersuchungsort sollte in Rücksprache mit den beiden Fachingenieuren/Fachingenieurinnen gemeinsam festgelegt werden.

Soll die detaillierte Bohrkernansprache durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin bereits vor Ort erfolgen, sind dafür geeignete Räumlichkeiten zum Auslegen und Dokumentieren der Bohrkerne vorzusehen. Eine Bohrkernansprache inklusive Festlegung der Prüfkörper durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin auf der Baustelle kann sinnvoll sein, wenn bereits vor Ort eine Auswahl der zu prüfenden Bohrkernabschnitte getroffen werden soll oder Bohrkernabschnitte in unterschiedliche Prüflabore versandt werden müssen.

Rückstellproben sind immer dann sinnvoll, wenn ein Gelingen der Versuchsdurchführung nicht eindeutig garantiert werden kann oder wenn für spätere Fragestellungen noch Probenmaterial benötigt werden könnte.

Für die Lieferung der Bohrkerne an das Prüflabor sollte das für das jeweilige Labor annehmbare Maximalgewicht einer Palette abgefragt werden.

8.7 Verschluss von Öffnungsbereichen und Bohrlöchern

8.7.1 Planung des Verschlusses von Öffnungsbereichen und Bohrlöchern

Der Verschluss von Bohrlöchern und Öffnungsbereichen ist im Rahmen der Erstellung des Untersuchungsplans durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin zu planen. Die hierfür notwendige Festlegung des Soll-Zustandes erfolgt unter Berücksichtigung der angestrebten Restnutzungsdauer durch die Auftraggeberin.

Ziele (Soll-Zustand) können sein:

- vollständige, wasserundurchlässige Verfüllung der Probenahmebereiche
- Wiederherstellung einer dauerhaften Bauteiloberfläche entsprechend der Expositionsanforderungen
- Wiederherstellung eines kraftschlüssigen Verbundes im Untersuchungsbereich
- Wiederherstellung des optischen Gesamteindrucks des Bauteils
- temporäre Verfüllung mit geringeren Dauerhaftigkeitsanforderungen oder einfacher Rückbau

Für die Planung des Verschlusses von Bohrlöchern und Öffnungsbereichen sind folgende Randbedingungen (Ist-Zustand) zu beachten:

- Anzahl der Verschlussbereiche
- Bohrlochdurchmesser/Fläche der Öffnungsbereiche
- Länge der Bohrlöcher/Tiefe der Öffnungsbereiche
- Orientierung (horizontal, vertikal nach oben bzw. nach unten, schräg nach oben bzw. nach unten)

- Lage im Bauwerk (ständig unter Wasser, trocken, nachströmendes Wasser, ablaufendes Wasser, Übergang/Mischbereich mit Baugrund, anstehender Wasserdruck)
- Expositionsklassenanforderungen des Bauteils
- Anpassung an mechanische Eigenschaften des Bestandsbauwerks (Druckfestigkeit, E-Modul)
- Gefügestand des erwarteten Betons (Porosität, Dichte, Durchströmung)
- Verdacht auf Alkalireaktivität der Gesteinskörnung im Altbeton (mögliches vorhandenes Restdehnungspotential)
- Verdacht auf Sulfatbelastung des Zementes im Altbeton (Sulfathüttenzement, Thurament)
- Rauigkeit der Bohrlochwandung (z. B. glatte Schnittflächen bei Überkopfb Bohrungen)
- kreuzende Risse und offene Arbeitsfugen
- Bauwerksfugen (z. B. Pressfugen, Bewegungsfugen)
- besondere Anforderung an die Oberflächenoptik (z. B. Klinker-, Natursteinvorsatzschalen)
- geplante verbleibende Nutzungsdauer des Bauwerkes/Bauwerksbereiches (z. B. dauerhafter Verschluss, temporärer Verschluss bis zur Durchführung einer Instandsetzung)

Im Rahmen der Erstellung des Untersuchungsplans sind in Anlehnung an ein Instandsetzungskonzept und einen Instandsetzungsplan gemäß ZTV-W LB 219 ein Verschlusskonzept und ein Verschlussplan (ggf. in einem Dokument) durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin zu entwickeln. Im Verschlusskonzept sind in Abhängigkeit vom erwarteten Ist-Zustand sowie von der Art und Lage der Untersuchungsbereiche ggf. mehrere Verschlussvarianten vorzugeben.

Im Allgemeinen sind bei einer Bauwerksuntersuchung nicht alle einflussnehmenden Randbedingungen (Ist-Zustand) zum Zeitpunkt der Erstellung des Untersuchungsplans bekannt. Das/der im Rahmen des Untersuchungsplans durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin aufgestellte Verschlusskonzept/-plan muss deshalb nach der Herstellung der Bohrungen und Öffnungen im Bauwerk durch diesen/diese überprüft und ggf. angepasst werden.

Für die im Verschlusskonzept vorgesehenen Verschlussvarianten sind in Anlehnung an ZTV-W LB 219 Verschlusspläne zu entwickeln, die die Grundsätze der Instandsetzung des Betons, die Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung, die Anforderungen an die Baustoffe und Baustoffsysteme, die Anforderungen an die Ausführung und erforderliche Sonderfragen berücksichtigen. In Anlehnung an die Anforderungen an einen Instandsetzungsplan gemäß ZTV-W LB 219 sollte ein Verschlussplan mindestens folgende Angaben aufweisen:

- erwarteter Ist-Zustand
- notwendige Vorbereitungsmaßnahmen (Oberflächenvorbereitung)
- projektspezifisch erforderliche Leistungsmerkmale der einzusetzenden Baustoffe und Baustoffsysteme
- Nachbehandlung
- besondere Anforderungen an die Ausführung
- Zeitplanung der Ausführung
- Qualitätssicherung und Dokumentation
- Anforderung an das Unternehmen und an das Personal
- Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz
- Hinweise zur Entsorgung

Durch die ausführende Firma sollte in Anlehnung an die ZTV-W LB 219 ein Ausführungskonzept/-plan auf Grundlage des Verschlusskonzeptes und -plans aufgestellt werden.

Zu welchem Zeitpunkt das Ausführungskonzept/-plan durch die ausführende Firma vorgelegt werden muss, kann stark variieren und sollte projektspezifisch festgelegt werden. Bei anspruchsvollen Verschlussmaßnahmen, wie z. B. dem Verfüllen eines Bohrloches unter Wasserdruck, kann es sinnvoll sein, das Ausführungskonzept bereits mit der Angebotsabgabe einzufordern und als Qualitätskriterium zur Eignung heranzuziehen.

8.7.2 Verschluss von Öffnungsbereichen

Öffnungsbereiche für die Bewertung des Korrosionszustandes der Bewehrung können mit Betonersatz im Handauftrag in Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 6 verschlossen werden. Die produktspezifischen Anforderungen an die zu verwendenden Betonersatzsysteme sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin vorzugeben. Die Einhaltung der Materialanforderungen ist durch eine Herstellererklärung zu bestätigen.

Abweichend von der ZTV-W LB 219 kann auch für Altbetonklassen < A4 nach Abschnitt 6 verfahren werden. Die dort vorgegebene Schichtdickenbegrenzung von 60 mm darf im Rahmen des Anwendungsbereichs des verwendeten Materials überschritten werden. Die Angaben im Technischen Merkblatt des verwendeten Materials sind zu beachten. Entsprechende projektspezifische Festlegungen sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin zu treffen.

8.7.3 Verschluss von Bohrlöchern

8.7.3.1 Überblick und Anwendungsbereiche

Das BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a) verweist für den Verschluss von Bohrlöchern auf das BAWMerkblatt Zweitbeton (MZB) (BAW 2012c), welches neben dem Verfüllen von Bohrlöchern mittels Zweitbeton gemäß ZTV-W LB 219 Vergussbeton gemäß Vergussbeton-Richtlinie (DAfStb 2011) und selbstverdichtenden Beton gemäß SVB-Richtlinie (DAfStb 2012) abdeckt. Die im BAWMerkblatt MZB (BAW 2012c) dargestellte Variante SVB-Beton ist für den Bohrlochverschluss bisher nicht zur Anwendung gekommen, da der Einsatz eines Spezialbetons für diesen Anwendungszweck im Allgemeinen nicht erforderlich ist. Die Variante wird deshalb hier nicht weiter betrachtet, ist jedoch grundsätzlich nicht ausgeschlossen.

Über die Verweise des BAWMerkblatts MBK (BAW 2012a) hinaus, haben sich zusätzliche Verschlussvarianten, wie der Verschluss mit Trockenbeton in Kombination mit einem Oberflächenabschluss aus Instandsetzungsmörtel, die drucklose oder unter leichtem Druck ausgeführte Hohlrauminjektion einer Einkornkiespackung sowie eine Verfüllung mit Verfüll- und Verpressbaustoffen in der Praxis bewährt und können angewendet werden. Sie werden im Folgenden ebenfalls dargestellt.

Durch eine leicht nach unten orientierte Neigung (max. 10°) horizontaler Bohrlöcher kann die Gefahr von Hohlräumen im Scheitel des Bohrlochs für den Verschluss verringert werden. Ob von einer streng horizontalen Orientierung der Bohrkerne abgewichen werden kann, ist durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin zu entscheiden.

In Tabelle 6 sind typische Bohrlochverschlussvarianten hinsichtlich ihrer Anwendungsbereiche gegenübergestellt.

Tabelle 6: Vergleich möglicher Bohrlochverschlussvarianten

Lfd. Nr.	Anforderung	Vergussbeton/-mörtel gemäß (DAFStb 2011)	Zweitbeton gemäß ZTV-WLB 219	Trockenbeton + Instandsetzungsmörtel	Hohlrauminjektion mit Einkornkiespackung (Drucklos)	Hohlrauminjektion mit Einkornkiespackung (Druck)	Verfüll- und Verpressbaustoffe *1)	Merkblatt DWA M-506 *2)	
1	Anzahl	Gering (< 10)	++	- (A)	++	- (A)	- (A)	+	++
		Groß (> 15)	++	0 (A)	0 (A)	++	++	++	++
2	Durchmesser	< 120 mm	++	- (A)	++	+	+	++	++
		> 120 mm	++	0 (A)	0 (AT)	++	++	+	++
3	Länge	< 1 m	++	- (A)	++	0 (AT)	0 (AT)	+	- (AT)
		> 1 m	++	0 (A)	0 (AT)	++	++	++	++
4	Orientierung	horizontal	0 (T)	0 (T)	++	++	++	+	++
		nach unten	++	+	++	++	++	++	++
		nach oben (über Kopf)	- (T)	- (T)	- (T)	+	+	-	- (T)
5	Lage im Bauwerk	trocken	++	++	++	++	++	++	++
		unter Wasser (Kontraktorverfahren)	++	+	- (T)	++	++	+	++
		einströmendes Wasser	++	++	0 (AT)	0 (T)	++	0 (T)	++
		Übergangsbereich Baugrund	++	++	++	+	+	+	0 (AT)
6	Anforderung aus Altbeton	Alkalireaktivität Gesteinskörnung	Wahl des Bindemittels ist entscheidend						
		Sulfatbelastung des Bindemittels	Wahl des Bindemittels ist entscheidend						
		Anpassung mech. Eigenschaften	0 (T)	+	0 (T)	+	+	0	+
		hohe Gefügedurchlässigkeit	+	++	++	0 (T)	++	+	++
		ausgeprägte Risse	+	++	++	- (T)	++	+	++
7	Geplante Nutzungsdauer	temporär	++	0 (A)	++	0 (A)	0 (A)	++	0 (A)
		langfristig > 5 Jahre	++	++	+	++	++	+	++
8	Expositionsanforderung der Bauteiloberfläche		++	++	++	++	0 (AT)	0 (A)	
9	Anforderung an Oberflächenoptik		0 (T)	++	++	0 (A)	0 (AT)	0 (A)	

- ungeeignet (A) unverhältnismäßig hoher Aufwand (Ausführungsaufwand oder finanzieller Aufwand)

0 bedingt geeignet (T) technisch ungünstig bzw. nicht ausführbar

+ geeignet

++ sehr geeignet

*1) Diese Variante ist nicht durch die im Verkehrswasserbau üblichen Regelwerke abgedeckt. Durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin ist die Eignung des zu verwendenden Materials im Einzelnen zu prüfen.

*2) nur im Zusammenhang mit Probeinjektionen zur Gefügeverbesserung zu verwenden

8.7.3.2 Verschluss mit Vergussbeton/-mörtel

Für einen Verschluss von Bohrlöchern mit Vergussbeton/-mörtel sind die Vergussbeton-Richtlinie des DAfStb (DAfStb 2011) sowie die zusätzlichen Anforderungen des BAWMerkblatts MZB (BAW 2012c) zu beachten.

Für den Verschluss von horizontalen Bohrlöchern ist Vergussbeton aufgrund seiner weichen Konsistenz nur bedingt geeignet. Eine Ausführung ist mit Hilfe eines Aufsatztrichters in Anlehnung an Abbildung 20 möglich. Überstehender Beton muss nach dem Erhärten abgestemmt werden, mindestens in Sichtbereichen ist eine Instandsetzung der Betonrandzone durch Betonersatz im Handauftrag in Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 6, erforderlich.

8.7.3.3 Verschluss mit Zweitbeton gemäß ZTV-W LB 219

Der Verschluss von Bohrlöchern kann gemäß BAWMerkblatt MBK (BAW 2012a) nach BAWMerkblatt MZB (BAW 2012c) mittels Zweitbeton nach ZTV-W LB 219 erfolgen.

Betone nach BAWMerkblatt MZB (BAW 2012c) in Verbindung mit ZTV-W LB 219 bedingen umfangreiche Nachweise, Eignungsprüfungen und Anforderungen an die Ausführung. Diese sind ggf. nicht in vollem Umfang für einen Verschluss von Bohrlöchern erforderlich. Bei einem geplanten Verschluss mit Zweitbeton nach ZTV-W LB 219 sollte durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin konkret vorgegeben werden, welche Anforderungen gestellt werden.

Für den Verschluss von horizontalen Bohrlöchern ist darauf zu achten, dass der Beton ausreichend steif bis erdfeucht eingestellt ist, damit keine Setzungen im Scheitel der Bohrlöcher auftreten. Eine Ausführung mit Hilfe eines Aufsatztrichters in Anlehnung an Abbildung 20 ist in Abhängigkeit von der Konsistenz des Betons ggf. sinnvoll. Bei Verwendung eines Aufsatztrichters ist zu beachten, dass überstehender Beton nach der Erhärtung abgestemmt werden und ggf. eine Instandsetzung der Betonrandzone mit Betonersatz im Handauftrag in Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 6, erfolgen muss.

8.7.3.4 Verschluss mit Trockenbeton

Insbesondere für den Verschluss von Bohrlöchern in Bauwerken in Stampfbetonbauweise und Untersuchungen mit kleinem Probenahmeumfang hat sich eine Verschlussvariante unter Verwendung von Trockenbeton etabliert.

Horizontale Bohrlöcher werden durch Einstampfen von erdfeucht angemischtem Trockenbeton in Kombination mit einer Instandsetzung der Betonrandzone (ca. 6 cm) mit einem Instandsetzungsmörtel im Handauftrag verschlossen. Der Verfüllbeton muss eine ausreichende Verdichtbarkeit sowie eine geeignete Grünstandfestigkeit aufweisen, so dass der Beton hohlraumarm eingebracht werden kann und keine Setzungen nach dem Einstampfen in das horizontale Bohrloch stattfinden. Die Ausführung der Betonrandzone sollte erst erfolgen, wenn visuell sichergestellt wurde, dass keine Setzungen aufgetreten sind.

Für den Verschluss von kurzen nach unten geneigten Bohrlöchern ist die Konsistenz des Verfüllbetons so einzustellen, dass er durch Stochern gut verdichtbar ist. Die maximal zulässigen Zugabewassermengen und w/z-Werte des verwendeten Produktes sind einzuhalten. Die Betonrandzone ist entsprechend den Expositionsklassenanforderungen des Bauteils auszuführen, ggf. ist auch hier eine Kombination mit Instandsetzungsmörtel im Handauftrag erforderlich.

Für die Verfüllung ist Trockenbeton (z. B. handelsübliche Sackware) nach DAfStB-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel“ (DAfStb 2005) zu verwenden. Die Materialanforderungen sowie die nachzuweisenden Produktkennwerte sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin projektspezifisch vorzugeben.

Die Instandsetzung der Betonrandzone kann in Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 6 Betonersatz im Handauftrag unabhängig von der zu erwartenden Altbetonklasse erfolgen. Die Materialanforderungen sowie die nachzuweisenden Produktkennwerte sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin projektspezifisch vorzugeben.

8.7.3.5 Verschluss durch Hohlrauminjektion/Hohlraumverguss

In Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 8 „Füllen von Rissen und Hohlräumen“ in Kombination mit DWA Merkblatt M 506 (DWA 2018) können Bohrlocher unabhängig von ihrer Orientierung im Bauteil durch Hohlrauminjektion/Hohlraumverguss verschlossen werden.

Das Prinzip dieser Verschlussvariante beruht auf dem Füllen des Bohrlochs mit einem groben Einkornkies und anschließender Injektion mit Zementleim im Sinne einer Hohlraumverfüllung. Die Injektion kann in Abhängigkeit von den Randbedingungen drucklos oder mit einem leichten Überdruck erfolgen. Ausführungsvarianten für horizontale Bohrlocher sind in Abbildung 19 bis Abbildung 21 dargestellt. Die Betonrandzone (Tiefe min. 6 cm) der so verfüllten Bohrlocher ist in Abhängigkeit von der Exposition des zu verschließenden Bohrlochs ggf. mit Betonersatz im Handauftrag in Anlehnung an ZTV-W LB 219, Abschnitt 6, auszuführen.

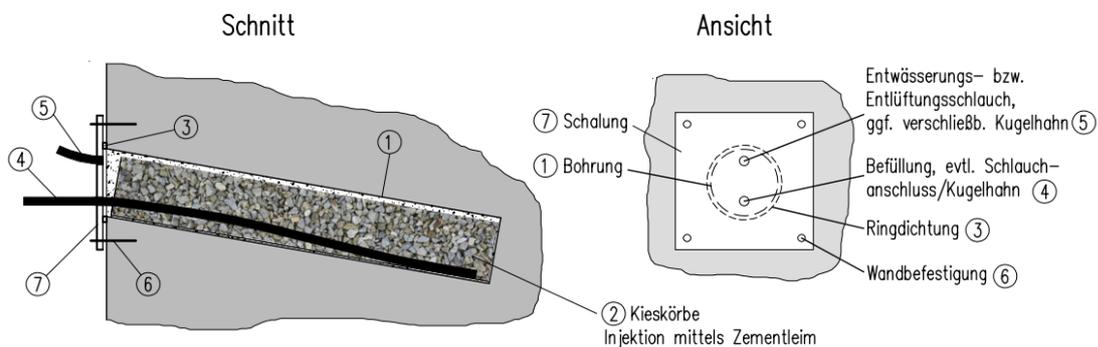


Abbildung 19: Variante - Stahlplatte mit Befüll- und Entlüftungsschläuchen

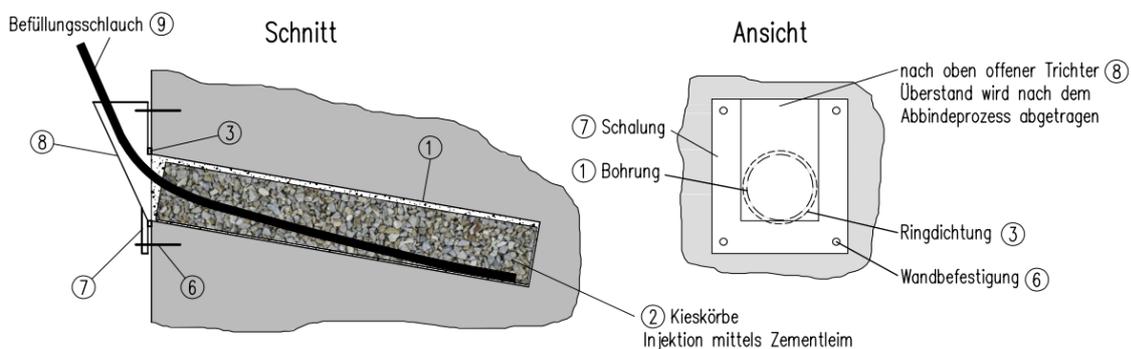


Abbildung 20: Variante - Stahlplatte mit Trichter zum Überfüllen des Bohrlochs, analog verwendbare Variante für Verschluss mit Vergussbeton

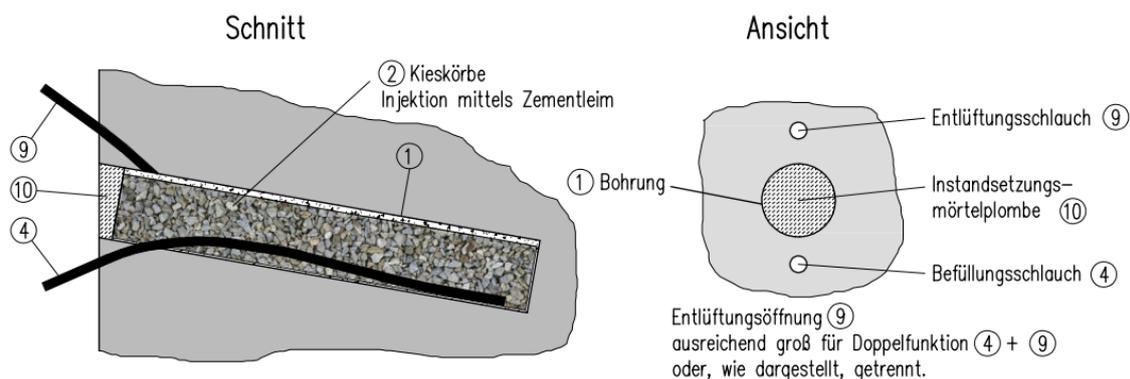


Abbildung 21: Variante - Betonersatz im Handauftrag in der Betonrandzone und Bohrungen für Befüllungs- und Entlüftungsschläuche

Das Einstellen/Einschieben des Einkornkieses (min. 16 mm) in horizontale oder in vertikal nach oben gerichtete Bohrlöcher kann über gefüllte Drahtgitterkörbe in das Bohrloch (bei vertikalen Bohrlöchern lose Gesteinskörnungsfüllung ohne Korb) erfolgen, siehe Abbildung 22. Die Drahtgitterkörbe sollten aufgrund der Handhabung eine maximale Länge von jeweils 1,0 m nicht überschreiten. Bei Überkopfanwendung begrenzt die mögliche Korblänge den sinnvollen Anwendungsbereich dieser Vorgehensweise.



Abbildung 22: Einschieben eines mit Grobkorn gefüllten Drahtkorbs in ein Bohrloch an der Wehranlage Drakenburg

Die Abdichtung des Bohrlochs für den Injiziervorgang muss in Abhängigkeit von den gegebenen Randbedingungen erfolgen. Insbesondere sind dabei die Rissituation im Bohrloch, die Orientierung des Bohrlochs sowie der gewünschte Oberflächenabschluss entscheidend. Möglich sind z. B. Spezialpacker mit Befüll- und Entlüftungsöffnungen, eine Stahlplatte mit Befüll- und Entlüftungsventilen (Abbildung 19), eine Stahlplatte mit Trichter zum Überfüllen des Bohrlochs (Abbildung 20) sowie ein Verschluss des Bohrlochs mit Instandsetzungsmörtel und Bohrungen für Befüllung und Entlüftung, (Abbildung 21).

Die Injektion sollte in Anlehnung an das Merkblatt DWA M-506 (DWA 2018) erfolgen. Auf der Basis des Merkblatts sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin projektspezifische Festlegungen zur Materialwahl, Durchführung und Qualitätssicherung zu treffen.

Grundsätzlich sollte entsprechend des Merkblatts DWA M-506 (DWA 2018) ein Injektionsversuch in einem repräsentativen Bohrloch mit Nachweis des Injektionserfolges durchgeführt werden. Der Nachweis im horizontalen Bohrloch sollte dabei durch Überbohren der Kontaktzone des Bohrlochverschlusses mit dem Altbeton im Scheitel des Bohrloches geführt werden

8.7.3.6 Verfüll- und Verpressbaustoffe

Für das Verfüllen von senkrecht nach unten orientierten Bohrungen können Verfüll- oder Verpressbaustoffe verwendet werden. Horizontale Bohrlöcher können mit entsprechenden Abschaltungen und Entlüftungsöffnungen ebenfalls verfüllt werden. Verfüll- oder Verpressbaustoffe gibt es für verschiedenste Anforderungen, von der Verfüllung großer unterirdischer Hohlräume bis hin zu Ringspaltverfüllungen bei geotechnischen Arbeiten.

Die Konsistenz und die Festigkeit dieser Baustoffe werden über den Wasser-Bindemittelwert eingestellt. Verfüllbaustoffe beinhalten oft schwindkompensierende Zusatzmittel, die den Korrosionswiderstand der Bewehrung herabsetzen. Für einen Einsatz in bewehrten Bauteilen ist die Eignung hinsichtlich kritischer Zusatzmittel zu prüfen.

Spanngliedmörtel können für kleinere Bohrlöcher verwendet werden. Sie sind auch für bewehrte Bauteile geeignet.

Der Einbau erfolgt über Kontraktorrohre oder Verpressschläuche. Für die Herstellung sind meist spezielle, kleinformatige Mischaggregate und Förderpumpen notwendig.

Diese Variante ist nicht durch die im Verkehrswasserbau üblichen Regelwerke abgedeckt. Durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin ist die Eignung des zu verwendenden Materials im Einzelnen zu prüfen und es sind die projektspezifischen Anforderungen zur Materialwahl, Durchführung und Qualitätssicherung festzulegen.

8.7.3.7 Merkblatt DWA-M 506 (DWA 2018)

Bei Erfordernis einer Gefügeverbesserung des umgebenden Altbetons sind die im Rahmen der Bauwerksuntersuchung hergestellten Bohrlöcher in die Instandsetzungsmaßnahme nach Merkblatt DWA-M 506 (DWA 2018) einzubeziehen.

Eine Injektion von Bohröchern mit Zementleim/-suspension ohne Notwendigkeit einer Gefügeverbesserung des umgebenden Altbetons ist aufgrund der zu beachtenden Schwindeigenschaften des Injektionsmaterials weder wirtschaftlich noch technisch sinnvoll.

8.7.4 Verschluss von unter Wasserdruck stehenden Bohröchern

Bei Bohröchern, die unter Schutzvorrichtungen gegen unkontrollierten Wasseraustritt (Preventer) gebohrt und unter Wasserdruck verschlossen werden müssen, ist zunächst der Wasserzutrittsbereich vor der Durchführung des Bohrlochverschlusses zu verschließen, z. B. mit 1K-Polyurethanschaum. Die Vorgehensweise ist abhängig von der Art und Ausführung der Schutzvorrichtung.

Im Rahmen des durch die ausführende Firma aufzustellenden Ausführungskonzeptes ist zwingend auf die besondere Gefahrensituation einzugehen.

8.8 Laborprüfungen

8.8.1 Bohrkernansprache

Die Bohrkernansprache ist die zentrale Prüfung in jeder Bauwerksuntersuchung, da sie sowohl zur visuellen Einschätzung des Gefügestandes als auch zur endgültigen Festlegung der erforderlichen Prüfungen sowie der Lage und der Anzahl der Prüfkörper dient. Die Bohrkernansprache sollte deshalb immer durch den beauftragten Fachingenieur/die beauftragte Fachingenieurin für Massivbau durchgeführt werden und nicht an externe Labore vergeben werden.

In der Regel findet die Bohrkernansprache im Labor statt. In Abhängigkeit von der vertraglichen Konstellation oder dem Probenumfang kann es aber auch sinnvoll sein, die Bohrkernansprache bereits auf der Baustelle durchzuführen. In diesem Fall sind geeignete Räumlichkeiten auf der Baustelle vorzuhalten, siehe auch Kapitel 8.6.

Folgende Merkmale sollten bei der Bohrkernansprache aufgenommen werden:

- Zustand der Mantelfläche (z. B. glatt und geschlossen, leicht rau, stark ausgewaschen)
- Risse (z. B. Lage, Verlauf, Orientierung, Rissbreite, Zustand der Rissflanken, Aussinterungen)
- Arbeitsfugen (z. B. Lage, Verlauf, Orientierung, Zusammenhalt, Rissbreite, Zustand der Rissflanken, Aussinterungen)
- Mörtelanteil (z. B. hoch, normal, niedrig)
- Porigkeit des Gefüges (z. B. offenporig, normal, dicht)
- Fehlstellen und Ausbrüche (z. B. Aufnahme von Lage, Umfang)
- Lage der Bewehrung (Betondeckung, Einbettung)
- Art der Bewehrung (z. B. glatt, gerippt, profiliert)
- Korrosionszustand der Bewehrung im Anschnitt
- Gesteinskörnung (z. B. Größtkorn, Splitt, Rundkorn)
- Kornverteilung (z. B. unregelmäßig, gut abgestuft, fein)
- Überkorn (z. B. Lage, Größe)
- organische Einschlüsse (z. B. Art, Lage, Größe)
- Auffälligkeiten (z. B. Sedimentationserscheinungen)

Bei der Festlegung der Prüfkörper zu beachten sind:

- Wahl einer eindeutigen Prüfkörperbezeichnung
- genaue Angabe der Tieflage der Prüfkörper im Bohrkern
- Art der Prüfung

8.8.2 Dichte

In Abhängigkeit von den Lagerungsbedingungen werden unterschiedliche Dichten ermittelt. Sie geben erste Hinweise auf die Eigenschaften des Betons. So kann aus der Trockenrohdichte und der Rohdichte im gesättigten Zustand das zugängliche Porenvolumen abgeleitet werden. Die Rohdichte findet Eingang in die statischen Nachweise. Es ist dazu immer anzugeben, unter welchen Lagerungsbedingungen sie ermittelt wurde.

Prüfungen zur Bestimmung der Dichte sind gemäß DIN EN 12390-7 an gesonderten Prüfkörpern durchzuführen. Je nach Untersuchungsziel sind die Lagerungsbedingungen durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin vorzugeben.

Da die Festigkeit des Betons direkt mit seiner Dichte korrespondiert, sollte die Dichte immer im Rahmen der Prüfungen zur Ermittlung der Druckfestigkeit, der Spaltzugfestigkeit und des E-Moduls ermittelt werden, um die Ergebnisse dieser Prüfungen zu plausibilisieren. Die Ermittlung der Dichten ist in den Prüfvorschriften zur Bestimmung der Druckfestigkeit (DIN EN 12504-1:2021), Spaltzugfestigkeit (DIN EN 12390-6:2010) und E-Modul (DIN EN 12390-13:2021) jedoch nur als optionale Prüfung verankert und sollte daher im Leistungsverzeichnis als zu liefernde Leistung ausgewiesen werden. Zur Begrenzung des Versuchsumfanges kann geprüft werden, ob die im Rahmen der vorgenannten Prüfungen ermittelten Dichten bereits hinreichend zur Beantwortung der zu klärenden Fragestellung sind.

8.8.3 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit ist eine wesentliche Eingangsgröße für statische Betrachtungen. Es sind die Vorgaben des BAWMerkbblatts TbW (BAW 2016) zu beachten.

Die Durchführung der Prüfung erfolgt gemäß DIN EN 12390-3. Die Vorbereitung und Dokumentation der Druckfestigkeitsprüfung erfolgt nach DIN EN 12504-1. Folgende Festlegungen sollten durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin im Untersuchungsplan getroffen werden:

- Prüfkörperverhältnis Höhe/Durchmesser (h/d)
- Vorlagerungsart und -dauer
- Erfassung und Dokumentation der optionalen Kenngrößen zur Bestimmung der Dichte

Wenn es nicht um die Klärung besonderer Fragestellungen geht, ist in der Regel eine trockene Lagerung im Labor und die Verwendung von Prüfkörpern mit einem Verhältnis $h/d = 1$ ausreichend. Die so gewonnenen Festigkeiten können direkt in die Festlegung der Altbetonklassen einfließen. Faktoren zur Umrechnung des Prüfkörperzustandes (trocken/gesättigt) sowie des Prüfkörperverhältnisses ($h/d = 1$ in $h/d = 2$) stehen im BAWMerkbblatt TbW (BAW 2016) zur Verfügung und sind in der Regel hinreichend genau.

Wird eine trockene Vorlagerung gewählt, wird empfohlen, eine Vorlagerung von min. 7 Tagen im Laborklima nach dem Zuschnitt der Prüfkörper zu vereinbaren. Für eine Prüfung im gesättigten Zustand wird empfohlen, die Prüfkörper abweichend von DIN EN 12504-1:2021 min. 7 Tage statt min. 48 h bei 20 ± 2 °C im Wasser zu lagern, um eine vollständige Sättigung der Proben zu gewährleisten.

Die Ermittlung der Dichte sollte zur Verifizierung der Druckfestigkeitsprüfergebnisse und ggf. zur Verwendung in statischen Betrachtungen immer erfolgen.

Besondere Hinweise und Empfehlungen zur Lagerung und zum Probentransport werden in Kapitel 8.6 gegeben.

8.8.4 Zugfestigkeit

Neben der Druckfestigkeit ist die Zugfestigkeit eine wesentliche Eingangsgröße für statische Betrachtungen. Anstelle der Zugfestigkeit wird aus prüftechnischen Gründen im Allgemeinen die Spaltzugfestigkeit ermittelt. Für Ableitung der Zugfestigkeit aus Spaltzugfestigkeit steht im BAWMerkbblatt TbW (BAW 2016) ein Umrechnungsfaktor zur Verfügung. In besonderen Fällen kann jedoch auch die direkte Ermittlung der Zugfestigkeit erforderlich sein.

Die Prüfung der Spaltzugfestigkeit erfolgt gemäß DIN EN 12390-6.

DIN EN 12390-6:2010 gibt keine konkrete Vorlagerungsart von Bauwerksproben vor. Es wird empfohlen, eine Prüfung im gesättigten Zustand zu vereinbaren, da es sich dabei um den pessimalen Festigkeitszustand handelt. Im Allgemeinen ist eine Wasserlagerung von 7 Tagen bei 20 ± 2 °C zur Erzielung eines ausreichenden Sättigungsgrades nach dem Prüfkörperzuschnitt ausreichend.

Die Dichte zum Prüfzeitpunkt ist nach DIN EN 12390-6:2010 nur optional zu bestimmen. Zur Bewertung des Prüfergebnisses liefert die Dichte jedoch eine wesentliche Grundlage für den Sachkundigen Planer und sollte deshalb immer mitbestimmt werden.

Im Rahmen der Erstellung des Untersuchungsplans sollten folgende in der DIN EN 12390-6:2010 nicht oder nur optional geregelte Festlegungen für diesen Versuch durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin getroffen werden:

- Vorlagerungsart und -dauer
- Erfassung und Dokumentation der optionalen Kenngrößen zur Bestimmung der Dichte

8.8.5 Statischer E-Modul

Der statische E-Modul ist ggf. als Materialparameter für statische Nachweise erforderlich.

Die Prüfung des statischen E-Moduls erfolgt gemäß DIN EN 12390-13.

Die DIN EN 12390-13:2021 eröffnet verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung des statischen E-Moduls. Die Dichte sowie die Dokumentation der Probenahme und Prüfung sind optional zu erfassen. Im Rahmen der Erstellung des Untersuchungsplans sollten deshalb in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner/der Tragwerksplanerin folgende zur DIN EN 12390-13:2021 ergänzende Festlegungen durch den mit den Bauwerksuntersuchungen beauftragten Fachingenieur/die mit den Bauwerksuntersuchungen beauftragte Fachingenieurin getroffen werden:

- Vorlagerungsart und -dauer
- Verfahren A oder B gemäß DIN EN 12390-13
- Spannungsverlauf während der Prüfung
- Erfassung und Dokumentation der optionalen Kenngrößen zur Bestimmung der Dichte und Datenerfassung zur Probenahme und Prüfung

Der statische E-Modul sinkt mit abnehmender Feuchtigkeit des Prüfkörpers. Wenn nicht anders erforderlich, wird deshalb eine trockene Vorlagerung im Laborklima empfohlen.

Zur Festlegung der oberen Prüfspannung sind, wenn möglich, in unmittelbarer Umgebung der E-Modulprüfkörper Druckfestigkeitsprüfkörper mit vergleichbarem Gefügestand anzuordnen. Zur Einstellung eines vergleichbaren Feuchtezustandes ist eine gleiche Vorlagerung der Prüfkörper für Druckfestigkeit und E-Modul sinnvoll, siehe Kapitel 8.8.3. Es wird empfohlen, die Prüfung gemäß den Betrachtungen von Scheydt (Scheydt Jennifer C. et al. 2015) nach Verfahren B durchzuführen. Dabei sollte der Prüfverlauf weitgehend den Vorgaben der zurückgezogenen DIN 1048-5: 1991, siehe Abbildung 23, angepasst werden, da in Deutschland in der Regel unter diesen Randbedingungen ermittelte E-Module in statischen Berechnungen verwendet werden.

Die Entscheidung über die Verfahrenswahl, den Spannungsverlauf sowie die Vorlagerung obliegt dem Fachingenieur/der Fachingenieurin. Das festgelegte Vorgehen sollte begründet und mit der Tragwerksplanung abgestimmt werden.

Die Ermittlung der Masse und Dichte sowie die Angabe der gemäß DIN EN 12504-1:2021 festgelegten Informationen zur Probenahme und zur Prüfung sind gemäß DIN EN 12390-13:2021 nur optional zu erfassen. Die Erfassung dieser Kennwerte und Informationen sollte zur Verifizierung der Prüfergebnisse und für die mögliche Verwendung in statischen Betrachtungen vereinbart werden.

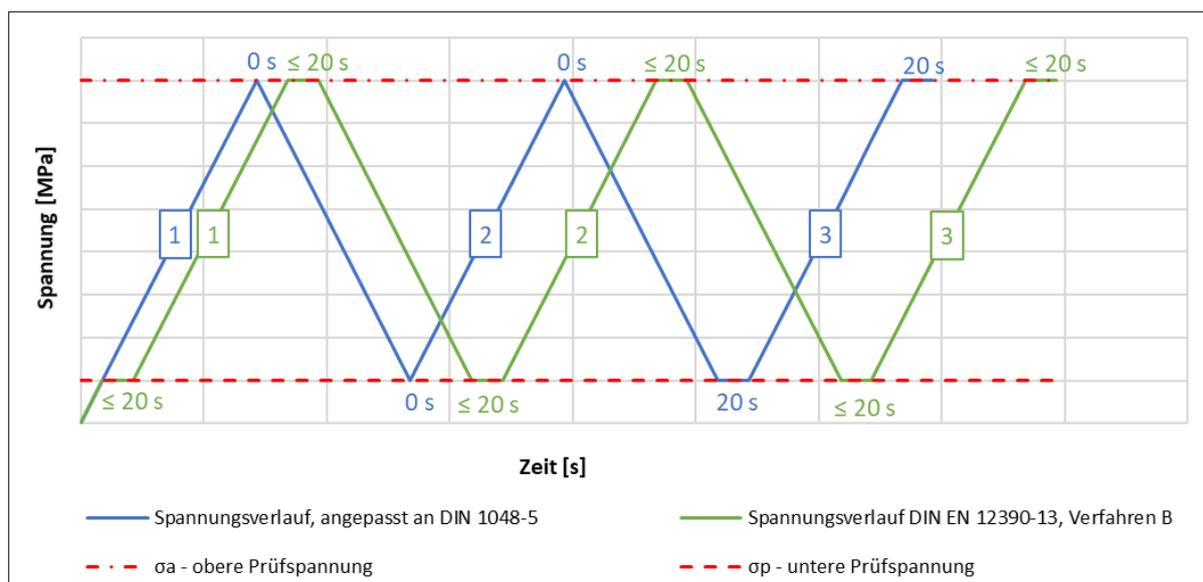


Abbildung 23: Anpassung des Belastungs-Zeit-Diagramms der DIN EN 12390-13 (Verfahren B) an DIN 1048-5: 1991 gemäß Scheydt (Scheydt Jennifer C. et al. 2015)

8.8.6 Carbonatisierung

Im carbonatisierten Beton geht der passive Korrosionsschutz der Bewehrung durch den umgebenden Beton verloren. Die mittlere Carbonatisierungstiefe zum Untersuchungszeitpunkt ist die Eingangsgröße zur Bewertung der Dauerhaftigkeit des Betons und der Restnutzungsdauer des Bauwerks/Bauteils hinsichtlich carbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion gemäß BAWMerksblatt MDCC (BAW 2019a). Die Vorgaben des Merksblattes sind entsprechend zu beachten.

Bei Betonen mit hohem Hüttensandanteil wird der Frost-Tausalz-Widerstand der Betonrandzone durch die Carbonatisierung negativ beeinflusst, siehe dazu auch Kapitel 8.8.9.

Die Feststellung der Carbonatisierungstiefe zur Bewertung der Restnutzungsdauer hinsichtlich carbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion erfolgt in der Regel gemäß DIN EN 14630 am Bauwerk, siehe Kapitel 8.4.3. Zusätzlich zur Prüfung am Bauwerk kann es sinnvoll sein, die Carbonatisierungstiefe am Kopf entnommener Bohrkerne (Bauteiloberfläche) zu bestimmen. Es sind dazu frische Bruchflächen im Labor herzustellen und die Carbonatisierungstiefe gemäß DIN EN 14630 zu ermitteln. Der Einfluss der Lagerungsart und -dauer im Zeitraum zwischen Entnahme und Prüfung auf die Messergebnisse sind bei dieser Vorgehensweise durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin zu bewerten.

Bei besonderen Fragestellungen, wie z. B. bei Untersuchungen im Zusammenhang mit Frost- und Tausalzschäden, kann auch eine genaue Bestimmung der Carbonatisierungstiefe am Dünnschliff unter dem Polarisationsmikroskop erforderlich werden.

8.8.7 Abreißfestigkeit

Die Abreißfestigkeit der Betonoberfläche ist neben der mittleren Betondruckfestigkeit ein wesentlicher Parameter zur Festlegung der Altbetonklasse gemäß ZTV-W LB 219. Die Altbetonklasse ist die Basis zur Wahl eines geeigneten Instandsetzungsverfahrens sowie Grundlage für die Produktauswahl.

Für die Planung eines Oberflächenabtrages kann es hilfreich sein, die erreichbare Altbetonklasse in der geplanten Abtragstiefe über Abreißversuche im Labor abzuschätzen, oder eine erforderliche Abtragstiefe über tiefengestaffelte Abreißprüfungen an Bohrkernen abzuleiten. Die Abschätzungen erfolgen jeweils in Verbindung mit den ermittelten mittleren Betondruckfestigkeiten.

Versuchsdurchführung und Dokumentation erfolgen entsprechend DIN EN 1542 und ZTV-W LB 219. Die projektspezifischen Randbedingungen für die Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin im Prüfplan festzulegen. In der Regel können die Prüfungen im Labor an trocken (bei 20 ± 2 °C) gelagerten Prüfkörpern durchgeführt werden. Die zu untersuchenden Tiefenlagen im Bohrkern können durch Sägeschnitte hergestellt werden und die Prüfung nach Herstellung der Ringnut auf der Schnittfläche erfolgen. Lagerungsart und -dauer sind zusätzlich zu den Vorgaben der DIN EN 1542 und ZTV-W LB 219 von der Bohrkernentnahme bis zur Prüfung zu dokumentieren, um zur Bewertung der Prüfergebnisse herangezogen werden zu können.

8.8.8 Chloridbelastung

Mit Überschreitung eines kritischen Chloridgehalts in der Tiefe der Bewehrungsoberfläche ist der passive Korrosionsschutz der Bewehrung durch den umgebenden Beton nicht mehr gegeben. Die Bestimmung des bauwerksspezifischen Chloridprofils ist die Basis zur Bewertung der Dauerhaftigkeit des Betons und zur Abschätzung der Restnutzungsdauer eines Bauteils hinsichtlich chloridinduzierter Bewehrungskorrosion gemäß BAWMerkblatt MDCC (BAW 2019a). Die Vorgaben des Merkblattes sind entsprechend zu beachten.

Die Ermittlung des Gesamtchloridgehaltes an den aus dem Bauwerk gewonnenen Bohrmehlproben, siehe Kapitel 8.4.4, kann nach DIN EN 14629 durch Titration oder alternativ durch Photometrie in Anlehnung an DIN ISO 15923-1 erfolgen. Die Bohrmehlproben sind analog zu DIN EN 14629 vor der Prüfung mit heißer, verdünnter Salpetersäure aufzuschließen.

Die Probengewinnung kann alternativ zur Bohrmehlentnahme aus dem Bauwerk auch mittels aus Bohrkernen trocken herausgeschnittenen Scheiben im Labor erfolgen. Sollen im Nassbohrverfahren gewonnene Bohrkernkerne zur Ermittlung von Chloridprofilen an Scheiben verwendet werden, wird empfohlen, abweichend von den Vorgaben der DIN EN 14629:2007 Bohrkernkerne mit einem Mindestdurchmesser von 80 mm zu entnehmen. Der mögliche Einfluss der Bohrspülung auf das Prüfergebnis durch Auslaugung der Betonrandzone des Bohrkerns kann so minimiert werden.

8.8.9 Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Zur Bewertung der Dauerhaftigkeit und der Restnutzungsdauer ist in Abhängigkeit von der Exposition des Betons ggf. der Frost- oder Frost-Tausalz-Widerstand zu ermitteln.

Die Prüfung zur Ermittlung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands des Betons erfolgt nach BAWMerklatt MFB (BAW 2012b).

Es existiert kein Abnahmekriterium für die Bewertung von Probekörpern aus dem Bestand. Die Prüfergebnisse sind gutachterlich in Verbindung mit vertieften Kenntnissen zur Carbonatisierungstiefe der Randzone, der Bindemittelart, der Betonzusammensetzung sowie der Porosität zu bewerten.

8.8.10 AKR-Restdehnungspotential

Wasserbauwerke mit Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Beton sind nicht nur in den seit langem als kritisch bekannten Bereichen im Norden und Osten Deutschlands, sondern nahezu bundesweit anzutreffen. Die für eine AKR erforderliche Feuchtigkeit steht in Wasserbauwerken fast immer in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Zur Beurteilung eines schädigenden Reaktionspotentials werden Bohrkernabschnitte in einer Nebelkammer in Anlehnung an die DAfStB-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“, (DAfStB 2013), über ca. 9 Monate gelagert und hinsichtlich ihres Restdehnungspotentials und Gefügeveränderungen untersucht. Im Allgemeinen sind zusätzliche mikroskopische Untersuchungen und Festigkeitsprüfungen erforderlich. Bei der Durchführung der Untersuchungen sind die Empfehlungen des DAfStB (Arbeitskreis 2 des DAfStB 2015) für die Schadensdiagnose und Instandsetzung von Betonwerken, die infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigt sind, zu beachten.

Bei der Planung und Durchführung von Untersuchungen zum AKR-Restdehnungspotential ist besonders auf die Lagerung der Prüfkörper nach der Entnahme sowie auf einen umgehenden Transport ins Prüflabor zu achten. Bohrkern aus einem AKR-geschädigten Beton müssen nach der Entnahme so gelagert werden, dass die Oberflächen rasch abtrocknen können. Es wird empfohlen, diese Kerne vor Niederschlag geschützt in offenen Kernkisten zu lagern. Keinesfalls dürfen die Kerne in Folie eingeschlagen werden. Um eventuelle Veränderungen im Zeitraum bis zum Beginn der Laboruntersuchungen erkennen und berücksichtigen zu können (z. B. Treibrissbildungen und Gelausscheidungen), empfiehlt sich eine einfache Fotodokumentation unmittelbar nach der Entnahme.

Bei Verdacht auf eine schädigende AKR sollte die BAW in die Planung der Probenahme und Prüfung der Bohrkern einbezogen werden.

8.8.11 Scherfestigkeit

Bei der Bewertung der Standsicherheit von Wasserbauwerken ist die Untersuchung der Sicherheit gegenüber „Gleiten in der Arbeitsfuge“ gemäß DIN EN 1992-1-1 ein zentraler Nachweis. Hierbei bleiben jedoch insbesondere bei der Annahme der Reibungsbeiwerte die speziellen Verhältnisse im Wasserbau unberücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund befasst sich die BAW seit 2012 mit der Bestimmung belastbarer, wasserbauspezifischer Scherparameter zum Führen statischer Sicherheitsnachweise unbewehrter Arbeitsfugen. Für die Prüfung steht in der BAW ein Rahmenschergerät zur Verfügung. Aus den experimentell hergeleiteten Scherfestigkeiten lässt sich auf den Bemessungswert der Schubtragfähigkeit der Fuge gemäß DIN EN 1992-1-1 schließen. Ferner kann der Reibungskoeffizient berechnet werden.

Erforderliche Versuche zur Bestimmung von Scherparametern können derzeit ausschließlich an der BAW durchgeführt werden. Die BAW ist in die Planungsphase der Bohrkernentnahme sowie in die Probenahme einzubeziehen.

8.8.12 Porositätskennwerte

Die Ermittlung von Porositätskennwerten kann im Hinblick auf die Abschätzung der dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften wichtige Erkenntnisse liefern.

Wesentliche Kennwerte sind:

- Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck, W_{aA}
- Wasseraufnahme unter Druck bei 15 N/mm^2 , W_{a15}
- kapillarer Wasseraufnahmekoeffizient /kapillare Wasseraufnahme W_{ak}
- Porengrößenverteilung mittels Quecksilberporosimetrie nach DIN ISO 15901-1 und DIN 66139
- Wassereindringtiefe unter Druck in Anlehnung an DIN 12390-8

Die Ermittlung der drei erstgenannten Eigenschaften kann nach Heft 422 des DAfStb (DAfStb 1991) erfolgen.

Die Bestimmung der Wassereindringtiefe unter Druck ist in Anlehnung an DIN 12390-8 durchzuführen. Da es sich abweichend von der Norm DIN 12390-8 nicht um gesondert hergestellte Prüfkörper handelt, die nach dem Entschalen bis zur Prüfung unter Wasser gelagert werden, sind die Prüfkörper vor Durchführung der Prüfung bis zur Sättigung unter Wasser zu lagern. Um eine vollständige Sättigung der Proben zu gewährleisten, wird eine Lagerungsdauer von 7 d empfohlen. Bei der Wahl des Bohrkerndurchmessers ist die Anforderung der Norm zum Verhältnis der Prüfflächengröße zum Durchmesser der Prüfoberfläche (Bohrkerndurchmesser) zu beachten.

8.8.13 Bindemittelart und -menge

Das verwendete Bindemittel oder die Bindemittelkombination können Einfluss auf aktive oder ruhende Schadensmechanismen und die Auswahl geeigneter Instandsetzungssysteme haben. Die Art des vorhandenen Bindemittels sowie ggf. auch die Abschätzung der ungefähren Menge können dabei wichtige Untersuchungsparameter sein.

Oft geben einfache Verfahren, die durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin selbst bzw. durch ein allgemeines Baustofflabor ausgeführt werden können, eine ausreichende Auskunft über das verwendete Bindemittel:

- Farbe des Zementsteins (Portlandzemente: graue Färbung, Hüttensandhaltige Zemente: bläulich)
- Geruchtest bei Kontakt mit verdünnter Salzsäure (9:1) oder Phosphorsäure (9:1) (Portlandzement: Kohlendioxid, geruchslos, leicht sauer, Hüttensandhaltige Zemente: Schwefelwasserstoff, markant nach faulen Eiern)
- Photometrische Bestimmung des Gesamtsulfatgehaltes nach DIN ISO 15923-1 am Bohrmehl (Hinweise auf löslichen Gipsgehalt oder Thuramentproblematik)

Die Ermittlung der Bindemittelmenge und der Betonzusammensetzung ist in der Regel nur zur Klärung und/oder Bewertung von Schadensmechanismen erforderlich. Die nachträgliche Bestimmung der Betonzusammensetzung ist in der Normenreihe DIN 52170 (DIN 52170-1; DIN 52170-2; DIN 52170-3; DIN 52170-4) geregelt. Zusätzlich stehen verschiedene Verfahren, wie die Verbrennungsanalyse (C/S-Analytik) nach DIN EN ISO 15350, die thermogravimetrische Simultananalyse (TG-DTA) nach DIN 51006 und DIN 51007 zur Verfügung. Die Verfahrensauswahl richtet sich nach der jeweiligen Fragestellung. Ggf. ist eine Kombination aus verschiedenen Untersuchungsverfahren erforderlich. Vorgaben zur Wahl des Verfahrens

bzw. der erforderlichen Verfahrenskombination sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin festzulegen.

Die Vorgehensweise bei der Untersuchung von Betonen mit Verdacht auf erhöhte Gipsanteile, wie Thurament und Sulfathüttzemente, ist im BAWBrief „Empfehlungen zu Untersuchung und Instandsetzung thurament- und sulfathüttzementhaltiger Betone“ (Amthor 2012) beschrieben.

8.8.14 Betonstahluntersuchungen

Betonstahluntersuchungen sind sowohl zur Bewertung der Dauerhaftigkeit als auch der Tragfähigkeit eines Bauwerkes erforderlich. Wesentliche Untersuchungsziele sind:

- visueller Zustand, Korrosionsart
- Restquerschnitt
- Versagensart der Bewehrung
- mechanische Kennwerte (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Verhältnis Zugfestigkeit zur Streckgrenze, Dehnung bei Höchstlast)
- chemische Zusammensetzung, ggf. Nachweis der Schweißbarkeit

Sowohl zum Nachweis der Korrosionsart als auch zur Bestimmung des Restquerschnitts sind die Korrosionsprodukte vollständig von der Oberfläche zu entfernen. Das Entfernen der Korrosionsprodukte kann entsprechend DIN EN ISO 8407 erfolgen. Bewährt hat sich für normalen Betonstahl das Verfahren C.3.1.

Kann der Restquerschnitt eines Bewehrungsstabes nicht hinreichend genau mittels Ausmessen mit einem Messschieber bestimmt werden, sind Anschliffe zur mikroskopischen Auswertung anzufertigen. Gleiches gilt für die Bestimmung der Versagensart. Ist eine visuelle Einschätzung der Versagensart nicht ausreichend, sind mikroskopische Untersuchungen des Bruchgefüges erforderlich, vorausgesetzt, die Bruchflächen sind nicht zu stark korrodiert.

Im BAWMerksblatt TbW (BAW 2016) werden sowohl Hinweise zur Vorgehensweise als auch zur erforderlichen Mindestprobenanzahl für die Bestimmung erforderlicher mechanischer Eigenschaften von Bewehrungsstahl/Betonstahl gegeben.

Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung erfolgt im Allgemeinen durch spektrometrische Verfahren (DIN EN ISO 15630-1). Nach DIN EN ISO 15630-1 ist bei Unstimmigkeiten über das geeignete Analyseverfahren ein geeignetes Referenzverfahren festzulegen. Entsprechende Referenzverfahren sind in der Norm aufgeführt.

9 Untersuchungen am Stahlbau und des Korrosionsschutzes

9.1 Typische Untersuchungsbereiche

Die Untersuchungsbereiche für den Stahlbau und für die Beschichtung sind im Wesentlichen Verschlüsse an Schiffsschleusen- und Wehranlagen. Jedoch können auch Stahl- und Beschichtungsproben an Spundwänden, Kanalbrücken, Hebewerken, Revisionsverschlüssen, Dükern und Ausrüstungsteilen entnommen werden. In Sonderfällen sind auch weitere Bauwerke wie Leuchttürme und Schifffahrtszeichen, die in der Unterhaltungslast der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung liegen, relevant. Die Entnahme- und Untersuchungsstellen sollten von dem Fachingenieur/der Fachingenieurin so geplant werden, dass wesentliche Teile eines Verschlusses wie z. B. Stauwand, Haupttragriegel oder Schotte erfasst werden. Bei der Planung der Entnahme sollte berücksichtigt werden, dass so wenige Stahlproben wie möglich, aber so viele wie für eine gesicherte statistische Aussage notwendig, entnommen werden. Es sollte ein aussagekräftiger Stichprobenumfang erreicht werden, der die Beurteilung des Stahls und der Beschichtung gewährleistet. Bei Schadensfällen (Risse, Materialbrüche) empfiehlt es sich, Proben am geschädigten Bauteil zu entnehmen, um anhand der Materialuntersuchungen die Schadensursache festzustellen oder zu verifizieren. Erfahrungsgemäß sind an den unter Wasser liegenden Bereichen stärkere Abnutzungserscheinungen an der Beschichtung zu erwarten und ggf. auch stärkere Abrostungen an den Stahlbauteilen. Diese können die Probenherstellung beeinträchtigen.

Im BAWMerksblatt MBI, Anlage 2 (BAW 2010) sind für etliche Stahlbauverschlüsse die wesentlichen Bauteile benannt. Abbildung 24 zeigt beispielhaft die wesentlichen Bauwerksteile eines Stemmtors.

Für die Festlegung der Entnahmestellen sollten die im Merksblatt verwendeten Begriffe genutzt werden.

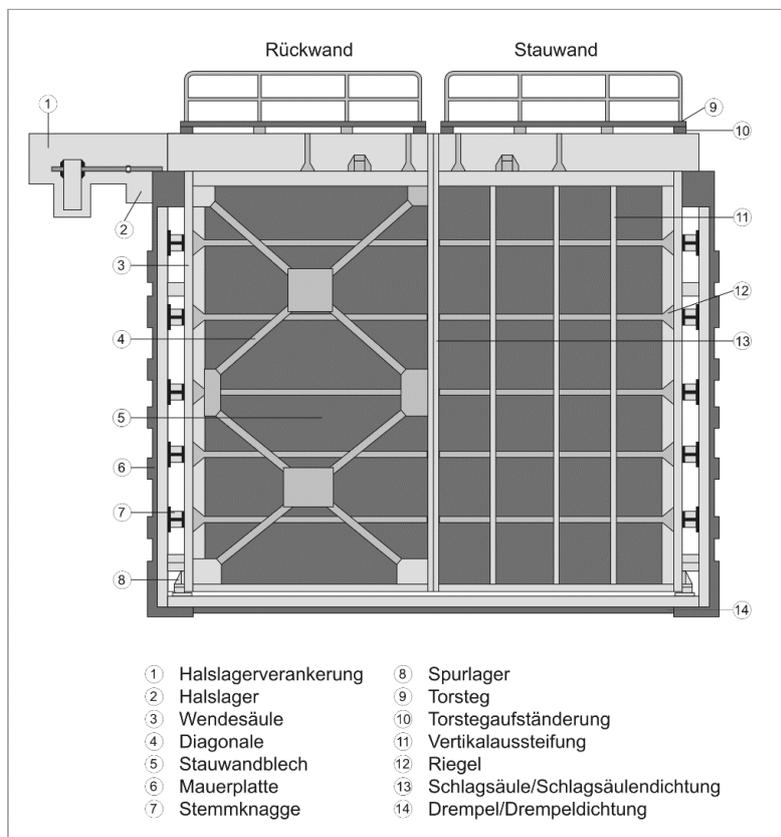


Abbildung 24: Stemmtor mit den wesentlichen Bauwerksteilen (BAW 2010)

9.2 Abgleich der Bauwerksgeometrie

Die vorhandenen Planunterlagen sollten in Vorbereitung der Bauwerksuntersuchung und ggfs. der Materialuntersuchung mit dem konkreten Bauwerk vor Ort abgeglichen werden. Das wesentliche Ziel des Abgleichs besteht in der gesicherten Feststellung der Bauteilgeometrie, die eine Auswirkung auf die tatsächlichen Einwirkungen und die Tragwerkswiderstände hat. Das Aktualisieren der Geometrie ist daher besonders wichtig.

Stellt sich heraus, dass in den Unterlagen Angaben fehlen oder unplausibel erscheinen, sind diese zu ergänzen und bei Bedarf anzupassen.

Für die Erkundung der Geometrie stehen in einfachen Fällen Gliedermaßstab, Bandmaß, Laserdistanzmessgerät, Schieblehre, Lot, Wasserwaage mit Neigungsanzeige und Schlauchwaage zur Verfügung. In Abhängigkeit von den erforderlichen Genauigkeitsangaben und zur Vermessung größerer Bauteile kommen die klassischen geodätischen Verfahren mit Tachymeter, ggf. auch nur Theodolit oder Nivelliergerät zum Einsatz.

9.3 Zerstörungsfreie Prüfverfahren am Stahlbau und Korrosionsschutz

9.3.1 Übersicht und Anwendungsbereiche

Mittels zerstörungsfreier Prüfungen können spezielle Fragestellungen, auf die nachfolgend eingegangen wird, bearbeitet werden. So können durch zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Röntgen-, Ultraschall- oder magnetinduktive Verfahren Risse oder weitere Schäden in Schweißnähten und im Grundmaterial festgestellt werden. Risse, die bis zur Oberfläche eines Bauteils reichen, können mit dem Farbeindringverfahren sichtbar gemacht werden.

Nicht jedes nachfolgend aufgeführte Verfahren wird bei einer Bauwerksuntersuchung eingesetzt. Die Auswahl der Verfahren ist abhängig von der konkreten Fragestellung oder vom Schaden. In Tabelle 7 sind die typischen Verfahren und Anwendungsbereiche im Verkehrswasserbau gegenübergestellt. Zusätzliche Informationen und weitere Verfahren finden sich im ZfP-Bau Verfahrenskatalog (DZSF 2021).

Beim Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren ist darauf zu achten, dass das Prüfpersonal über eine entsprechende Qualifikation für das jeweilige Verfahren verfügt. Die DIN EN ISO 9712 regelt die Personalqualifizierung für die zerstörungsfreien Prüfverfahren mit Stufen von 1, mit den niedrigsten Anforderungen, bis 3. Die Prüfer für die zerstörungsfreien Prüfverfahren sollten mindestens die Qualifizierung der Stufe 1 (Prüfen nach Prüfanweisung) besitzen.

Alle Bereiche, an denen chemische Analysen oder zerstörungsfreie Prüfungen am Bauwerk erfolgen, sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Dazu ist auch ein Foto/Zeichnung der gesamten Konstruktion erforderlich, auf der die Analyseorte benannt werden.

Eine Auswertung und Bewertung der Ergebnisse sollte durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin erfolgen. Die Durchführung der Kalibrierungen, der Prüfungen und die daraus gewonnenen Ergebnisse sind zu dokumentieren. Die Dokumentation ist Teil des Prüfauftrages und der Auftraggeberin zu übergeben.

Tabelle 7: Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Stahlbau und Korrosionsschutz

Lfd. Nr.	Verfahren	Anwendungsbereich		
		gut geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
1	Sichtprüfung für Stahlbau und Korrosionsschutz	Oberflächenschäden am Stahl und Korrosionsschutz, Verformungen, Korrosion		
2	Klopfprobe (mit Hammer) für Stahlbau	Lose Niete und Schrauben, Materialschäden		Lose Beschichtung
3	Farbeindringprüfung für Stahlbau	Fehlstellen, die zur Oberfläche des Bauteils hin offen sind		Risse im Inneren von Blechen und Profilen oder Schweißnähten
4	Magnetpulverprüfung für Stahlbau	Oberflächen- oder oberflächennahe Risse im Stahl, Schlackeneinschlüsse		Rissdetektion im Inneren von Blechen und Profilen oder Schweißnähten
5	Wirbelstromverfahren für Stahlbau	Oberflächennahe Risse im Stahl		
6	Ultraschallverfahren für Stahlbau oder Korrosionsschutz	Rissdetektion, Bauteildicke Stahl, Schichtdicke Korrosionsschutz	Für Rissdetektion bei Stumpfnähten spezieller Prüfkopf erforderlich	
7	Durchstrahlungsprüfung für Stahlbau	Risse, Lunker, Poren in Schweißnähten (Stumpfnähte)		Schlechte Zugänglichkeit bei Kehlnähten.
8	Funkenemissionsspektrometer für Stahlbau	Chemische Analyse an der Bauteiloberfläche bei eingebauter Konstruktion	Chemische Analyse über Bauteilquerschnitt (nur an entnommenen Proben möglich)	
9	Magnetisch-induktive Verfahren für Korrosionsschutz	Schichtdicke Korrosionsschutz		Rissdetektion im Inneren von Blechen und Profilen oder Schweißnähten
10	Wirbelstromverfahren für Korrosionsschutz	Schichtdickenmessung Korrosionsschutz		

9.3.2 Sichtprüfung für Stahlbau und Korrosionsschutz

Durch eine Sichtprüfung können augenscheinliche Schäden wie z. B. Abrostungen, Risse und fehlende Verbindungsmittel festgestellt und dokumentiert werden. Für die augenscheinliche Schadenaufnahme sollte immer auch das BAWMerklblatt „Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV)“ (BAW 2023a) mit hinzugezogen werden.

Die Sichtprüfung muss zur konkreten Erfassung eines Mangels oder Schadens und deren Ursache handnah und am gesäuberten Bauteil erfolgen. Die DIN EN 13018 und DIN EN ISO 17637 sind anzuwenden. Für die Sichtprüfung wird eine ausreichende Beleuchtung der zu inspizierenden Bereiche benötigt. Es können Lupe, Spiegel oder Endoskop (direkte Sichtung bei schlecht zugänglichen Spalten oder Hohlräumen) genutzt werden. Auffälligkeiten, Mängel oder Schäden, welche bei der Sichtprüfung festgestellt werden, sind schriftlich und mit Foto zu dokumentieren. Die Lage im Bauwerk ist eindeutig zu beschreiben.

Bei Verankerungen (z. B. Spundwandanker) oder Bauteilen aus Stahl im Boden kann der unter Bodenniveau liegende Teil nur nach einem frei legen (Bodenaushub) der Verankerung inspiziert werden. Diese Inspektionen müssen im Vorfeld einer Sichtprüfung geplant, festgelegt und vorbereitet werden.

Zeigt sich bei einer Sichtprüfung, dass keine gravierenden Mängel oder Schäden vorliegen, kann von einer Materialentnahme abgesehen werden. Lediglich bei Altkonstruktionen sollten zur Verifizierung des Materials Proben gemäß BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) entnommen werden.

Da die Bauwerke der WSV i. d. R. trockenlegbar sind, kann die direkte Sichtprüfung normalerweise bei guter Zugänglichkeit schnell durchgeführt werden. Der Einsatz der indirekten Sichtprüfung ist nur im Einzelfall erforderlich. Bei der indirekten Sichtprüfung kommen Foto- und Videotechnik oder automatisierte Systeme einschließlich Roboter (ROV) zum Einsatz, siehe dazu Kapitel 11.

9.3.3 Klopffprobe - Stahlbau

Die Klopffprobe ist ein nicht geregeltes Verfahren und beruht auf der Erfahrung der Prüfenden. Mit einem Stahlhammer können Schrauben und Niete angeschlagen werden. Anhand des Tones kann dann beurteilt werden, ob der Niet oder die Schraube noch fest sitzen. Erfahrene Prüfende können mit dieser Methode auch erkennen, ob einbetonierte Plattformpoller im augenscheinlich nicht sichtbaren Bereich noch intakt sind.

9.3.4 Farbeindringverfahren - Stahlbau

Das Farbeindringverfahren ist nach DIN EN ISO 3452 genormt. Mit diesem können Fehler, wie Poren, Risse, Bindefehler, Überlappungen und Falten, die zur Oberfläche hin offen sind, angezeigt werden. Das Verfahren ist für die im Stahlwasserbau eingesetzten Stähle anwendbar. Es kann gut vor Ort angewendet werden, jedoch nur bei Fehlstellen, die zur Bauteiloberfläche hin offen sind.

Zur Prüfung wird nach der Reinigung durch vorsichtiges Abschleifen, oder besser durch Abbeizen des Korrosionsschutzes der Oberfläche das Eindringmittel (rot) auf die zu prüfende Stelle aufgebracht. Dieses Eindringmittel kriecht in vorhandene Risse oder Poren. Nach einer vorgegebenen Wartezeit wird das verbliebene Eindringmittel mit Wasser von der Oberfläche gespült. In vorhandenen Rissen oder Poren bleibt das Eindringmittel zurück. Nach Auftrag eines Entwicklers werden die Reste des stark kontrastierend gefärbten Eindringmittels an der Oberfläche sichtbar.

Einflussgrößen:

- Temperatur
- Rauigkeit der Oberfläche
- Beleuchtung
- Qualität der Zwischenreinigung

Messbereich:

- Rissöffnungen ab 0,1 mm bis 1 mm bei Risstiefen größer 2 mm
- gesamte Risslänge (über die augenscheinliche Risslänge hinaus Farbe auftragen, um die Rissspitze sicher zu erfassen)

Vorteile:

- einfaches Verfahren mit geringem materiellem Aufwand
- Verfahren bei nicht magnetischen Materialien einsetzbar
- gute Fehleridentifikation

Nachteile:

- neuer Oberflächenschutz durch Freilegung der Oberfläche notwendig
- viele Einflussfaktoren auf das Ergebnis (Prüfperson, Oberflächenvorbereitung, Material und Zugänglichkeit)
- Oberfläche muss frei von Korrosionsprodukten und Beschichtungen sein
- Anzeige nur von Rissen oder Fehlern, die zur Oberfläche hin offen sind
- keine sichere Detektion bei Rissen, die mit Korrosionsprodukten gefüllt sind,
- zeitaufwendig, da Wartezeiten einzuplanen sind
- erhöhte Fehleranfälligkeit aufgrund ungenügender Oberflächenvorbereitung oder fehlerhafter Zwischenreinigung

9.3.5 Magnetpulverprüfung - Stahlbau

Das Magnetpulververfahren nach DIN EN ISO 9934-1 wird zum Auffinden von Rissen an der Oberfläche, von oberflächennahen Rissen oder von Schlackeneinschlüssen bei ferromagnetischen Materialien angewendet. Risse ab 0,01 mm Breite werden angezeigt.

Der Magnetismus des Stahls wird bei der Magnetpulverprüfung genutzt. Durch einen Handmagnet (z. B. einen Jochmagnet) erfolgt die Magnetisierung des Bauteils aus Stahl. Ein örtlich begrenzter Bereich wird mit einer Suspension, bestehend aus Eisenpulverteilchen in einer Trägerflüssigkeit, eingesprüht. Die Eisenpulverteilchen folgen den magnetischen Feldlinien. Befindet sich ein zur Oberfläche geöffneter oder ein oberflächennaher Riss im Bauteil, weichen die magnetischen Feldlinien diesem Riss aus, es entstehen Streufelder an der Materialoberfläche. Nur Risse senkrecht zu den Magnetfeldlinien erzeugen das nötige Streufeld. Verlaufen die magnetischen Feldlinien ungestört und parallel, liegt kein Oberflächenriss vor.

Einflussgrößen:

- Lage unterhalb der Oberfläche (Risse, die mehr als 0,2 mm unter der Oberfläche liegen, werden nicht angezeigt)
- Magnetisierungsfeldstärke
- Magnetisierungsrichtung (Parallel zu den Feldlinien verlaufende Risse erzeugen kein Streufeld und können daher nur bei einer Stromdurchflutung nachgewiesen werden.)

Messbereich:

- Messbereich begrenzt durch Abmessung des Jochmagnets (detaillierte Prüfplanung erforderlich)
- geringe Tiefenwirkung, Fehleranzeige bis ca. 0,2 mm unterhalb der Bauteiloberfläche möglich

Vorteile:

- sehr genaue Ergebnisse bzw. höchste Empfindlichkeit zur Detektion von Oberflächenrisse
- geringer Materialaufwand

Nachteile:

- neuer Oberflächenschutz durch Freilegung der Oberfläche notwendig
- Aufsetzbarkeit des Jochs bei komplizierter Geometrie nicht möglich
- nur ferromagnetische/magnetisierbare Werkstoffe sind prüfbar
- keine Detektion von Rissen deutlich unterhalb der Bauteiloberfläche
- bedingt einsetzbar bei vertikalen Flächen

9.3.6 Wirbelstromverfahren - Stahlbau

Mit dem Wirbelstromverfahren gemäß DIN EN ISO 15549 können Werkstofffehler an oder geringfügig unter der Oberfläche von Metallen und Schweißnähten erfasst werden. Das Verfahren erfasst auch für das Auge unsichtbare Fehler. Hauptbestandteil des Verfahrens ist eine Spule, durch die Wechselstrom fließt und ein Magnetfeld erzeugt. In entsprechender Nähe zu einem metallischen Werkstoff/Bauteil erzeugt das Magnetfeld einen Wirbelstromfluss. Das Ausmaß dieses Wirbelstromflusses hängt von der Geometrie und der elektrischen Leitfähigkeit des Metalls ab. Werkstofffehler an oder knapp unterhalb der Bauteiloberfläche führen zu einer Änderung des Wirbelstromflusses.

Da der Wirbelstromfluss selbst ein Magnetfeld erzeugt, das das Magnetfeld der Prüfspule beeinflusst, kommt es zu Änderungen der Impedanz (Wechselstromwiderstand) der Spule. Diese Änderungen können von mit der Spule verbundenen Messgeräten erfasst werden. Werkstofffehler, wie z. B. Risse, können durch diese Impedanzänderung erkannt werden.

Einflussgrößen:

- Eindringtiefe des Wirbelstromes (Wirbelströme werden durch Prüffrequenz beeinflusst)
- Temperatur
- elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffes
- magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) des Werkstoffes
- Form, Größe und Lage der Schädigung im Material
- Anpassung des Sensors an Geometrie des Prüfstücks
- Oberflächenrauheit
- Abheben oder Kippen des Sensors

Messbereich:

- 0,5 mm bis 10 mm (Frequenzabhängige Risstiefe)

Vorteile:

- Anwendung auch bei vorhandener Beschichtung möglich
- kontaktlose Anwendung
- hohe Prüfgeschwindigkeit
- gute Prüfempfindlichkeit

Nachteile:

- Vergleichsfehlerverfahren (nur zum Auffinden von erwarteten Fehlern sinnvoll)

9.3.7 Ultraschallverfahren - Stahlbau

Um die Tragfähigkeit von Stahlkonstruktionen mit Querschnittsverlust abschließend bewerten zu können, sollten Restwanddickenmessungen mittels Ultraschallmessungen durchgeführt werden. Dies können stichprobenartige Messungen an tragrelevanten (primären) Bauteilen sein, wenn augenscheinlich keine Abrostungen feststellbar sind, aber auch – bei augenscheinlichen Abrostungen – Rastermessungen über den gesamten Verschluss. Dopplungen und Fehlstellen in Blechen können mit dem Ultraschallverfahren sichtbar gemacht werden. Allerdings sollte dies nur bei einem begründeten Verdacht oder einer Schadensanzeige erfolgen. In den letzten Jahren kamen Ultraschallmessgeräte auf dem Markt, die kein Abschleifen der Beschichtung mehr benötigen. Zudem sind diese Geräte in der Lage, die Messwerte zur weiteren Bearbeitung und Auswertung direkt aufzuzeichnen.

Bei Ultraschallprüfungen für Restwanddickenmessungen an Spundwänden und deren Auswertung ist die Komplexität des Abrostungsverhaltens (Abhängigkeiten von z. B. Spundwandalter und Korrosionszonen) mit zu berücksichtigen.

In der DIN EN ISO 16810 sind die Grundlagen des Verfahrens geregelt. Die DIN EN ISO 16826 regelt die Ultraschallprüfung bei Inhomogenitäten senkrecht zur Oberfläche und die DIN EN ISO 17640 die Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen einschließlich der Prüfklassen und der Bewertung. Bei Restwanddickenmessungen an Spundwänden ist die BAWEmpfehlung ESM (BAW 2022b) anzuwenden und sollte bei der Erstellung der Vergabeunterlagen berücksichtigt werden.

Das Ultraschallverfahren beruht auf der Erzeugung mechanischer Impulse und deren gesetzmäßiger Ausbreitung als elastische Wellen im Bauteil. Durch Schichtgrenzen oder andere Reflektoren wie Schlackeeinschlüsse werden die Wellen reflektiert. An Luftschichten erfolgt eine Totalreflexion. Die Anwendung des Ultraschallverfahrens zeigt Fehler im Materialquerschnitt auf. Bei einer beidseitigen Zugänglichkeit kann das Verfahren als Durchschallungsverfahren angewandt werden. Da im Verkehrswasserbau im Allgemeinen jedoch nur eine einseitige Zugänglichkeit zum Bauteil möglich ist, kommen im Wesentlichen Ultraschall-Echo-Verfahren zum Einsatz.

Einflussgrößen:

- Geräteverstärkung/Empfindlichkeitsjustierung
- Bauteilabmessung
- Fehlerorientierung
- frequenzabhängige Schallschwächung

Messbereich:

- bis 400 mm Stahldicken (je nach Ultraschallgerät)

Vorteile:

- Detektion von Inhomogenitäten im Querschnitt
- Stahldickenbestimmung bei einseitiger Zugänglichkeit
- Standardverfahren zur Prüfung von Schweißnähten auf innere Unregelmäßigkeiten

Nachteile:

- vor der Prüfung sollten Fehlertyp, Fehlerlage und Orientierung hinlänglich bekannt sein, ansonsten zu aufwendig und unwirtschaftlich
- Untersuchung von Oberflächenrissen mit Ultraschall nur mit speziellem Prüfkopf möglich

Bei gut zugänglichen Bauteiloberflächen sollte das Wirbelstrom- oder Farbeindringverfahren für Oberflächenrisse angewendet werden.

In den letzten Jahren hat sich das Ultraschallverfahren Phased Array immer mehr durchgesetzt. Die Ultraschallprüfung Phased Array beruht ebenfalls auf dem Impuls-Echo-Verfahren. Bei der Phased Array Prüfung wird ein Ultraschallbündel erzeugt. Aus Laufzeit und Schallschwächung der Echoimpulse in Materialien kann auf das Vorhandensein sowie auf die Dimensionen von möglichen Fehlern geschlossen werden. Der Einschallwinkel des Schallbündels kann programmgesteuert kontinuierlich geändert und dadurch der Prüfbereich ohne Bewegen des Prüfkopfs abgedeckt werden, was den Einsatz von unterschiedlichen Prüfköpfen für unterschiedliche Einschallwinkel überflüssig macht. Die Phased Array Technologie zeichnet sich durch eine erhöhte Prüfgeschwindigkeit, erhöhte Zuverlässigkeit, die Vereinfachung komplexer Prüfabläufe und eine bildgebende Darstellung des Materials aus. Die Wahrscheinlichkeit zum Auffinden von Fehlern ist beim Phased Array-Prüfverfahren höher als bei klassischen Ultraschallprüfverfahren.

Vorteile:

- Fokusabstand, Größe des Fokuspunktes und wechselnde Einschallwinkel wird mittels Software-Steuerung realisiert
- Gruppenstrahlerprüfkopf ermöglicht das Prüfen aus verschiedenen Winkeln
- Gruppenstrahlerprüfkopf erlaubt eine größere Flexibilität bei Werkstücken mit komplexer Geometrie durch Änderung des Schallwinkels
- kürzere Prüfzeiten

Nachteile:

- höhere Prüfkosten
- umfangreichere Schulungen
- nur Stumpfnähte
- beengte Geometrien verhindern den Einsatz des größeren Gruppenstrahlerprüfkopfs

9.3.8 Durchstrahlungsprüfung - Stahlbau

Die Durchstrahlungsprüfung nach DIN EN ISO 5579 ist ein Verfahren zur Darstellung von Material- und Schweißnahtfehlern im Materialquerschnitt. Die Durchstrahlungsprüfung stellt innere Fehler dar und kann durch Röntgen- oder Gammastrahler durchgeführt werden. Der Gammastrahler wird bevorzugt direkt am Bauwerk eingesetzt, da er dichter am Prüfkörper platziert werden kann und keinen Stromanschluss benötigt.

Durchstrahlungsprüfungen werden i. d. R. erst nach einer bekannten Fehleranzeige, z. B. durch Ultraschall, ergänzend durchgeführt. Bei dieser Prüfung wird mit Hilfe einer Röntgenröhre, eines Elektronenbeschleunigers oder eines gammastrahlenden Radionuklids die Dichte der zu prüfenden Stelle auf einem Röntgenfilm abgebildet. Bei unterschiedlichen Dichten zwischen Ungängen und Grundmaterial und/oder Schweißnahtmaterial werden diese Ungängen als Fehler auf dem Röntgenfilm durch Helligkeitsunterschiede (unterschiedliche Schwärzungen) sichtbar.

Kontrast und Schärfe der Röntgenaufnahme sind Einflussgrößen, die die Qualität der Aufnahme maßgeblich bestimmen. Um die Kontrastqualität der Röntgenaufnahme zu bestimmen, verwendet man in der Praxis sogenannte Bildgüteprüfkörper (BPKs).

Abweichung des Einstrahlwinkels von nur 20 % zur Rissoberfläche verschlechtert die Detektierbarkeit der Risspitze. Um eine bessere Detektierbarkeit der Fehlstelle zu erreichen, sollte die Einstrahlung aus mehreren Richtungen erfolgen.

Einflussgrößen:

- Erfahrung des Prüfpersonals
- Strahlungsenergie und Schwärzung (Filmtechnik) (Beeinflussung des Kontrasts und somit der Qualität)
- Aufnahmeanordnung (Beeinflussung der Schärfe und somit der Qualität)
- Bildkörnigkeit (Filmtechnik) (Filmtyp/Signal-Rausch-Verhältnis (Digitaltechnik))
- Einstrahlung aus mehreren Richtungen (Verbesserung der Detektierbarkeit)

Messbereich:

- bis zu 150 mm Dicke (abhängig von der Energie bzw. des Isotops)

Vorteile:

- Verwendung digitaler Speicherfolien verkürzt die Belichtungszeit und damit die Prüfzeit
- Aufzeigen von Fehlern im Querschnitt, die noch nicht die Oberfläche erreicht haben
- keine Oberflächenvorbereitung erforderlich

Nachteile:

- Strahlenschutzbestimmung sind anzuwenden und die daraus resultierenden Strahlenschutzmaßnahmen umzusetzen
- beidseitige Zugänglichkeit des Prüfbereichs erforderlich
- nur durch zertifizierte Prüfpersonen ausführbar

9.3.9 Funkenemissionsspektrometer - Stahlbau

Mit einem Funkenemissionsspektrometer gemäß ISO 14707 kann die chemische Zusammensetzung von Metallen an gereinigten und planen Stahloberflächen vor Ort bestimmt werden. Mit dieser chemischen Analyse des Stahls können Aussagen zur Schweißbarkeit des Stahls getroffen werden. Insbesondere bei Altstählen (Herstellung bis 1957) sind Aussagen bezüglich der Schweißbarkeit erforderlich, wenn an diesen geschweißt werden soll.

Mit dem Funkenemissionsspektrometer kann nur eine chemische Analyse der Oberfläche eines Bauteils erfolgen. Die chemische Zusammensetzung kann sich jedoch über den Querschnitt des Bauteils verändern. Insbesondere bei Altstählen weisen die Seigerungszone in Querschnittsmitteln erhöhte Anteile an Schwefel und Phosphor auf, die sich negativ auf die Schweißbarkeit eines Stahls auswirken. An herausgetrennten Bauteilstücken ist eine chemische Analyse über die Querschnittsfläche möglich.

Zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung wird zwischen dem zu messenden Metallteil und einer Wolframelektrode ein Lichtbogen unter Argon gezündet, der das vorhandene Metall verdampft und Strahlung emittiert, welche aus charakteristischen Spektrallinien besteht. Anhand der Intensität und des Vorhandenseins von Spektrallinien werden die vorhandenen Stahlelemente und deren prozentualer Anteil berechnet. Da direkt an der Oberfläche gemessen wird, muss von dieser der Korrosionsschutz mittels Schleifen entfernt werden. Die Messstelle sollte metallisch blank sein.

Einflussgrößen:

- Zustand der Bauteiloberfläche (Rauigkeit)
- Kompetenz der Prüfperson
- verwendete Elektrode

Messbereich:

- direkt auf Bauteil-/Materialoberfläche

Vorteile:

- nahezu alle Elemente analysierbar
- sehr genaue Analysen möglich
- hohe Reproduzierbarkeit
- Analysen am eingebauten Verschluss möglich

Nachteile:

- neuer Oberflächenschutz durch Freilegung der Oberfläche notwendig
- Probenvorbereitung durch Schleifen (metallisch blank)
- hohe erforderliche Kompetenz der Prüfperson
- bei Einsatz vor Ort lediglich chemische Zusammensetzung der Oberfläche
- Brennfleck auf der Oberfläche (\emptyset ca. 8mm, Tiefe ca. 10 μ m)
- keine Bestimmung von Stickstoff

9.3.10 Magnetisch-induktive Verfahren - Korrosionsschutz

Zur Messung der Schichtdicke eines Korrosionsschutzsystems kann das magnetisch induktive Verfahren gemäß DIN EN ISO 2178 angewendet werden. Dieses Verfahren eignet sich nur für nichtmagnetische Überzüge (z. B. Lacke, Kunststoffe) auf magnetischen Grundstoffen, wie z. B. Stahl.

Bei diesem Verfahren wird mittels Elektromagneten ein elektromagnetisches Wechselfeld mit niedriger Frequenz (z. B. 60 Hz bis 400 Hz) erzeugt. Prüfgeräte sind passend zum notwendigen Messbereich auszuwählen. Die Schichtdicke wird über die Änderung des Magnetfeldes bestimmt.

Einflussgrößen:

- magnetische Leitfähigkeit des Grundmaterials
- Dicke des Grundmaterials
- Oberflächenkrümmung (konkav, konvex)
- Oberflächenrauheit
- äußere elektromagnetische Felder

Messbereich:

- Schichtdicken von 1-10.000 μ m

Vorteile:

- einfache Durchführung
- schnell erzielbare Ergebnisse
- statistische Auswertung im Messgerät bzw. über die Gerätesoftware für PC-Anwendung möglich

Nachteile:

- Einschränkung der Messungen durch Rauheit oder Krümmung

9.3.11 Wirbelstromverfahren - Korrosionsschutz

Das Wirbelstromverfahren nach DIN EN ISO 2360 kann für die Schichtdickenmessung auf nicht magnetischem Grundmaterial (z. B. Aluminium, Zink, Kupfer) eingesetzt werden. Das Verfahren eignet sich für elektrisch isolierende Schichten wie z. B. Lacke, Farben und Kunststoffe. Bei Verschlüssen von Verkehrswasserbauwerken werden die genannten nicht magnetischen Grundwerkstoffe nur selten eingesetzt, so dass dieses Verfahren eine untergeordnete Bedeutung hat.

Bei diesem Verfahren wird ein Wechselfeld mit hoher Frequenz erzeugt und es wird die elektrische Leitfähigkeit des Grundmaterials zur Bestimmung der Schichtdicke des Korrosionsschutzes genutzt. Die Prüfgeräte sind passend zum notwendigen Messbereich auszuwählen.

Einflussgrößen:

- Elektrische Leitfähigkeit des Grundmaterials
- Permeabilität des Grundmaterials
- Oberflächenrauheit
- Oberflächenkrümmung (konkav, konvex)
- äußere elektromagnetische Felder

Messbereich:

- Schichtdicken von 1-10.000 µm

Vorteile:

- einfache Durchführung
- schnell erzielbare Ergebnisse
- sehr sensitiv
- statistische Auswertung im Messgerät bzw. über die Gerätesoftware für PC-Anwendung möglich

Nachteile:

- Einschränkung der Messungen durch Rauheit oder Krümmung

9.4 Zerstörende Prüfverfahren am Korrosionsschutz

9.4.1 Allgemeines

Korrosionsschutzbeschichtung können in einer oder mehreren Schichten ausgeführt werden, die fest auf dem Stahlsubstrat aufgebracht sind. Zur Beurteilung der vorhandenen Beschichtung ist zuerst eine visuelle Zustandsaufnahme erforderlich, mit der i. d. R. alle augenscheinlichen Schadstellen detektiert werden können.

Die Schichtdickenmessung dient der Überprüfung der noch vorhandenen Schichtdicke, welche ggf. durch Abrieb oder Witterung reduziert sein kann. Es stehen sowohl zerstörungsfreie, siehe Kapitel 9.3.10 und Kapitel 9.3.11, als auch zerstörende Messverfahren, siehe Kapitel 9.4.5, zur Verfügung.

Zur ergänzenden Beurteilung der Beschichtung können weitere Prüfungen erforderlich werden, die nachfolgend aufgeführt sind. Mit dem Abreiß-, Gitterschnitt- und dem Kreuzschnittversuch können Aussagen

bezüglich der noch vorhandenen Haftfestigkeit gemacht werden. Diese kann sich mit zunehmender Abnutzung und Unterrostung der Beschichtung ändern.

Die Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftfestigkeit des Korrosionsschutzes und das Keilschnittverfahren sind zerstörende Prüfverfahren, denn in der Regel erfolgt eine Beschädigung des zu prüfenden Korrosionsschutzes. Erfolgen diese Prüfverfahren am Bauteil, ist sicher zu stellen, dass der Korrosionsschutz der beprobten Stellen nach der Prüfung die gleiche Schutzwirkung aufweist, wie der komplette Korrosionsschutz des Bauteils. Die Empfehlung für die Planung und Ausführung von Korrosionsschutzarbeiten im Stahlbau (Arbeitskreis 18 des BMVI 2020) sollte mit herangezogen werden.

In der Tabelle 8 sind die Anwendungsbereiche der typischen Prüfverfahren zusammengefasst und in den folgenden Kapiteln erläutert.

Tabelle 8: Zerstörende Prüfverfahren des Korrosionsschutzes

Lfd. Nr.	Verfahren	Anwendungsbereich
1	Abreißversuch	Haftzugfestigkeit des Korrosionsschutzes
2	Kreuzschnittversuch	Bewertung der Haftfestigkeit des Korrosionsschutzes (Schichtdickenbegrenzung: keine)
3	Gitterschnittversuch	Bewertung der Haftfestigkeit des Korrosionsschutzes (Schichtdickenbegrenzung: bis 250 µm)
4	Keilschnittprüfung	Ermittlung der Schichtdicke des Korrosionsschutzes

9.4.2 Abreißversuch

Eine Methode zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit von ausgehärteten Korrosionsschutzbeschichtungen ist der Abreißversuch gemäß DIN EN ISO 16276-1, bei dem Stempel auf die Beschichtung aufgeklebt und mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit zum Abzug gebracht werden. Das Verfahren unterstützt im Wesentlichen die Beurteilung des Korrosionsschutzes nach DIN EN ISO 12944 auf der Baustelle und zeichnet sich durch eine einfache Handhabung aus. Durch den Abreißversuch werden neben der Haftzugfestigkeit Aussagen bezüglich der Adhäsion auf dem Grundwerkstoff (Stahlsubstrat) sowie der Adhäsion und Kohäsion der einzelnen Schichten getroffen.

In der DIN EN ISO 16276-1 sind die Anzahl der Prüfstellen bei Neubeschichtungen, die Durchführung der Prüfung, die Ergebnisauswertung und die Dokumentation geregelt. Die Prüfbereiche und die Anzahl der Prüfstellen sind bei Altbeschichtungen durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin festzulegen.

Für den Abreißversuch am Bauwerk ist eine Mindeststärke von 10 mm des Stahlsubstrats erforderlich. Die Prüfstellen sind so festzulegen, dass die Mindeststärke eingehalten wird.

9.4.3 Kreuzschnittversuch

Zur Bewertung der Haftfestigkeit einer vorhandenen Beschichtung können unabhängig von der Beschichtungsdicke Kreuzschnittprüfungen gemäß DIN EN ISO 16276-2 durchgeführt werden. Der Kreuzschnittversuch ist ein Verfahren zum Bewerten des Widerstandes einer Beschichtung gegen Ablösen. Dazu wird die Beschichtung mit einem Kreuzschnitt bis zum Stahlsubstrat versehen. Beim Kreuzschnittverfahren wird

dann die Beschädigung ausgehend vom Schnittpunkt anhand von Vergleichsbildern aus der DIN EN ISO 16276-2 bewertet.

In der DIN EN ISO 16276-2 sind die Anzahl der Prüfstellen für die Neubeschichtung, die Durchführung der Prüfung, die Ergebnisauswertung und die Dokumentation geregelt. Die Prüfbereiche und die Anzahl der Prüfstellen sind bei Altbeschichtungen durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin festzulegen.

9.4.4 Gitterschnittversuch

Zur Bewertung der Haftfestigkeit von vorhandenen Beschichtungen bis 250 µm kommen Gitterschnittprüfungen gemäß DIN EN ISO 16276-2 zum Einsatz. Die Durchführung des Gitterschnittversuchs regelt die DIN EN ISO 2409.

Mit einem Gitterschnitt wird die Beschichtung bis auf das Substrat geritzt, mit den Vergleichsmustern der Tabelle 1 gemäß DIN EN ISO 2409 verglichen und eingestuft. Die Prüfbereiche und die Anzahl der Prüfstellen sind bei Altbeschichtungen durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin festzulegen.

9.4.5 Keilschnittversuch

Mit dem Keilschnittversuch gemäß DIN EN ISO 2808 können die Schichtdicken einer vorhandenen Beschichtung einschließlich der Einzelschichtdicken gemessen werden. Die DIN EN ISO 19399 regelt die Durchführung und Auswertung sowie Dokumentation des Keilschnittversuchs.

Mit einem definierten Schneidwerkzeug wird ein Schrägschnitt oder eine konische Bohrung bis auf das Stahlsubstrat hergestellt. Durch ein Messmikroskop mit mindestens 50-facher Vergrößerung werden die Schichtdicken über die Projektion der Schnittfläche bestimmt. Häufig sind in den verfügbaren Geräten Schneidwerkzeug und Messmikroskop in einem Gerät angeordnet und die Schichtdicke kann direkt abgelesen werden. Das Prüfverfahren kann nur auf planem Untergrund angewendet werden. Bei gekrümmten Flächen sind Umrechnungen erforderlich. Die Prüfbereiche und die Anzahl der Prüfstellen sind bei Altbeschichtungen durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin festzulegen.

9.5 Entnahme von Korrosionsschutzproben

Sind chemische Analysen an der Beschichtung vorgesehen, so sind Teilstücke der Beschichtung bis auf den Stahl zu entnehmen. Bereits lose Beschichtungsstücke können mit einem sauberen Spachtel oder ggf. scharfem Messer abgehoben werden. Bei einer fest anhaftenden Beschichtung ist durch Anritzen eines Bereiches von ca. 100 cm² ein definierter Entnahmebereich festzulegen. Mit einem geeigneten Werkzeug (z. B. Spachtel, Schaber) sollte bis auf den Stahl vorgedrungen werden, um alle Schichten der Beschichtung abzuheben. Die Proben sind in mit Datum und Entnahmestelle beschrifteten Tüten oder Gefäßen zu lagern und an das vorab festgelegte Prüfinstitut zu verschicken.

Bei der Vermutung auf PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) oder Asbest ist der „Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes“ (BMDV 2023) zu beachten. Bei Verdacht sollte Schutzkleidung getragen werden. Die Ausführenden für die Entnahme sind über eine mögliche Schadstoffbelastung zu unterrichten.

Der Korrosionsschutz der beprobten Stellen ist nach der Probenahme so wiederherzustellen, dass er die gleiche Schutzwirkung wie das restliche Bauteil aufweist.

9.6 Entnahme von Stahlproben

Die Planung der Entnahmestellen gemäß BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) richtet sich nach der Fragestellung und dem daraus resultierenden erforderlichen Umfang für die Ermittlung der Materialkennwerte.

Zur Verifikation von vorliegenden Materialkennwerten sind im Allgemeinen ein bis zwei Entnahmestellen an Blechen und eine Entnahmestelle an je einem Profiltyp ausreichend. Zur Ermittlung von Materialkennwerten für eine statische Nachrechnung sollte der Umfang der Entnahmen mindestens verdoppelt werden. Bei Baugleichheit mehrerer Verschlüsse kann ggf. der Umfang der Entnahme je Verschluss reduziert werden. Es ist darauf zu achten, dass die Entnahme so erfolgt, dass die Ergebnisse der Materialuntersuchungen repräsentativ für das gesamte Bauwerk bzw. eines Bauteils sind.

Die Entnahme hat so zu erfolgen, dass kein Bauteil nennenswert geschwächt wird. Dafür ist es erforderlich, dass Kenntnisse bezüglich der statischen Auslastung vorliegen. Gering ausgelastete Bereiche sind zu bevorzugen.

Vor der Entnahme ist die Orientierung bzw. Lage im Bauwerk sowie die Walzrichtung auf der zu entnehmenden Probe zu kennzeichnen. Die entnommenen Blechstücke sollten für Zugprüfungen nach DIN EN ISO 6892-1 eine Mindestgröße von 120 mm x 160 mm haben, siehe Kapitel 9.8.1.

Bei einer Entnahme aus einem Profil empfiehlt es sich oftmals, das komplette Profil zu entnehmen. Hier ist ein Ersatzprofil im direkten Tausch wieder einzubauen. Wird aus Profilen nur ein Teilstück entnommen, so sollte dieses eine Mindestlänge von 300 mm aufweisen.

Für eine Prüfung an Kerbschlagbiegeproben, siehe Kapitel 9.8.2, und Minizugproben, siehe Kapitel 9.8.3, reichen zwei Kernbohrungen je Entnahmestelle mit einem Mindestdurchmesser von 70 mm.

Weitere Angaben sind dem BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) zu entnehmen.

Der Korrosionsschutz der beprobten Stellen ist nach der Entnahme so wiederherzustellen, dass er die gleiche Schutzwirkung wie das restliche Bauteil aufweist.

9.7 Vermaßung der Entnahme- und Untersuchungsbereiche im Bestandsplan

Die Entnahme- und Untersuchungsbereiche für die Stahl- und Beschichtungsproben sind in die Bestandspläne einzutragen und eindeutig zu vermaßen. Für die Dokumentation sind Fotos der Entnahme- und Untersuchungsbereiche erforderlich. Diese müssen sich eindeutig zuordnen lassen.

9.8 Laborprüfungen

9.8.1 Zugfestigkeit nach DIN EN ISO 6892-1

Anhand der Zugversuche an Flachzugproben können Aussagen bzgl. der Streckgrenze, der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung und der Brucheinschnürung getroffen werden. Die Kennwerte Streckgrenze und Zugfestigkeit sind für die statische Nachrechnung eines Verschlusses erforderlich. Die Bruchdehnung erlaubt Rückschlüsse auf die Verformungsfähigkeit des Stahls.

Bei umfassenden Instandsetzungen oder Nutzungsänderungen ist eine statische Nachrechnung notwendig. Für eine Nachrechnung des Verschlusses z. B. bei fehlender statischer Berechnung nach BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) sollte auch die statistische Auswertung der Ergebnisse nach vorgenanntem Merkblatt

erfolgen. Anhand von Tabellen kann der beprobte Stahl einer Stahlsorte zugewiesen oder mittels der statistischen Auswertung ein charakteristischer Materialkennwert bestimmt werden.

Für die Prüfung nach DIN EN ISO 6892-1 werden aus den entnommenen Blechstücken und Profilen Flachzugproben gefertigt. Die Norm regelt Probeabmessungen, Durchführung, Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse.

9.8.2 Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1

Der Kerbschlagbiegeversuch nach DIN EN ISO 148-1 lässt Rückschlüsse auf die Sprödbruchempfindlichkeit des Stahles zu. Beim Versuch wird die verbrauchte Schlagenergie bestimmt. Anhand des Aussehens der Bruchfläche (kristallin oder fasrig) und der Schlagenergie wird die Sprödbruchempfindlichkeit analysiert. Überwiegt das kristalline, glänzende Aussehen ist das Material spröde.

Da die Schlagenergie abhängig von der Temperatur ist, muss die Prüftemperatur vorab festgelegt werden. Es sind mindestens drei Kerbschlagbiegeprüfungen bei Raumtemperatur durchzuführen. Bei Raumtemperatur müssen die eingesetzten Stähle eine Mindestschlagenergie von mindestens 27 J aufweisen. Altstähle erreichen diesen Wert oftmals nicht. In diesem Fall kann auf eine weitere Beprobung bei -20 °C verzichtet werden. Stähle, die bei Raumtemperatur die 27 J erreichen, können zur Einschätzung des Steilabfalles und der Tieflage der Kerbschlagarbeit zusätzlich bei -20 °C beprobt werden. Dadurch können Aussagen bezüglich des schlagartigen Versagens eines Bauteils bei tiefen Temperaturen und stoßartiger Belastung getroffen werden.

Alle erforderlichen Angaben für die Kerbschlagbiegeprüfung, wie Probenherstellung, Aufstellen der Prüfmaschine, Durchführung der Prüfung und Erstellen des Prüfberichtes sind in der oben genannten Norm geregelt. Bei Blechen und Profilen mit weniger als 10-11 mm Dicke können Untermaßproben gemäß oben genannter Norm hergestellt werden. Durch einen Umrechnungsfaktor wird das Untermaß bei der Auswertung berücksichtigt.

9.8.3 Prüfung an Minizugproben

Bei Notwendigkeit einer Probenahme am Bauwerk mit möglichst geringer Materialentnahme kann zur Bestimmung der Materialeigenschaften Stahlsubstrat mittels zwei Kernbohrungen mit mindestens 70 mm je Entnahmestelle entnommen werden. Aus den Kernbohrungen können sowohl Minizugproben als auch Kerbschlagbiegeproben nach DIN EN ISO 148-1 gewonnen werden. Je Entnahmestelle sollten vier Minizugproben hergestellt und geprüft werden. Abbildung 25 zeigt die Anordnung der Proben.

Die Bestimmung der Zugfestigkeit an Minizugproben ist nicht normativ geregelt. Herstellung und Prüfung sind durch den Fachingenieur/die Fachingenieurin vorzugeben.

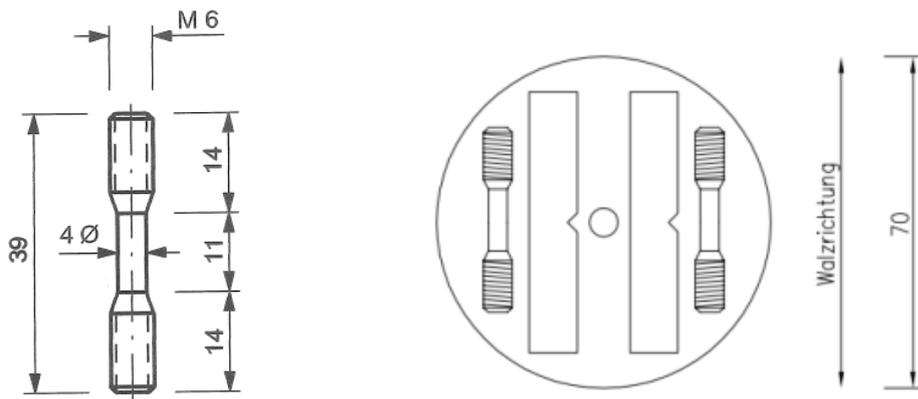


Abbildung 25: Abmessungen einer Minizugprobe (links) und möglicher Anordnung von Minizugproben und Kerbschlagbiegeproben (rechts) bei einer Kernbohrung (BAW 2018)

9.8.4 Chemische Analyse

Anhand einer chemischen Analyse können Aussagen hinsichtlich der Schweißbarkeit des untersuchten Materials gegeben werden. Bei Materialuntersuchungen sollte eine „14er Analyse“ gefordert werden. Das bedeutet, dass 14 Legierungs- und Begleitelemente des Stahls chemisch bestimmt werden.

Das sind:

C, Si, Mn, P, S, Nb, V, Al, Ti, Cr, Ni, Mo, Cu und N

Diese "14er Analyse" ist bei vielen unlegierten Stählen sinnvoll, da die aufgeführten Elemente bestimmend für die Eigenschaften der Stähle sind. In der Tabelle 7 der DIN EN 10025-2 werden für die chemische Zusammensetzung nur 7 Elemente (C, Si, Mn, P, S, N, Cu) verbindlich vorgeschrieben, trotzdem wird meistens im Prüfzeugnis die "14er Analyse" angegeben. Aus den nicht verbindlich vorgeschriebenen Elementen lassen sich weitere Aussagen bezüglich des Stahles treffen. Anhand der Analyse und der Bestimmung des Kohlenstoffäquivalents (CEV) kann dann die Schweißbarkeit des Stahles bestimmt und eine Schweißanweisung aufgestellt werden. Sollte der Stahl nicht schweißbar sein, muss eine alternative Reparaturmethode genutzt werden.

Bei Altstählen sollte eine chemische Analyse immer an der Stelle erfolgen, an der später Schweißarbeiten vorgenommen werden sollen.

Bei einer chemischen Analyse zur Verifikation des eingesetzten Stahles kann die Entnahmestelle frei gewählt werden oder direkt vor Ort am blanken Stahl (Funkenemissionsspektrometer, siehe Kapitel 9.3.9) erfolgen.

Für eine Entnahme des Stahles ist das BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) zu beachten.

9.8.5 Schadstoffanalyse der Beschichtung

An Teilstücken der Beschichtung können durch chemische Analyseverfahren ggf. vorhandene Schadstoffe nachgewiesen werden. Beschichtungsproben sollten vor jeder Instandsetzungsmaßnahme, jedem Teilabbruch oder jedem Abbruch von beschichteten Bauteilen aus Stahl entnommen werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich bei Sichtung der Unterlagen herausstellt, dass die bestehende Beschichtung vor 1995 aufgebracht wurde. Bei der Analyse von Beschichtungsproben sollte gemäß dem „Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes“ (BMDV 2023) vorgegangen werden. In diesem Leitfaden sind die erforderlichen Schritte und die Schadstoffnachweise detailliert erläutert.

9.8.6 Makroschliff

Anhand von Makroschliffen werden Schweißnähte beurteilt oder Werkstoffengängen sichtbar gemacht. Makroschliffe gehören nicht zur standardmäßigen Materialuntersuchung im Stahlwasserbau und sollten daher nur bei Schadensuntersuchungen oder bei Materialuntersuchungen an Altstählen angefertigt werden.

Makroschliffe werden aus entnommenen Blechen und Profilen oder Teilstücken von Schweißverbindungen angefertigt. Zur Anfertigung wird aus dem zu beurteilenden Bereich des Bauteils ein Teilstück herausgeschnitten und in eine Schale mit einem geeigneten Einbettmittel gelegt. Nach dem Schleifen und Polieren der Probe wird diese durch ein spezielles Ätzmittel geätzt. Danach sind die Strukturen des Materials mit dem bloßen Auge oder bis zu einer Vergrößerung von 10:1 sichtbar.



Abbildung 26: Makroschliff einer Auftragsschweißung

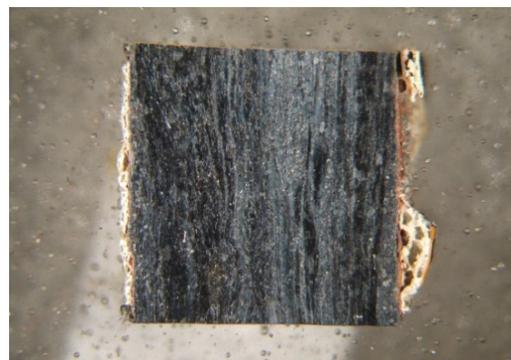


Abbildung 27: Makroschliff eines Puddelstahlteilstückes

9.8.7 Mikroschliffe

Mikroschliffe dienen der Beurteilung des Gefüges des zu untersuchenden Materials. Mikroschliffe können bei Materialuntersuchungen an Altstählen wertvolle Zusatzinformationen bzgl. Struktur und Gefügebestandteilen (z. B. Mangansulfide, Stickstoffkugeln) liefern. Mikroschliffe gehören nicht zur standardmäßigen Materialuntersuchung im Stahlwasserbau und sollten daher nur bei Schadensuntersuchungen oder bei Materialuntersuchungen an Altstählen angefertigt werden.

Die Präparation eines Mikroschliffes erfolgt analog zum Makroschliff. Die diversen am Markt erhältlichen Ätzlösungen sind auf die zu untersuchenden Materialien oder auf den nachzuweisenden Gefügebestandteil abzustimmen. Mikroschliffe können bis zu einer Vergrößerung von 1000:1 unter dem Mikroskop betrachtet und ausgewertet werden.

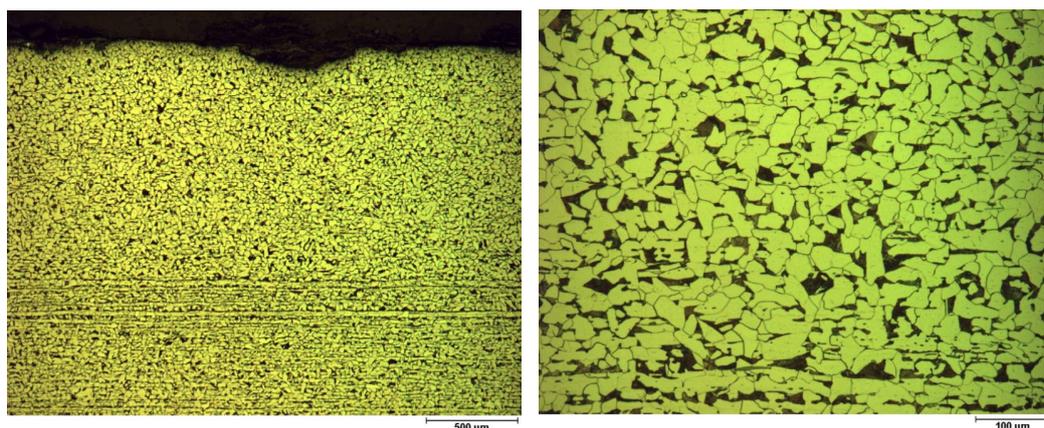


Abbildung 28: Mikroschliff eines Spundwandstahls mit unterschiedlicher Vergrößerung

9.8.8 Baumannabdruck

Der Baumannabdruck ist ein Verfahren zum Nachweis der makroskopischen Seigerungsverteilung von Schwefel im Stahl. Dieser Nachweis sollte bei Materialuntersuchungen an Altstählen zusätzlich durchgeführt werden, um die Seigerungszone im Blech oder Profil sichtbar zu machen. Informationen aus dem Baumannabdruck fließen in die Beurteilung der Schweißbarkeit ein. Bei neueren Stählen gibt es in der Regel keine ausgeprägten Seigerungszone mehr, so dass ein Baumannabdruck nicht zwingend erforderlich ist. Um einen Zugewinn an Informationen zu erhalten, kann der Baumannabdruck jedoch auch dort durchgeführt werden.

Der Baumannabdruck wird an einem Makroschliff mit fein geschliffener Oberfläche durchgeführt. Für den Abdruck wird ein handelsübliches Fotopapier in verdünnte Schwefelsäure getaucht und anschließend auf die Schliffoberfläche gedrückt. Die Einwirkdauer beträgt je nach Stahlsorte 30 Sekunden bis 5 Minuten. Anschließend wird das Fotopapier im Fixierbad fixiert, gewässert und getrocknet.

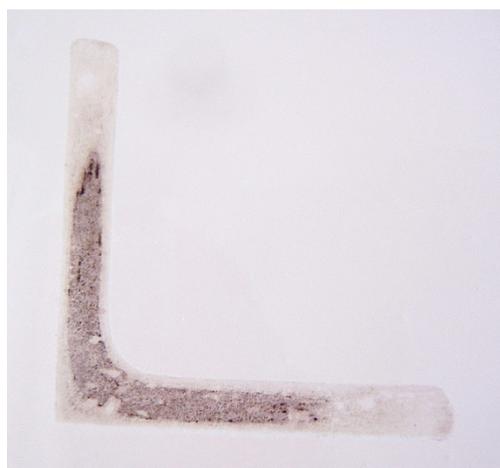


Abbildung 29: Baumannabdruck: Seigerung in einem Winkelprofil

9.8.9 Bruchmechanische Untersuchungen

Bei einer nicht ausreichenden Sprödbruchsicherheit nach BAWMerkblatt TbVS (BAW 2018) oder bei ermüdungsbeanspruchten Bauteilen mit Vorschädigung (Riss) können diese durch bruchmechanische Untersuchungen beurteilt werden. Anwendung finden bruchmechanische Untersuchungen auch, wenn z. B. kein Ermüdungsnachweis zufriedenstellend geführt werden kann, das Bauteil aber bis zum Ersatz durch einen Neubau weiter genutzt werden soll. Mit der Bruchmechanik lässt sich der Rissfortschritt gut abschätzen und es können Aussagen getroffen werden, wann das gesamte Bauteil versagt. Eine Intensivierung der Prüfintervalle an den relevanten Stellen ist im Zeitraum bis zum Vorliegen der bruchmechanischen Ergebnisse erforderlich.

Bruchmechanische Untersuchungen sollten nur für spezielle Fälle angewendet werden, die mit der BAW abzustimmen sind. Derartige Untersuchungen sind zeitlich sehr aufwendig und sollten nur durch die entsprechenden Fachingenieure/Fachingenieurinnen bearbeitet werden.

10 Untersuchungen im Baugrund

10.1 Typische Untersuchungsbereiche

Die Untersuchungsbereiche sind sowohl aus geotechnischen als auch aus geohydraulischen Aspekten zu planen und werden von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin abschließend festgelegt.

Bei Bestandsbauwerken existieren i. d. R. bereits geotechnische Berichte, die z. B. zum Zeitpunkt der Planung des Bauwerkes erstellt wurden. Aus heutiger Sicht beinhalten diese oftmals einen nicht vollumfänglichen Untersuchungsumfang. Sie lassen aber durchaus eine ungefähre Beschreibung des Baugrunds zu und können daher wichtige Hinweise für die Planung der Untersuchungsbereiche liefern. Je nach lokaler Situation, Bauwerkstyp (Längs- oder Querbauwerk) und Anlass bzw. Fragestellung stehen unterschiedliche Untersuchungsbereiche unterhalb und im Nahbereich des Bauwerks im Fokus, so dass diese im Allgemeinen nicht pauschalisiert werden können. Oftmals sind folgende Untersuchungsbereiche von Interesse:

- Auffüllungsbereiche, z. B. Hinterfüllung Ufermauer, Außenbereich Schleusenseitenwand, Auffüllung alter Baugruben, Geländeanpassungen
- Bereiche mit geologischen Störzonen, z. B. entlang einer Verwerfung
- Fugenbereiche insbesondere am Übergang Bauwerk/Baugrund oder Sohlbefestigungen
- Böschungsbereiche
- (auffällige) Anschlussbereiche, z. B. Kolke
- Bauwerkssohle

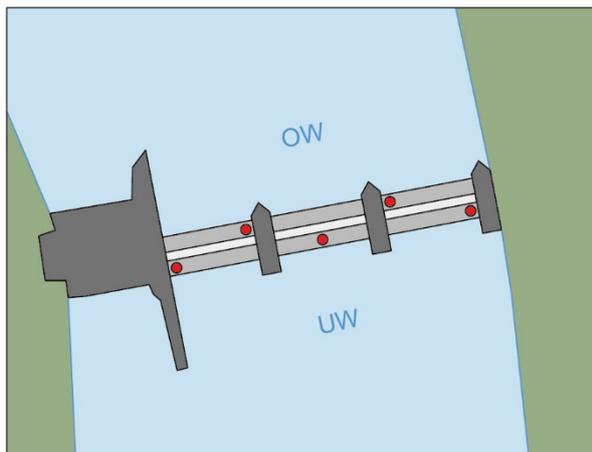
Darüber hinaus können je Einzelbetrachtung weitere Untersuchungsbereiche maßgebend werden.

Für eine modellhafte Abbildung (Längs- und Querschnitte) des Baugrunds müssen die Untersuchungsbereiche so gewählt werden, dass sie den Baugrund mit seinen vorliegenden Baugrundschichtungen und deren Eigenschaften inklusive der Grundwasserverhältnisse in einem definierten Bereich möglichst realistisch widerspiegeln. Die Notwendigkeit und die Anforderungen an die modellhafte Abbildung des Baugrunds werden, insbesondere in Bezug auf die in diesem Dokument definierte Zielsetzung, durch den geotechnischen Fachingenieur/die geotechnische Fachingenieurin festgelegt.

10.2 Positionierung von Grundwassermessstellen (GWM)

Um Informationen bzgl. der vorhandenen Grundwasserpotentialverteilung bzw. der vorhandenen Grundwasserstandverteilung unterhalb des Bauwerks (Grundwassergefälle vom Ober- zum Unterwasser und in Querrichtung) gewinnen zu können, sind die GWM sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung des Bauwerks zu planen. Beispielhaft sind hierzu die möglichen Anordnungen von flachen und tiefen Grundwassermessstellen an einer Wehranlage, siehe Abbildung 30 und Abbildung 31, an einer Doppelschleuse, siehe Abbildung 32 (linkes Bild) und an einer Staustufe, siehe Abbildung 32 (rechtes Bild) dargestellt. In Abhängigkeit der vorhandenen Randbedingungen (Bauwerk, Bauwerksgeometrie, geplante Massivbaubohrungen) ist eine Positionierung der GWM sowohl in der Wehrsohle, Abbildung 30, als auch in den Wehrpfeilern, Abbildung 31, oder eine Kombination der Positionierung in Wehrsohle und Wehrpfeiler möglich. Aus wartungstechnischer Sicht und aufgrund von Belangen der Zugänglichkeit ist die Anordnung der GWM in den Wehrpfeilern zu bevorzugen. Die Abstände der GWM auf einer Schleusenseite (Längsbauwerk) in Längsrichtung sind vom geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin festzulegen. GWM können i. A. sowohl im Schleusenbauwerk als auch neben der Schleuse positioniert werden, siehe Abbildung 32 und Abbildung 33.

Flache GWM werden i. A. für die Erfassung eines Grundwasserpotentials im oberen Baugrundbereich (z. B. im Lockergestein) bzw. im oberen Grundwasserleiter installiert; tiefe Grundwassermessstellen für die Erfassung eines Grundwasserpotentials im tieferliegenden Baugrund (z. B. im Fels) bzw. im unteren Grundwasserleiter installiert.



● tiefe Grundwassermessstelle

Abbildung 30: Wehranlage: Beispielhafte Anordnung von tiefen Grundwassermessstellen im Sohlbereich

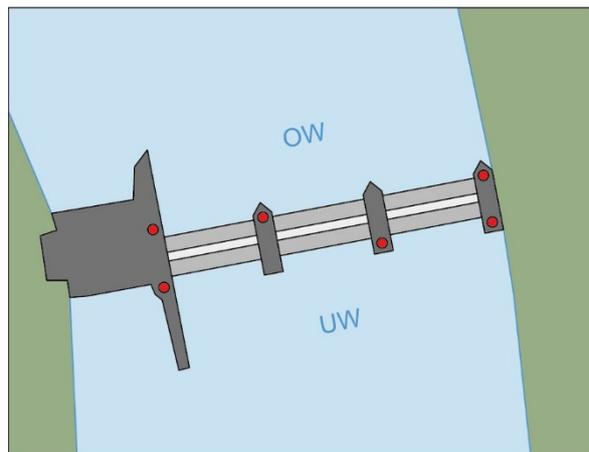
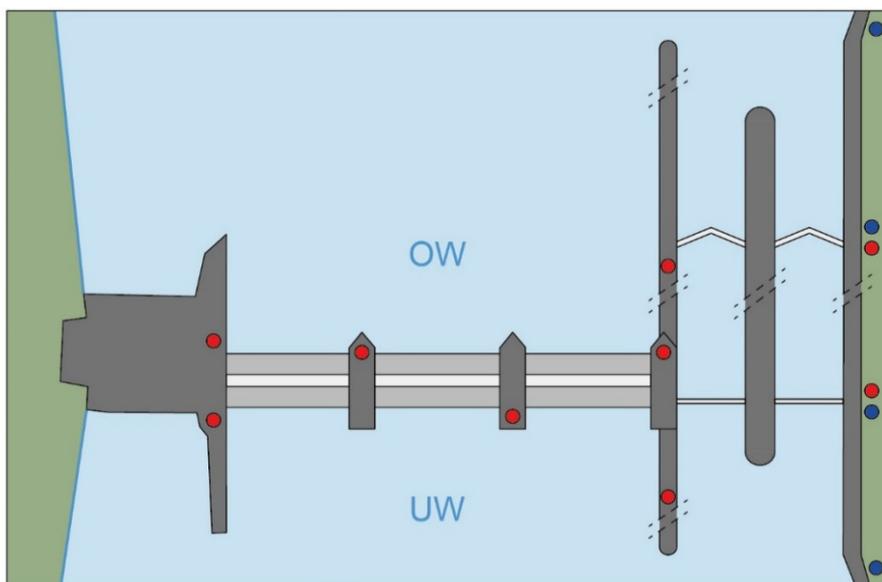
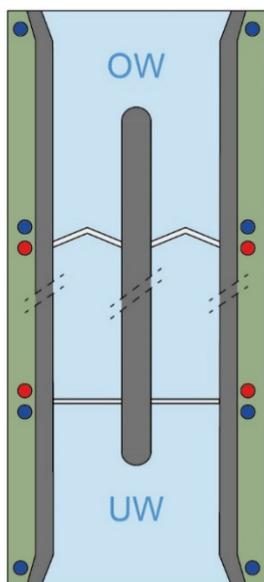


Abbildung 31: Wehranlage: Beispielhafte Anordnung von tiefen Grundwassermessstellen im Pfeilerbereich



● tiefe Grundwassermessstelle ● flache Grundwassermessstelle

Abbildung 32: Doppelschleuse (linkes Bild) und Staustufe (rechtes Bild): Beispielhafte Anordnung von tiefen und flachen Grundwassermessstellen

Abbildung 33 zeigt beispielhaft die Anordnung einer flachen Grundwassermessstelle (A) neben der Schleusen- oder Staufenkammer zur Messung der Grundwasserstände im oberen Grundwasserleiter (im Lockergestein) sowie die Anordnung von zwei tiefen Grundwassermessstellen (B und C) zur Messung der Grundwasserstände im unteren Grundwasserleiter (im Fels) sowohl neben der Schleusen- oder Staufenkammer (B) als auch direkt unterhalb des Bauwerks (C).

Die Positionierung der GWM ist von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin zu prüfen und festzulegen.

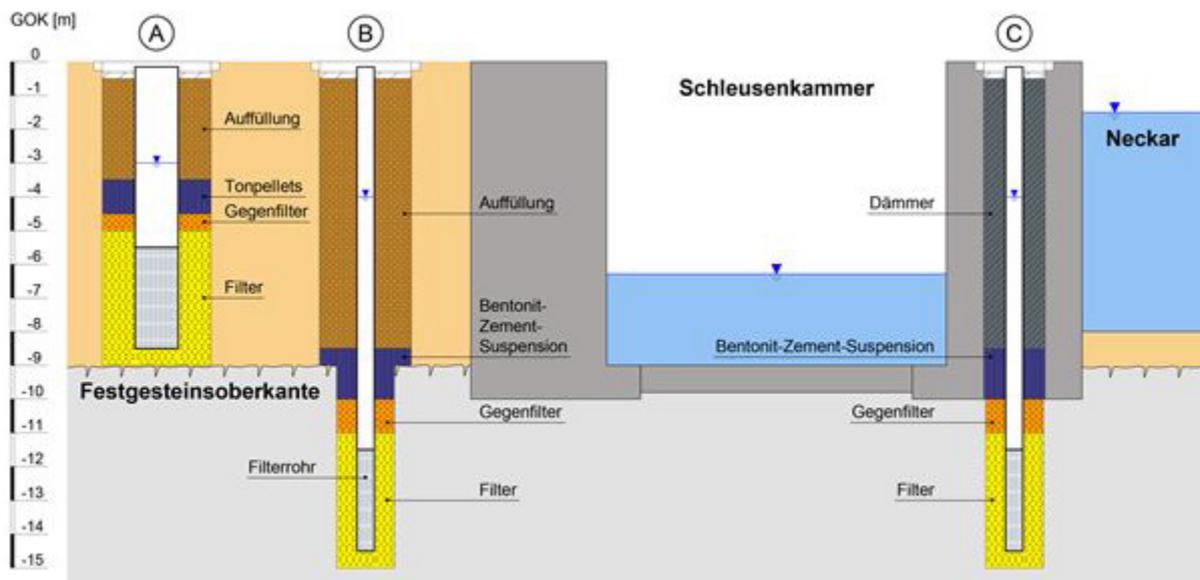


Abbildung 33: Beispielhafte Anordnung von flachen und tiefen Grundwassermessstellen an einer Schleuse (Straßer und Pittroff 2023)

10.3 Baugrunderkundung (Felduntersuchung)

10.3.1 Allgemeines

Die Baugrunderkundung muss so geplant werden, dass die Ergebnisse der Erkundung vollumfänglich die geotechnische Aufgabenstellung im Rahmen dieser Empfehlung beantworten kann. Im Allgemeinen beinhaltet eine Baugrunderkundung die folgenden normativ geregelten Felduntersuchungen:

- direkte Aufschlussverfahren (z. B. Schürfen, Bohrungen) zur Gewinnung von Proben
- indirekte Aufschlussverfahren (Feldversuche, z. B. Drucksondierungen, Rammsondierungen)
- Bohrlochversuche (z. B. Bohrlochscans, hydraulische Bohrlochversuche)
- Grundwassermessungen
- Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser

Darüber hinaus können je nach Einzelfall weitere Felduntersuchungen notwendig werden oder es sind nicht alle oben genannten relevant.

Die Baugrunderkundung ist im Handbuch des Eurocode 7, Teil 2 (DIN 2011) geregelt und wird in diesem Sinne abschließend von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin festgelegt.

10.3.2 Direkte Aufschlussverfahren (Bohrungen)

Die direkten Aufschlussverfahren sind das Kernstück einer Baugrunduntersuchung und dienen dem Zweck Aufschlüsse bzw. Proben zu gewinnen.

Je nach Aufgabenstellung bzw. je nach erforderlichem Laborversuch ist eine bestimmte Probengüte erforderlich. Die Wahl des Bohrverfahrens und des Entnahmeverfahrens richtet sich daher vorrangig nach der erforderlichen Probengüte. Kann die festgelegte Probengüte mit den gewählten Verfahren nicht erzielt werden, so kann die Fragestellung auch nicht adäquat beantwortet werden. Eine ggf. aufwendige und zeitintensive Nachuntersuchung wird dann erforderlich.

Neben der Festlegung der Probengüte ist der vorhandene Baugrund (Lockergestein, Festgestein, veränderlich festes Gestein, Besonderheiten im Baugrund) ebenso entscheidend für die Wahl des Bohr- und Entnahmeverfahrens. Für unterschiedliche Baugrundarten mit ggf. vorhandenen Besonderheiten stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung bzw. sind unterschiedliche Verfahren geeignet.

Aufgrund der Komplexität des Baugrunds sind Probenahmen für höherwertige Proben (hohe Probengüte) grundsätzlich eine technische Herausforderung. Bohrtechnisch sensible bzw. nicht einfach zu bohrende Bereiche wie z. B. Übergänge im Baugrund, Schichtgrenzen oder Übergänge vom Bauwerk zum Baugrund, aber auch bestimmte Böden wie z. B. veränderlich festes Gestein oder halbfeste bis feste sowie breiige und weiche bindige Böden geringer Plastizität stellen eine zusätzliche Herausforderung in der Planung und in der Durchführung dar.

Die Wahl der Verfahren (Bohr- und Entnahmeverfahren) kann nicht pauschalisiert werden, sondern ist immer im Einzelfall zu bewerten.

Die Wahl der Verfahren und deren korrekte Umsetzung in situ ist entscheidend für den Erfolg der Baugrunduntersuchung!

Der Bohrl Lochdurchmesser richtet sich nach dem geforderten Probenkerndurchmesser (i. d. R. 100 mm), dem gewählten Entnahmeverfahren und den Bohrgerätemaßen, den durchzuführenden Bohrlochversuchen sowie ggf. nach den Anforderungen an einen Mindestdurchmesser für eine Grundwassermessstelle. Die Bohrtiefe richtet sich nach der geotechnischen Fragestellung und nach dem Baugrundaufbau.

Bei Bohrungen, die gemeinsam von Massivbau und Geotechnik genutzt werden, muss eine enge Abstimmung zwischen den Fachingenieuren/Fachingenieurinnen bzgl. Bohrverfahren und Bohrkern- bzw. Bohrl Lochdurchmesser erfolgen. Im Einzelfall kann der geotechnische Fachingenieur/die geotechnische Fachingenieurin prüfen, ob auf ein Umstellen vom Massivbau-Bohrverfahren auf ein höherwertigeres Baugrund-Bohrverfahren (Probengewinnung von Proben mit höherer Güteklasse) verzichtet werden kann. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn das Hauptziel der Bohrung die Herstellung einer GWM in einem standfesten Bohrloch ist. Ist eine Umstellung des Bohrverfahrens und damit einhergehend ein vergrößerter Bohrl Lochdurchmesser vom Massivbau zum Baugrund zwingend erforderlich und keine Anpassung des Bohrl Lochdurchmessers (Bohrkerndurchmesser) im Massivbau möglich, so müssen die Massivbaubohrungen auf den notwendigen Bohrl Lochdurchmesser der Baugrundbohrung überbohrt werden.

Die Wahl der Verfahren sowie die Festlegungen zur Bohrtiefe und Bohrl Lochdurchmesser erfolgen durch den geotechnischen Fachingenieur/die geotechnische Fachingenieurin und richten sich nach den Vorgaben aus der DIN EN 1997-2 bzw. dem Normenhandbuch zur DIN EN 1997-2. Die Festlegungen müssen im Untersuchungsplan, siehe Kapitel 7, erfolgen.

Bei der Ausführung sind die maßgebenden Normen und Vorschriften, DIN EN ISO 22475-1, DIN 18301 und die zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen-Wasserbau ZTV-W LB 203 zu beachten.

In Ergänzung zur DIN EN ISO 22475-1 sind Beschreibungen und Hinweise für die Planung und Ausführung im Merkblatt MQGeoE (FGSV 2015) zusammengefasst und gegenübergestellt. Ebenso werden Hinweise zu Anforderungen an das Bohrgerät und an die Bohrdatenerfassung, zu Besonderheiten im Boden und Fels (z. B. zu Quellen, Zerbohren, Spülhilfen etc.) sowie eine Übersicht möglicher Verfahren in Abhängigkeit der erforderlichen Probengüte und des Baugrunds gegeben.

Die Anforderungen bzw. Inhalte der Feld- und Ergebnisberichte sind in der DIN EN ISO 22475-1 geregelt. Im Anhang B der DIN EN ISO 22475-1 sind beispielhaft die Formblätter der einzelnen Protokolle aufgeführt. Die ZTV-W LB 203 ist ebenfalls zu beachten. Besondere Vorkommnisse bei der Bohrung oder der Probenahme sind immer mit Tiefenangabe zu dokumentieren. Der Ergebnisbericht beinhaltet neben dem Feldprotokoll und dem Schichtverzeichnis nach (DIN EN ISO 14688-1; DIN EN ISO 14689) auch die grafischen Darstellungen der einzelnen Feldberichtprotokolle.

10.3.3 Indirekte Aufschlussverfahren (Sondierungen)

Für Baugrundaufschlussarbeiten sind i. d. R. neben Bohrungen auch Sondierungen erforderlich. Sie sind gemeinsam vom geotechnischen Fachingenieur/von der geotechnischen Fachingenieurin zu planen. Sondierungen verdichten bei entsprechender Referenzierbarkeit das Erkundungsnetz, können Erkundungsbohrungen aber nicht vollständig ersetzen. Sondierungen eignen sich im allgemeinen für Lockergestein und sind z. B. zur Bestimmung der Scherparameter in grobkörnigen Lockergestein sowie zur Bestimmung unterschiedlicher Festigkeitsbereiche in bindigen Böden erforderlich und in den Bereichen vorzusehen, in denen Schichtgrenzen zwischen bindigen und nichtbindigen Böden sowie Verwitterungsschichten und Lagerungsdichten von wesentlichem Interesse sind. Für bestimmte Fragestellungen z. B. zur Rammbarkeit sind Sondierungen bevorzugt einzusetzen.

Übliche indirekte Aufschlussverfahren sind z. B. die Rammsondierung, die Drucksondierung und in Sonderfällen z. B. die überbohrte Drucksondierung.

Die Durchführung von Drucksondierungen ist in der DIN EN ISO 22476-1, die von Rammsondierungen in der DIN EN ISO 22476-2 geregelt. Zudem finden sich in den jeweiligen Normen Angaben über Gerätegrößen und -typen, Versuchsdurchführung und -auswertung sowie Angaben zur Ergebnisdarstellung (Feldberichte, Messprotokoll und Versuchsbericht). Das Merkblatt MQGeoE (FGSV 2015) gibt Hinweise über die unterschiedlichen Einsatzbereiche, Anwendungsgrenzen und Kennwerte sowie ableitbaren Parameter der einzelnen Sondierverfahren.

Die Auswertung der Sondierungen erfolgt durch den geotechnischen Fachingenieur/die geotechnische Fachingenieurin.

Bei **Rammsondierungen (DP)** wird eine genormte kegelförmige Spitze an einem Sondiergestänge mit einem definierten Fallgewicht von der Geländeoberkante aus in den Baugrund gerammt. Im Regelfall kommen in der Praxis die leichte (Fallgewicht von 10 kg; DPL) und die schwere (Fallgewicht von 50 kg; DPH) Rammsondierung zum Einsatz, siehe Abbildung 34.

I. d. R. wird der Eindringwiderstand über die Anzahl der Schläge pro 10 cm Eindringung als Schlagzahl N_{10} festgehalten. Bei niedrigeren Eindringwiderständen können auch andere Schlagzahlen, z. B. N_{20} oder N_{30} maßgebend werden. Da der Eindringwiderstand (Gesamtwiderstand) nicht in Spitzenwiderstand und Mantelreibung differenziert werden kann, ist dieses Sondierverfahren bei größeren Sondiertiefen und bei bindigen Schichten nur bedingt geeignet bzw. sind die Sondierergebnisse mit Vorsicht zu bewerten. In Böden mit erheblichen Blockanteil ist das Verfahren nicht geeignet.

Für die Durchführung der Rammsondierung ist ein Abbruchkriterium zu definieren. I. d. R. wird versucht die Rammsondierung so tief wie möglich auszuführen. Als praktikables Abbruchkriterium haben sich 100 Schläge/10 cm erwiesen.

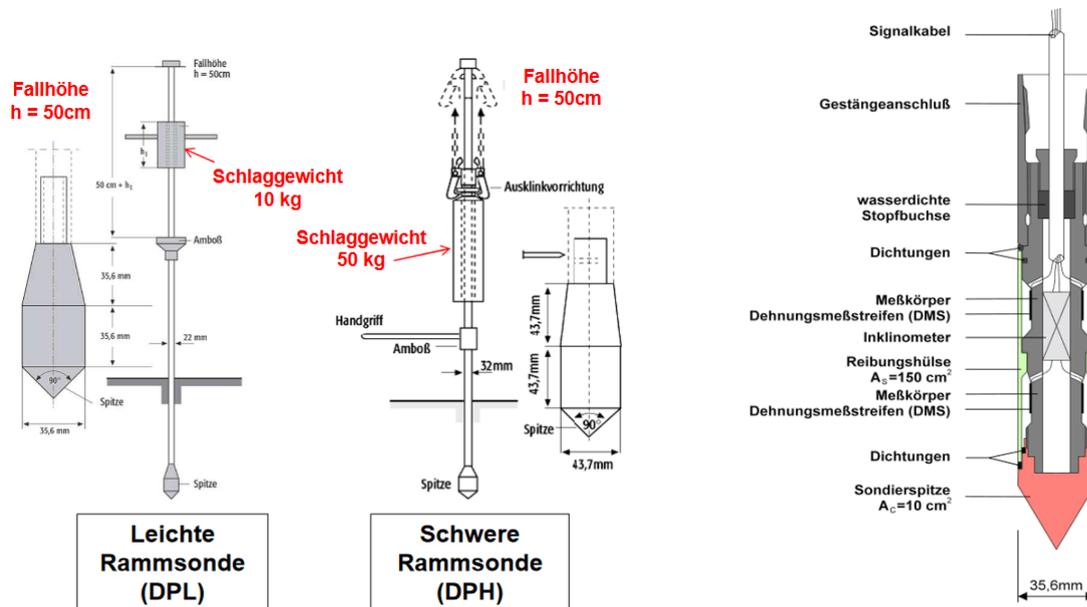


Abbildung 34: leichte und schwere Rammsondierung aus (Liebetruth 2014) (links) sowie Längsschnitt durch eine Drucksondierspitze aus (Krumb und Donat 2017) (rechts)

Bei **Drucksondierungen (CPT)** wird das Sondiergestänge hydraulisch mit konstanter Geschwindigkeit in den Baugrund eingedrückt. Die Reaktionskraft dazu wird über die Eigenlast der Geräte, durch Ballast oder Verankerungen erzeugt. Ein flexibler Einsatz durch LKWs und Raupenfahrzeuge ermöglicht das Befahren auch von schwierigem Gelände.

Je nach Geräteausführung und Baugrund lassen sich Sondiertiefen bis zu 40 m erreichen. An der kegelförmigen Spitze wird der Spitzenwiderstand und an der Reibungshülse mit Hilfe von Dehnmessstreifen die lokale Mantelreibung gemessen, siehe Abbildung 34. Bei nicht fachgerechter Lagerung, Pflege und Wartung der Sondierspitze können sich Messfehler aus mehreren Fehlerquellen aufsummieren. Die Folge wäre eine Fehlinterpretation der Messergebnisse.

Bedingt geeignet ist das Sondierverfahren in Böden mit erhöhtem Kies- und Steingehalt.

Die **überbohrte Drucksondierung** kommt in Ausnahmefällen bei größeren Sondiertiefen, z. B. bei Sondierungen im Wasser mit großen Wassertiefen oder an Land bei großen Erkundungstiefen im Auffüllungs- und Sandbereich oder bei großen Sondierwiderständen, z. B. bei eiszeitlich vorbelasteten Böden zum Einsatz. Der CPT-Versuch wird im verrohrten Bohrloch von der Bohrlochsohle aus bis zu einem Abbruchkriterium (z. B. maximale Druckkraft) durchgeführt. Das Sondiergestänge wird nach einem Sondierabschnitt gezogen, die Bohrung bis auf Endtiefe der Drucksondierung weiter abgeteuft, die Sondierspitze wieder auf der neuen Bohrlochsohle aufgesetzt und weiter eingedrückt. Durch die vorausseilende Drucksondierung ist der Baugrund soweit gestört, dass an den hierbei gewonnenen Bodenproben lediglich Versuche durchgeführt werden können, die eine geringe Güteklasse, wie z. B. die Bestimmung der Kornverteilung, erfordern.

Die Anzahl der Umsetzungsvorgänge (ein Umsetzungsvorgang umfasst: Sondierung „bergen“, Bohrgerät „absetzen“, Bohrung abteufen, Bohrgerät „bergen“, Sondierung wieder ansetzen) und die geplanten Sondiertiefen, sowohl der einzelnen Sondierabschnitte als auch die Gesamttiefe, richten sich nach dem vorhandenen Baugrund und den möglicherweise vorhandenen Erfahrungen im Baugrund. Die Anzahl der Umsetzungsvorgänge und Sondiertiefen sind vorab einzuschätzen, zu planen und in den entsprechenden Leistungspositionen zu berücksichtigen. Die zentrische Vertikalität des Sondiergestänges im Bohrloch über z. B. Abstandshalter oder Casingrohre ist zu gewährleisten.

Aufgrund der großen Sondiertiefen und der dazugehörigen sensiblen Messtechnik sowie Ausführung ist der Einsatz der überbohrten Drucksondierung nur von Personal (Geräteführer/Geräteführerin) mit umfassender Erfahrung durchzuführen.

10.3.4 Bohrlochversuche

10.3.4.1 Allgemeines

Die im nachfolgenden aufgeführten Bohrlochversuche stellen häufig zum Einsatz kommende Versuche dar. Bei besonderen Fragestellungen können weitere Versuche wie z. B. Dilatometermessungen notwendig werden. Grundvoraussetzung für die hier aufgeführten Bohrlochversuche ist ein standfestes Bohrloch. Für alle Bohrlochversuche müssen Stillstands- und Umrüstzeiten berücksichtigt werden. Die allgemeinen Hinweise und Randbedingungen aus Kapitel 8.4.2 für den Massivbau gelten entsprechend auch für Bohrlochversuche im Baugrund. Die Bohrlochversuche werden von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin abschließend festgelegt.

10.3.4.2 Geophysikalischer Bohrlochversuch (optischer Bohrlochscan)

Der optische Bohrlochscan gibt einen bildlichen Eindruck der Baugrund-Bohrlochwandung über das in situ vorhandene Trennflächen- und Kluftflächengefüge. Es können das Streichen und Fallen der vorhandenen Trennflächen sowie geometrische Abstände (Trennflächen- und Kluftflächenabstände, Öffnungsweiten), Bohrlochwandgeometrien (Ausbrüche, Ausspülungen) und ggf. Kluftfüllungen i. d. R. sehr genau festgestellt werden. Der Fugenbereich zwischen Bauwerk und Baugrund kann mit einer optischen Kamerabefahrung qualitativ hinsichtlich Geometrie und Zustand genau erfasst werden. Darüber hinaus geben die optischen Bohrlochscans wichtige Hinweise über die Bohrqualität bzw. bohrbedingte Schäden an den gewonnenen Proben. Während der Bohrkernansprache liefern die Auswertungen der optischen Bohrlochscans wertvolle Zusatzinformationen. Des Weiteren können die Ergebnisse der optischen Bohrlochscanbefahrung eine wichtige Bewertungsgrundlage der hydraulischen Versuchsergebnisse darstellen. Die optische Bohrlochscanbefahrung sollte in standfesten Bohrlöchern von Festgestein Teil der Baugrunduntersuchung sein.

Es sollte sichergestellt werden, dass der optische Bohrlochscan eine möglichst unbeschädigte und saubere Bohrlochwandung fotografisch aufnehmen kann. Schwebstoffe im Bohrlochwasser benötigen zudem ausreichend Zeit (Stillstandzeit) um sich absetzen zu können. I. d. R. ist die Befahrung immer im direkten Anschluss an die Bohrkernentnahme als erster Bohrlochversuch durchzuführen.

Die Qualität der Bilder ist abhängig von der eigentlichen Kamerabefahrung (Kameratyp, Anzahl und Größe der Pixel, vertikale und horizontale Bildauflösung, Befahrungsgeschwindigkeit), vom Bohrlochzustand (Schmutz bzw. Schwebeteile im Bohrlochwasser) sowie von äußeren Einflüssen (reflektierendes Sonnenlicht an der Wasserspiegelgrenze).

Für Ausnahmefälle, wenn z. B. aufgrund zu vieler Schwebeteile im Bohrlochwasser keine saubere optische Befahrung möglich ist, können als Alternative auch akustische Bohrlochscans zum Einsatz kommen.

Die Auswertung der Scanbefahrung, die Identifizierung des Trennflächengefüges und die Darstellung der Ergebnisse sind von der ausführenden Fachfirma durchzuführen. Die Datenübergabe (Auswertung der optischen Bohrlochscanbefahrung) sollte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt erfolgen, so dass die Auswertung bereits bei der Bohrkernansprache verwendet werden kann.

In Abbildung 35 ist beispielhaft ein Messprotokoll im Übergangsbereich zwischen Massivbaubeton und Fels und in Abbildung 36 der dazugehörige Bohrkern dargestellt. Allein durch eine Bohrkernansprache könnte dieser Übergangsbereich und auch der Felszustand in Situ nicht eindeutig beschrieben werden.

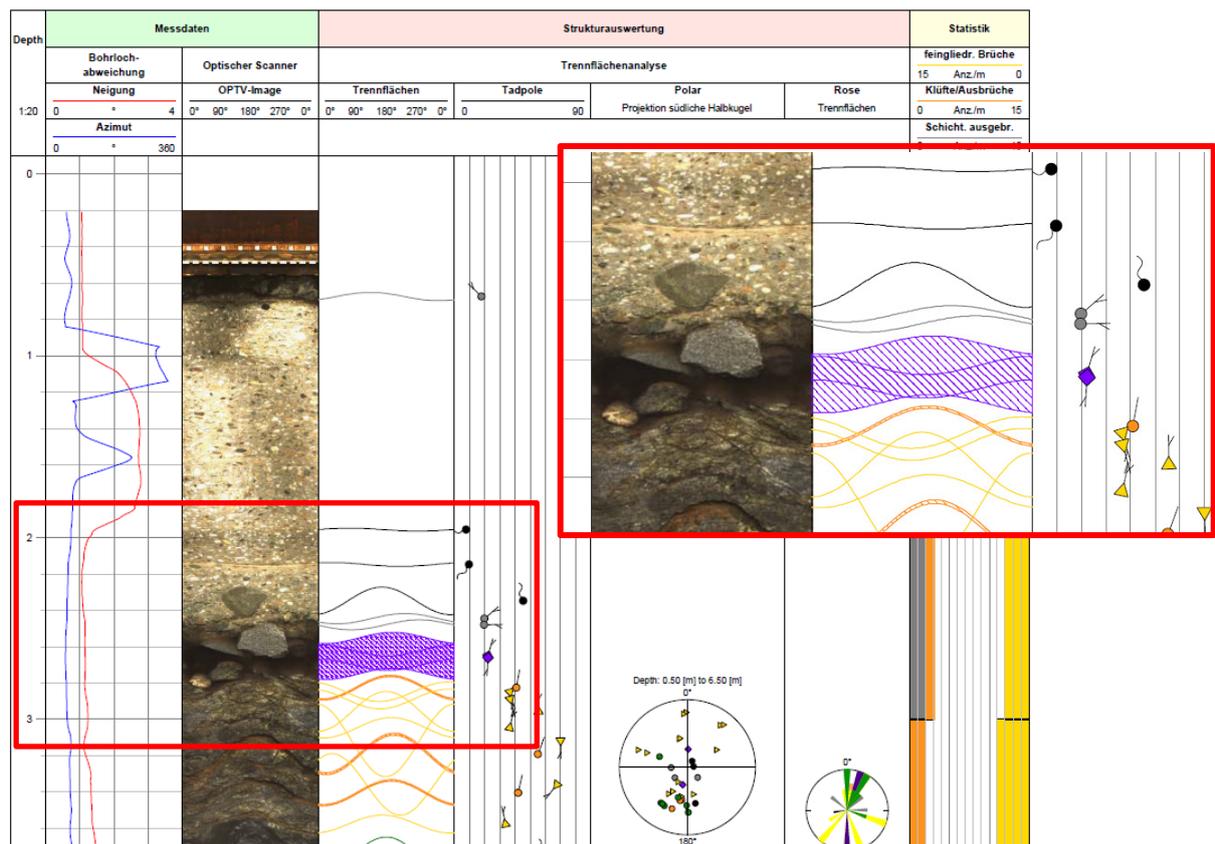


Abbildung 35: Messprotokoll eines optischen Bohrlochscanners mit Detailabschnitt Übergang Beton/Fels



Abbildung 36: Bohrkernaufnahme für den Detailabschnitt von 1 m bis 3 m Bohrtiefe

10.3.4.3 Geohydraulischer Bohrlochversuch

Geohydraulische Bohrlochversuche dienen zur Bestimmung geohydraulischer Parameter (in situ-Durchlässigkeit). Die zu untersuchenden Testabschnitte im standfesten Bohrloch sind vom geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin festzulegen. Die Testabschnitte können entweder mittels Einzelpacker gegen die Bohrlochsohle oder als Doppelpacker-Anordnung eingeschlossen werden, siehe Abbildung 37. Damit finden die Bohrlochversuche in einem geschlossenen System statt.

Es wird in Versuche mit instationären Auswerteverfahren (KRI, Slug-, Pulse- und Drill-Stem- Test) sowie in Versuche mit stationären Auswerteverfahren (WD-Tests) unterschieden. Da die Messtechnik und die Durchführung sowie die Plausibilisierung der Versuchsergebnisse sehr aufwendig und komplex sind, sollten diese Bohrlochversuche nur von diesbezüglich spezialisierten Fachfirmen durchgeführt werden. Die Anforderungen an geohydraulische Bohrlochversuche im geschlossenen System sind in DIN EN ISO 22282-6 und für WD-Tests zusätzlich in DIN EN ISO 22282-4; DIN EN ISO 22282-3 geregelt. Im Grundbau-Taschenbuch, Teil 2 (Witt und Smolczyk 2018) sind zusätzliche erläuternde Informationen zu finden.

Für tiefere Bohrungen mit mehreren untereinanderliegenden Testabschnitten kann es sinnvoll sein, diese Bohrungen abschnittsweise auf die Endtiefe abzuteufen und dementsprechend auch abschnittsweise die hydraulischen Versuche mittels Einzelpacker gegen die Bohrlochsohle durchzuführen. Dies hat den Vorteil, dass im Allgemeinen das Einzelpackersystem im Vergleich zu einem Doppelpackersystem einfacher bzw. mit einem geringeren Risiko installierbar (Herstellen und Überprüfen der Dichtheit) ist.

Durch die Betrachtung zeitlicher Druckänderungen können bei **geohydraulischen Versuchen mit instationärer Auswertung (KRI, Slug-, Pulse- und Drill-Stem-Test)** wesentliche Störgrößen erkannt und berücksichtigt bzw. eliminiert werden. Die Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit ist daher sehr zuverlässig. Die zu wählende Versuchsart richtet sich nach der zu erwartenden Gebirgsdurchlässigkeit, die vorab abzuschätzen ist. Während der Versuchsdurchführung kann sich herausstellen, dass diese Abschätzung falsch war und die Versuchsart dementsprechend umgestellt werden muss. Es sollten daher ggf. Wiederholungsversuche mit geänderter Versuchsart vorgesehen werden. Die auszuschreibenden Positionen im Leistungsverzeichnis sollten in Grundlagen- und Zulagenpositionen getrennt werden, wobei auch das Umsetzen (Wechsel der Versuchsart) zur Zulagenposition gerechnet werden sollte. Eine erläuternde Übersicht der geohydraulischen Bohrlochversuche mit instationären Auswerteverfahren gibt Tabelle 9.

Tabelle 9: Geohydraulische Bohrlochversuche mit instationären Auswerteverfahren

Versuchsbezeichnung		Ventiltests		
		Slug-Test	Pulse-Test	Drill-Stem-Test
Anwendungsbereich	Festgestein (standfestes Bohrloch)	durchlässig bis schwach durchlässig	sehr schwach durchlässig	schwach durchlässig
	Durchlässigkeit k in m/s	10^{-4} bis 10^{-8}	10^{-8} bis 10^{-11}	10^{-6} bis 10^{-8}
Normung		DIN EN ISO 22282-6		
Untersuchungsziel		Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit		
Versuchsdurchführung		eine Fließphase Testventil geöffnet bis durch nachströmendes Wasser Ruhedruck erreicht ist	eine Schließphase Testventil wieder geschlossen, sobald maximale Druckänderung im Testabschnitt auftritt Messung bis Erreichen des Ruhedrucks im Testintervall	eine Fließ- und Schließphase Testventil bleibt geöffnet bis eine Fließrate Q im Testrohr bestimmt werden kann. Danach Schließen des Testventils und messen des Druckanstiegs im Testabschnitt
Vorteile		innere und äußere Randbedingungen (Störgrößen bohrlochspezifisch/hydraulisch) erkennbar und berücksichtigbar zuverlässige Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit möglich		
Nachteile		hohe Fachkompetenz erforderlich wenige Fachfirmen mit dem notwendigen Equipment und Know-How		

Handelt es sich um einen stark durchlässigen Baugrund, bei dem der Slug-Test an seine Grenze stößt, so muss die Testanlage, siehe Abbildung 37, z. B. auf einen Injektionsversuch mit konstanter Injektionsrate (KRI-Test) in Anlehnung an DIN EN ISO 22282-4 umgestellt werden.

Die in Abbildung 37 angegebenen Drücke p_1 , p_2 und p_3 sind die mit den Drucksensoren gemessenen Wasserdrücke. Der Wasserdruck p_1 wird über dem geschlossenen Testabschnitt bzw. über dem Packer gemessen, p_2 im Testabschnitt und p_3 (Doppelpackersystem) unter dem Testabschnitt.

Beim instationären Auswerteverfahren der hydraulischen Bohrlochversuche müssen die vollständigen Messdaten unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden Versuchsrandbedingungen zur Versuchsauswertung verwendet werden. Dabei sind auch Besonderheiten bei der Versuchsdurchführung und deren Einfluss auf die Versuchsergebnisse zu beschreiben.

Bisher existieren nicht viele Fachfirmen, die diesen Versuch fachgerecht durchführen können. Es sollten daher im Vergabeverfahren von den anbietenden Firmen ein Nachweis der Fachkunde angefordert werden.

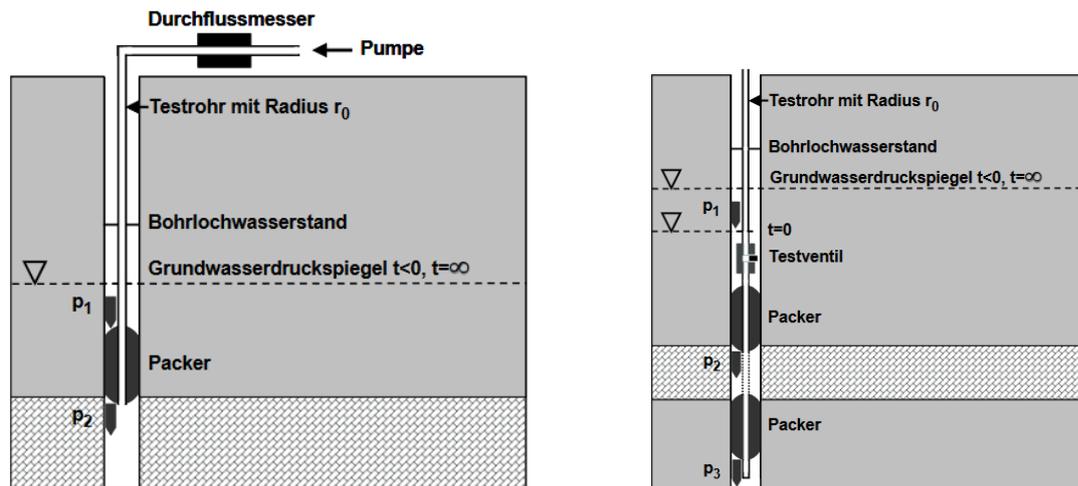


Abbildung 37: Testanlage für Injektionsversuch mit konstanter Rate (KRI) am Beispiel einer Einzelpackeranordnung (links) und für Slug-, Drill-Stem- und Pulse-Test am Beispiel einer Doppelpackeranordnung (rechts) aus (Hekel und Odenwald 2012)

Beim **WD-Test** wird in mehreren Druckstufen Wasser in einen abgepackerten Versuchsabschnitt gepresst und es werden die Fließraten gemessen. Die elektronisch gespeicherten Daten werden als Fließraten/Druck-Diagramm dargestellt, interpretiert und ausgewertet. Die wesentlichen Informationen zum WD-Test sind in Tabelle 10 in einer Übersicht erläuternd zusammengefasst. Der WD-Test ist im Allgemeinen nicht zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit geeignet. Bei der Durchführung von WD-Tests im Bohrlöcher besteht die Gefahr, dass das ursprüngliche System „Gebirge“ (Festgestein mit Trennflächen/Klüften) mindestens im Nahbereich der Bohrlöcherwandung durch Aufreißen bzw. Ausspülen der Trennflächen, zerstört werden kann. Daher sind WD-Tests im Bohrlöcher zeitlich immer nach den instationären hydraulischen Bohrlöcherversuchen bzw. als letzter Bohrlöcherversuch durchzuführen.

Tabelle 10: Geohydraulischer Bohrlöcherversuch mit stationärem Auswerteverfahren (WD-Test)

Versuchsbezeichnung	WD-Test
Anwendungsbereich	Festgestein (standfestes Bohrlöcher)
Normung	DIN EN ISO 22282-3
Untersuchungsziele	Wasseraufnahmefähigkeit Verhalten des Gebirges unter hydraulischem Druck Überprüfung der Dichtigkeit des Trennflächengefüges Bemessung und Wirksamkeit von (Zement)-Verpressungen Im Allgemeinen keine Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit möglich!
Versuchsdurchführung	Messen der Fließrate (Einpressrate) bei verschiedenen Druckstufen sobald sich innerhalb der Druckstufe „stationäre“ Strömungszustände einstellen und Auswertung der Rate-Druck-Relation.
Vorteile	eignet sich gut zur Bewertung einer Injizierbarkeit eines Gebirges
Nachteile	Rate-Druck-Relation ist von Einflussfaktoren abhängig, die nicht erfasst werden können, wie z. B. Kolmatierungsgrad des Bohrlöcher, Leckagen und der Verpressdauer. Gefahr des Aufreißen von Klüften/Trennflächen

10.3.5 Grundwassermessstellen (GWM)

Die Planung, der Ausbau und die Inbetriebnahme von Grundwassermessstellen zur Erfassung der Grundwasserpotentialdrücke müssen so früh wie möglich erfolgen, da für belastbare Aussagen aus den gemessenen Grundwasserständen ein mindestens fünfjähriger Beobachtungszeitraum angestrebt werden soll.

Der Ausbau zu einer GWM erfolgt nach DIN EN ISO 22475-1. Weitere Hinweise zur Herstellung von GWM sind in den Arbeitsblättern W115 „Erkundung, Beobachtung und Gewinnung von Grundwasser“ des DVGW (DVGW 2008) und W121 „Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen“ des DVGW (DVGW 2003) und im Merkblatt „Bau von Grundwassermessstellen“ des Arbeitskreises Grundwasserbeobachtung (Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung 2012) enthalten.

Der endgültige Ausbau der Grundwassermessstelle kann erst festgelegt werden, wenn die Schichtung des Baugrunds an der Stelle der geplanten GWM bekannt ist. Die mit der Bohrung und dem Ausbau zur GWM beauftragte Firma muss daher den zuständigen Fachingenieur/die zuständige Fachingenieurin hinsichtlich des Baugrundaufbaus (Art und Lage der Schichtungen) informieren und sich mit ihm/ihr abstimmen. Erst danach können endgültig

- Höhenlage der Filterstrecke (Filterrohr mit Unter- und Überschüttung),
- Filterrohrlänge,
- Filterschlitzweite und
- Filterkiesschüttung

festgelegt werden.

Die Filterstrecke darf in keinem Fall zwei unterschiedliche hydrogeologische Einheiten verbinden.

Bei offenen GWM steht das Messsystem in direktem Kontakt mit der Atmosphäre. Es wird die GW-Oberfläche in Filterebene gemessen und es besteht die Möglichkeit der Entnahme von Grundwasserproben und weiterer Untersuchungen. Beispielhaft ist in Abbildung 38 eine offene GWM mit Filterstrecke im Sandstein und einem Überflurausbau dargestellt.

Bei geschlossenen GWM ist das Messsystem nicht im direkten Kontakt mit der Atmosphäre. Es wird der Porenwasserdruck im abgeschlossenen Filterbereich gemessen. Nach Installation besteht nicht mehr die Möglichkeit, aus diesem Bereich Grundwasserproben zu entnehmen.

Unterschiedliche Grundwasserpotentiale bzw. Grundwasserstockwerke werden i. d. R. durch getrennte GWM erfasst. Eine, allerdings in der Herstellung wesentlich kompliziertere, Möglichkeit ist die Ausführung einer doppelten GWM. Hier werden eine geschlossene und eine offene GWM in einem Bohrloch kombiniert. Aufgrund der komplizierten Herstellung sollte diese Ausführung auf Sonderfälle beschränkt und nur durch eine Firma mit entsprechend hoher Fachkompetenz und Erfahrung ausgeführt werden.

Die GWM können sowohl Ober- als auch Unterflur ausgebaut werden. Beispiele der Herstellung sind in DIN 4944 enthalten.

Nach Herstellung der GWM sind diese lage- und höhenmäßig in einem übergeordneten Referenzsystem einzumessen. Insbesondere ist die Messung der Höhenlage der Oberkante des Aufsatzrohrs (unterhalb der Schutzkappe) für die spätere Nutzung als Referenzhöhe möglichst exakt durchzuführen.

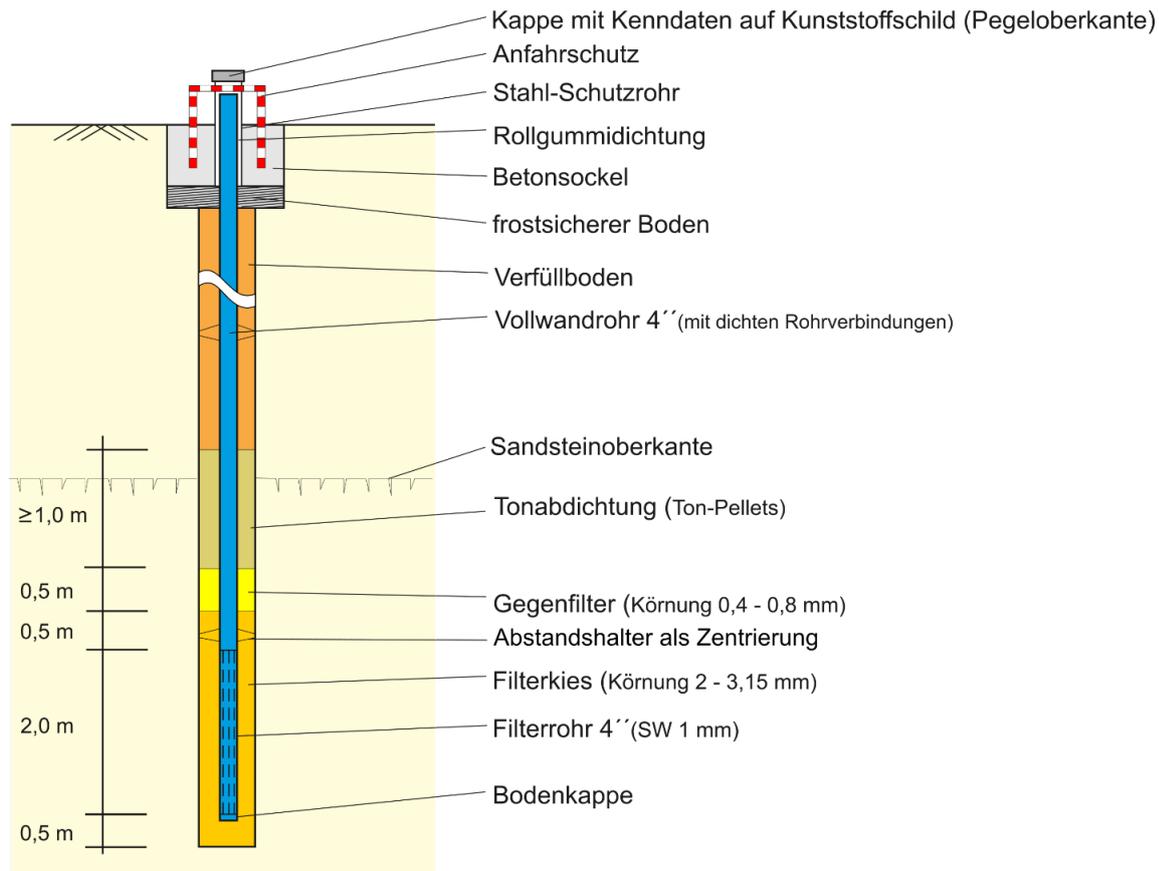


Abbildung 38: Beispielhafte Darstellung einer offenen GWM mit Überflur ausbau

Die Messungen in offenen GWM können einerseits manuell mit Hilfe eines Licht-Akkustik-Lotes oder elektronisch mit Hilfe von Druckaufnehmern mit Datenloggern erfolgen. Bei einer Automatisierung der Grundwassermessungen ist die exakte Feststellung der Höhenlage der Druckaufnehmer wichtig. Werden Absolutdruckaufnehmer verwendet, ist zusätzlich ein Druckaufnehmer zur Messung des atmosphärischen Luftdrucks im Nahbereich zu installieren. Die Häufigkeit der Auslesung der Datenlogger und Auswertung der Messdaten sollten vom geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin festgelegt werden. I. d. R. sollte die Auslesung mindestens halbjährlich erfolgen. Eine Kontrollmessung der Grundwasserstände mittels Lichtlot ist durchzuführen.

Bei geschlossenen Systemen wird das Bohrloch im Bereich der Messebene mit Filtersand/Filterkies aufgefüllt und darin der oder die Druckaufnehmer direkt im Baugrund eingebaut. Über der Filterebene folgt der Einbau eines Gegenfilters sowie einer Abdichtung (Tonsperre). Die Verkabelung des Porendruckaufnehmers wird vertikal nach oben an die Geländeoberkante geführt. Hier ist zur Messdatenerfassung der Datenlogger installiert.

10.3.6 Grundwassermessungen

Die Wasserstände sind im Bohrloch sowohl bei Antreffen des Grundwassers als auch nach Beendigung der Bohrarbeiten sowie vor und nach jeder Pause einzumessen. Einzelheiten zur Einmessung regelt die DIN EN ISO 22475-1.

Die Grundwasserstände im Bereich der Bauwerke an Wasserstraßen werden meist in starkem Maße durch die Wasserstände im Gewässer beeinflusst und dürfen nicht als unabhängig von diesen betrachtet werden. Der Stand der Oberflächengewässer ist daher mit aufzunehmen. Für die Angabe von charakteristischen Werten der Grundwasserstände, die für die Ermittlung der Beanspruchung der Bauwerksteile durch Grundwasserdruck und Grundwasserströmungskräfte in den unterschiedlichen Bemessungssituationen maßgebend sind, sind langjährige Messreihen in GWM erforderlich.

Für mögliche spätere Planungen ist zu berücksichtigen, dass die charakteristischen Grundwasserstände auch durch geplante Bauabläufe, erforderliche Sicherheitsniveaus und genehmigungsrechtliche Vorgaben beeinflusst werden. Die charakteristischen Grundwasserstände sowie die zu berücksichtigenden Bemessungssituationen müssen daher planungsbegleitend zwischen Auftraggeberin, Planendem und dem Fachingenieur/der Fachingenieurin regelmäßig abgestimmt werden.

10.3.7 Grundwasserprobenahme

Die Grundwasserprobenahme erfolgt sowohl aus den Grundwassermessstellen als auch aus dem Ober- und Unterwasser des anstehenden Gewässers. Es sollten jeweils eine Wasserprobe und eine Rückstellprobe entnommen werden. Die Rückstellprobe ist bis zum abschließenden Bericht aufzubewahren.

Zur Bestimmung der Beton- und Stahlaggressivität sind die in den Normen DIN 4030-1 und DIN 4030-2 genannten Vorgaben für die Entnahme, die Lagerung und den Transport der Grundwasserproben zu beachten. Für die Grundwasserentnahme gelten zudem DIN 38402-13 sowie ISO 5667-11. Die Konservierung und Handhabung der Proben wird in DIN EN ISO 5667-3 beschrieben. Weiter ist DVGW Arbeitsblatt W112 (DVGW 2011) zu befolgen.

Es ist zu beachten, dass bei der Grundwasserentnahme für chemische Wasseranalysen die zu untersuchenden chemischen Eigenschaften der Grundwasserproben sehr sensibel auf äußere Einflüsse bei der Probenentnahme und -behandlung sowie den Probentransport reagieren. Die Entnahme muss daher zwingend nach den normativen Regelungen kontrolliert durchgeführt werden. Insbesondere sind während der Probenahme folgende Punkte zu beachten:

- Vor der Entnahme einer Grundwasserprobe ist das fachgerechte Abpumpen des Standwassers der GWM durchzuführen und es hat mindestens ein 3-facher Volumenaustausch des Standwasservolumens inkl. Ringraumvolumens vor der Probenabfüllung zu erfolgen. Die Förderrate ist an die Ergiebigkeit der GWM so anzupassen, dass der Grundwasserstand weitgehend gehalten wird. Die Förderrate ist dabei zu ermitteln und zu protokollieren. Zur Verhinderung von Lufteintrag in die Probe bzw. von Ausgasungen aus der Probe erfolgt das vollständige unterschichtete Befüllen der Probengefäße bei einem Volumenstrom von maximal 2 L/min. Während des Abpumpens sind der Geruch, die Färbung und der Geschmack des Grundwassers zu bestimmen und zu dokumentieren. Weiter sind in regelmäßigen Zeitabständen die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential und Temperatur in einem Durchflussgefäß zu messen. Die eigentliche Entnahme der Grundwasserprobe erfolgt nach Konstanz der o. g. Parameter.
- Vor-Ort Bestimmung der Säurekapazität KS 4,3.

- Für Labor-Parameter, bei denen nur der gelöste Anteil relevant ist, ist bereits vor Ort eine Filtration durchzuführen. Die Proben sind zügig zu verarbeiten und direkt vor Ort fachgerecht zu konservieren bzw. zu kühlen. Für eventuell erforderliche Nachmessungen sind separate, repräsentative Rückstellproben zu gewinnen. Die erforderlichen Konservierungen haben gemäß der DIN EN ISO 5667-3 bzw. dem DVGW Arbeitsblatt W112 (DVGW 2011) zu erfolgen.

Die Protokollberichte der Grundwasserprobenahme sind in DIN 38402-13 und ISO 5667-11 geregelt. Diese sind zwingend für die Bewertung und Plausibilisierung der Wasseranalysen erforderlich. Sie sind dem geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin immer zusammen mit dem Untersuchungsbericht der Wasseranalyse bzw. mit dessen Entwurf zu übergeben.

Für die Grundwasser- und Oberflächenwasserentnahme und -untersuchung liegt ein zwischen BAW/Referat G3/K5 und BfG/Referat G1 abgestimmte Leistungsbeschreibung vor. Die beiden Oberbehörden BAW und BfG können hinzugezogen werden.

10.3.8 Rammpegel

Ein Rammpegel kann eine GWM nicht ersetzen! Ein Rammpegel sollte daher nur in Betracht gezogen werden, wenn ein Ausbau zu einer GWM nicht möglich ist oder bei einfachen Fragestellungen, bei denen eine Grundwassermessung nur temporär erforderlich ist.

Im Gegensatz zum Messstellenaufbau einer GWM erfordert die Herstellung eines Rammpegels nur einen relativ geringen Aufwand. Die bei Herstellung erreichbare Tiefe ist aufgrund der Rammung z. B. mittels eines Rammhammers im Wesentlichen von der Beschaffenheit des Bodens abhängig. Können z. B. Steine oder Findlinge durch die Rammung nicht verdrängt werden, ist eine weitere Einrammung an dieser Stelle nicht mehr möglich. Das mit einer Spitze versehene Filterrohr wird dabei meterweise bis in die gewünschte Tiefe eingerammt. Sowohl Filterrohr (geschlitztes Stahlrohr mit innen- oder außenliegendem Filter) als auch die Aufsatzrohre (geschlossene Stahlrohre) haben eine Rohrlänge von jeweils 1 m. Die Durchmesser sind i. d. R. auf 2“ (5 cm) begrenzt.

Rammpegel sind nicht für gering durchlässige (feinkörnige) und steinige Böden sowie zur Ermittlung von hydraulischen Kennwerten und nur bedingt zur Grundwasser-Probenahme geeignet.

Die Messungen erfolgen entsprechend der Messungen in einer GWM.

10.4 Vermessung der Aufschlusspunkte

Die direkten und indirekten Aufschlusspunkte der Baugrunduntersuchungen sind als georeferenzierte Daten so zu erfassen, dass sie in eine deutschlandweit gültige Datenbasis überführt werden können. Hinweise zur Datenübergabe gibt Kapitel 14.

10.5 Probenbehandlung, Lagerung, Dokumentation und Transport

Die Art und Weise der Probenbehandlung, die Lagerung und der Transport zum Labor können maßgeblich die Probengüte beeinflussen und sind deshalb von den jeweiligen Fachingenieuren/Fachingenieurinnen im Untersuchungsplan festzulegen. Eine vollständige Dokumentation ist eine wesentliche Voraussetzung für die Nachvollziehbarkeit gewonnener Daten und deren Interpretation.

Die Proben müssen unmittelbar nach der Entnahme beschrieben und beschriftet sowie versiegelt werden. Minderentnahmemengen bzw. Kernverluste bei der Probengewinnung sind im Liner kenntlich zu machen.

Die Liner sind in passenden Kernkisten und geschützt vor Erschütterungen aufzubewahren und zu transportieren. Aus Arbeitssicherheitsgründen sind ausschließlich Einfachkernkisten (pro Kernkiste ein 1 m-Liner) zu verwenden. Die Anforderungen an die Dokumentation, die Lagerung sowie die notwendige Ausstattung eines temporären Lagers und an den Transport sind für die verschiedenen Entnahmekategorien in der DIN EN ISO 22475-1 geregelt. Transport und Auslieferung müssen erschütterungsarm erfolgen. Für die Anlieferung der Proben an ein Labor sind deren zulässige Maximalgewichte für die Annahme der Proben (Maximalgewicht einer Palette) im Vorfeld des Transportes zu klären und zu beachten.

Es ist darauf zu achten, dass die entnommenen Proben zügig in die vorgesehene Lagerung gebracht und nicht der Witterung ausgesetzt werden. Ein temporäres Lager ist immer dann notwendig, wenn die Proben nicht zeitnah an das entsprechende Labor geliefert werden können.

Kernkisten, die Proben sowohl aus dem Baugrund als auch aus dem Massivbau (Übergangsbereich Bauwerk/Baugrund) beinhalten, sind sowohl dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin für den Massivbau als auch dem zuständigen Fachingenieur/der zuständigen Fachingenieurin für den Baugrund anzuzeigen. Diese müssen sich darüber verständigen, inwieweit der Übergangsbereich vom Bauwerk zum Baugrund eine Relevanz für den jeweiligen Untersuchungsbereich hat. Der Lagerungs- und Untersuchungsort ist in Rücksprache mit den beiden Fachingenieuren/Fachingenieurinnen gemeinsam festzulegen.

10.6 Verfüllung von Bohrlöchern

Die Verfüllung und den Rückbau von Bohrungen im Baugrund regelt die DIN EN ISO 22475-1. Das Merkblatt MQGeoE (FGSV 2015) gibt ergänzende Hinweise. Die Untersuchungsstelle ist so wiederherzustellen, dass keine Gefahr für die Öffentlichkeit, die Umwelt oder für Tiere zurückbleibt. Erfolgt über der Bohrlochverfüllung im Baugrund zudem ein Verschluss im Massivbau, sollte die Fuge zwischen Baugrund- und Massivbauverfüllung aufgrund der höheren Anforderungen an die Massivbauverfüllung im Baugrund liegen.

10.7 Laborprüfungen

Der Umfang der Laboruntersuchungen richtet sich nach der geotechnischen Fragestellung und dem anstehenden Baugrund. Im Sinne der vorgenannten Ziele dieser Empfehlung unterscheidet sich der Untersuchungsumfang im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung ggf. von dem für einen Geotechnischen Bericht nach Handbuch EC7, Band 2 (DIN 2011) bzw. nach DIN 4020. Der notwendige Untersuchungsumfang kann nur von einem geotechnischen Fachingenieur/einer geotechnischen Fachingenieurin festgelegt werden.

Die Bohrkernansprache bildet die Grundlage zur Klassifizierung der Baugrundeigenschaften und zur Festlegung der Laborversuche. Sie erfolgt für Boden auf Grundlage der DIN EN ISO 14688-1 und DIN EN ISO 14688-2 sowie für Fels auf Grundlage der DIN EN ISO 14689. Die in diesen Normen festgelegten Benennungen, Beschreibungen und Klassifizierungen werden direkt bei der Ansprache notiert. Grundvoraussetzung für die Durchführung der Laborversuche ist, dass die erforderliche Probengüte tatsächlich erzielt wurde.

Spätestens zur Bohrkernansprache sollten die Bohrprotokolle und die Auswertung der Bohrlochscanbefahrung vorliegen. Nur in Verbindung mit diesen Unterlagen können die Bohrkern richtig interpretiert und bewertet werden. Liegen diese Unterlagen noch nicht vor, so ist ein ggf. zeitintensiver Nachbereitungsaufwand notwendig.

Während der Ansprache werden die notwendigen Laborversuche an geeigneten Proben zunächst vorläufig festgelegt. Die endgültige Festlegung des tatsächlichen Laborprüfumfanges kann erst nach Beendigung der Ansprache aller Erkundungsbohrungen erfolgen, wenn ein gesamtheitlicher Überblick über das gesamte

Probenmaterial möglich ist. Je nach Boden und/oder Fels sowie vorgefundenen lokalen Besonderheiten sind Entnahmestellen, Versuchsart und Anzahl der Versuche auch im Hinblick auf eine statistisch mögliche Auswertung festzulegen. Diese Vorgehensweise bedingt einen hohen Zeitaufwand, der bereits bei der Planung mit zu berücksichtigen ist.

Rückstellproben sind immer dann sinnvoll, wenn ein Gelingen der Versuchsdurchführung nicht eindeutig garantiert werden kann oder wenn für spätere Fragestellungen noch Probenmaterial benötigt werden könnte.

Um Veränderungen der Probeneigenschaften nach dem Öffnen der Probe, wie z. B. ein zunehmender Wasserverlust infolge Verdunstens, zu minimieren, sollten nur so viele Kernkistenmeter bzw. Linermeter geöffnet werden, wie auch tatsächlich an diesem Tag angesprochen werden können. I. d. R. sind bei einfachem Baugrundverhältnissen pro Tag zwischen 20 m und 30 m Probenmaterial möglich.

Aussagen zum Trennflächengefüge und der Verwitterung können nur bei hochwertigen Proben (hochwertiges Bohrverfahren und hochwertige Probengewinnung) eindeutig getroffen werden. Die Schwierigkeit liegt darin, bohrbedingte Veränderungen von tatsächlich im Baugrund vorhandenen Trennflächengefügen und Verwitterungszuständen zu unterscheiden. Optische Bohrlochscans können dazu wichtige Hilfestellungen geben.

Eine Klassifizierung und Ermittlung von Baugrundkennwerten können folgende Informationen beinhalten. Darüber hinaus können je nach Aufgabenstellung weitere Informationen erforderlich oder aber auch weniger Informationen relevant sein.

Lockergestein:

- ortsübliche Beschreibung
- Schichtenfolge
- Benennung nach DIN EN ISO 14688-1 (Boden)
- Bodengruppe nach DIN 18196
- Wichte des feuchten Bodens und unter Auftrieb
- Konsistenz (bei bindigen Böden)
- Kalkgehalt, nach DIN 18129
- Glühverlust (bei Verdacht auf organische Anteile)
- Wassergehalt
- Plastizität
- Konsistenzgrenzen
- Steifemodule
- Scherfestigkeiten (Anfang-, End- und Restscherfestigkeit)
- Durchlässigkeitsbeiwert
- Wasseranalysen (physikalisch-chemische und chemische Kennwerte), siehe Kapitel 10.8

Festgestein:

- Benennung Fels, Felsart, Zusammensetzung des Festgestein nach DIN EN ISO 14689
- Wichte
- einaxiale Druckfestigkeit (unterschieden nach Gesteins- und Gebirgsparameter)
- Scherfestigkeit auf Trennflächen
- Kluftflächenabstände, Schichtflächenabstände nach DIN EN ISO 14689
- Kluftflächenbeschaffenheit
- Streichen und Fallen
- Durchlässigkeit
- ggf. Veränderlichkeitsklassen, nach DIN EN ISO 14689 für veränderlich festes Gestein
- ggf. direkte Scherversuche
- Wasseranalysen (physikalisch-chemische und chemische Kennwerte), siehe Kapitel 10.8

Ist davon auszugehen, dass im Anschluss an die geotechnische Erkundungskampagne im Rahmen der Bauwerksuntersuchung weitere geotechnische Folgeuntersuchungen notwendig werden, kann es sinnvoll sein, die nach der VOB/C erforderlichen Boden- und Felskennwerte und -eigenschaften für Bohrarbeiten nach DIN 18301 zu ermitteln. Neue Ausschreibungsunterlagen können mit diesen zusätzlichen Informationen detaillierter erstellt werden.

Die bei der Ansprache getroffenen Aussagen sind nach Abschluss der Versuchsergebnisse mit diesen abzugleichen. Die durchgeführten Versuche sind im Rahmen der geotechnischen Berichterstattung vollständig und nachvollziehbar zu dokumentieren. Bei Abweichungen der Versuchsergebnisse zur Ansprache sollte dies kommentiert bzw. es sollten die dann getroffenen Festlegungen erläutert werden.

Insgesamt ist der Prozess von der Probenanlieferung über die Ansprache mit anschließender Versuchsdurchführung bis zur Versuchsauswertung und der abschließenden Überprüfung/Korrektur der Ansprache sehr zeitaufwendig und im Rahmen des Zeitmanagements realistisch einzuplanen.

10.8 Wasseranalysen

Die Untersuchung der Wasserproben auf Betonaggressivität erfolgt nach DIN 4030-2. Die Beurteilung auf Betonaggressivität ist nach DIN 4030-1, die Untersuchung und Bewertung der Stahlaggressivität des Wassers nach DIN 50929-3 durchzuführen.

Zur Überprüfung der Plausibilität der Ergebnisse wird empfohlen, neben den Parametern gemäß DIN 4030-2 und gemäß DIN 50929-3 auch die Hauptkationen und -anionen untersuchen zu lassen sowie eine Ionenbilanz gemäß DIN 38402-62 zu erstellen. Insgesamt wird folgender erweiterter Untersuchungsumfang empfohlen:

- elektrische Leitfähigkeit
- Temperatur
- Redoxpotential
- Sauerstoffgehalt

Analyse aus der filtrierten Probe:

- Kaliumpermanganat-Verbrauch
- Magnesium
- Calcium
- Kalium
- Natrium
- Sulfat
- Nitrat
- Chlorid
- Eisen (II)
- Eisen (gesamt)
- Mangan

Analyse aus der unfiltrierten Probe:

- Säurekapazität KS_{4,3}/Hydrogencarbonat
- Kalkaggressive Kohlensäure mittels Marmor-/Calciumcarbonatlöseversuch
- Ammonium
- Sulfid

Rechenwerte:

- Ionenbilanz
- Gesamthärte
- Carbonathärte
- Nichtcarbonathärte
- Kalkaggressive Kohlensäure als Rechenwert

Dem geotechnischen Fachingenieur/der geotechnischen Fachingenieurin sollte vor dem abschließenden Gesamtbericht der Wasseranalysen dessen Entwurf gemeinsam mit dem Entnahmeprotokoll zur Kontrolle übergeben werden. Auf Grundlage dieser Erstbewertung können ggf. Kontrollmessungen nicht plausibler Analyseergebnisse aus z. B. Rückstellproben veranlasst werden. Erst nach Freigabe des Entwurfsberichts durch die Prüfung des geotechnischen Fachingenieurs/der geotechnischen Fachingenieurin sollte ein abschließender Gesamtbericht aufgestellt werden. Neben den Angaben der einzelnen Kennwerte sind im Bericht auch die Stahlaggressivität nach DIN 50929-3 und die Betonaggressivität der untersuchten Grundwasserproben nach DIN 4030-1 unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Kalziumkarbonatlöseversuchs nach DIN EN 13577 und unter Berücksichtigung der rechnerisch ermittelten Werte für den Gehalt an aggressiver Kohlensäure einzustufen.

11 Innovative Verfahren zur Bauwerksuntersuchung

11.1 Übersicht und Anwendungsbereiche

Zur Erfassung des Zustandes des Massivbaus sind verschiedene innovative Verfahren, z. B. unterstützend zur handnahen Prüfung, verfügbar. Im BAW-Forschungsvorhaben „Innovative Methoden zur Zustandserfassung“ (BAW 2023b) wurden unterschiedliche Verfahren für die Anwendungsbereiche der WSV untersucht. In diesem Forschungsvorhaben werden detaillierte Steckbriefe zum aktuellen Stand der untersuchten Verfahren zur Verfügung gestellt. In der nachfolgenden Tabelle 11 sind die aktuell wesentlichen Verfahren und ihre Anwendungsbereiche einschließlich deren Eignung für Bauwerksuntersuchungen zusammenfassend dargestellt. Angegeben ist die maximale theoretische Leistung, die mit den zu diesem Zeitpunkt auf dem Markt verfügbaren Geräten erreichbar ist. Die Größe des tatsächlich feststellbaren Schadens kann je nach verwendeter Messtechnik und den vorliegenden Aufnahmebedingungen hiervon abweichen. Aufgeführt werden digitale Verfahren, die nicht ortsfest angebracht sind und sich auf die optische oder akustische Erfassung der Bauteiloberfläche bzw. von sichtbaren Bereichen beschränken.

Tabelle 11: Eignung innovativer Verfahren zur Bauwerksuntersuchung nach (BAW 2023b)

Lfd. Nr.	Verfahren	Messprinzip	Anwendung für die Bauwerksuntersuchung				
			ÜW	UW	gut geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
1	UAS-gestützte Fotografie	optisch	x		Schwer zugängliche Bereiche, Schäden $\geq 0,3$ mm	Feuchte Flächen, Wasserschäden	Sehr enge Bereiche, Schäden $< 0,3$ mm, verdeckte Schäden
2	UAS-gestützte Photogrammetrie	optisch	x		Ebene Flächen, Schäden $\geq 0,5$ mm, Erstellung dreidimensionaler Oberflächenmodelle	Innenräume, Nischen, Wasserschäden, komplexe Geometrien	Sehr enge Bereiche, Schäden $< 0,5$ mm, verdeckte Schäden
3	Terrestrischer Laserscanner	optisch	x		Schäden $\geq 1,0$ mm	Feuchte Flächen	Schäden, die über ihre Farbe erfasst werden (z. B. Rostfahnen), mit Wasser bedeckte Schäden, Schäden $< 1,0$ mm, verdeckte Schäden
4	Ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug	optisch/akustisch		x	Störkörper, Vorsondierung für Tauchereinsätze	Schadenserfassung in Forschung	
5	Fächerecholot	akustisch		x	Erstellung dreidimensionaler Oberflächenmodelle, Vorsondierung für Tauchereinsätze	Schadenserfassung in Forschung	

ÜW – Über dem Wasserspiegel; UW – Unter dem Wasserspiegel

11.2 UAS-gestützte Fotografie

Unmanned aircraft systems (UAS), umgangssprachlich auch Drohnen genannt, sind unbemannte Luftfahrtsysteme, die meist per Fernsteuerung durch einen Piloten, seltener mit vorprogrammierten Flugrouten, gesteuert werden. Ausgestattet mit Kameras ermöglichen sie die visuelle Erfassung von Schäden mittels Fotografie, sowohl im Außenbereich und, mit spezieller Ausrüstung wie Kollisionsschutzkäfigen, auch in Engstellen und im Inneren von Bauwerken.

Im Vergleich zur händischen Schadensaufnahme empfiehlt sich der UAS-Einsatz vor allem in schwer zugänglichen Bereichen, z. B. bei hohen Masten und engen Umläufen, und bei größeren zu erfassenden Flächen, z. B. bei Kammerwänden von Schleusen. Mit den derzeit am Markt erhältlichen Kameras kann bei idealen Umweltbedingungen, z. B. guten Lichtverhältnissen und entsprechenden Fähigkeiten des Piloten, eine minimale Bildauflösung bis zu ca. 0,3 mm erreicht werden. Dementsprechend könnten Schäden größer als ca. 0,3 mm, wie Risse ab einer Weite von ca. 0,3 mm, Abplatzungen, Abwitterungen und vieles mehr erfasst werden. Die tatsächlich erreichte Auflösung ist vor allem vom erreichten Aufnahmeabstand, dem verwendeten Kamerasensor und vom Objektiv abhängig. Sehr feine Risse mit einer Breite kleiner 0,3 mm, wie z. B. Netzrisse, und verdeckte Schäden, wie z. B. Hohlräume, können mit der UAS-gestützten Fotografie nicht erfasst werden. Erste Tests weisen jedoch darauf hin, dass Hohlstellen und Hohlräume durch Wärmebildkameras, die an das UAS angebracht werden können, erfassbar sind. Die Erfassung von feuchten Oberflächen und Wassereinträgen ist aufgrund von Reflexionen nur eingeschränkt möglich. Die Breite eines zu erfassenden Nischenbereichs sollte in Abhängigkeit des verwendeten Modells bei der Außenraumdrohne mindestens ca. 3 m und bei der Innenraumdrohne mindestens ca. 1 m liegen.

Vor dem Flug sollte die Einhaltung der geltenden Aufstiegsvorschriften, das Vorhandensein eines gültigen Kenntnisnachweises, einer Drohnen-Registrierungsnummer und eines Versicherungsnachweises überprüft werden. Die genauen Regelungen finden sich in der „Durchführungsverordnung DVO (EU) 2019/947“ (EU 2019b), der „delegierten Verordnung (EU) 2019/945“ (EU 2019a) und der Luftverkehrsordnung (LuftVO) §§21a bis 21f (BMJ 2015). Während des Fluges ist darauf zu achten, dass es wenig Publikumsverkehr am Bauwerk gibt und die Wetterbedingungen günstig sind (kein Niederschlag, Windgeschwindigkeiten < ca. 40 km/h für Außenraum, < ca. 20 km/h für Innenraum). Speziell bei Innenraumdrohnen ist eine zusätzliche Ausleuchtung des Bereichs durch eine externe Lichtquelle zur Verbesserung der Lichtverhältnisse empfehlenswert.

11.3 UAS-gestützte Photogrammetrie

Die mit unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) aufgenommenen Einzelbilder (siehe Kapitel 11.2 UAS-gestützte Fotografie) können mit der Methode der Photogrammetrie zusammengefügt werden. Voraussetzung dafür ist die Erfassung einer großen Anzahl von Bildern mit einer Überlappung von 60 % bis 80 % und in konstantem Abstand zur zu erfassenden Oberfläche. Aus den überlappenden Einzelbildern kann entweder ein entzerrtes 2D-Bild, ein sogenanntes Orthophotomosaik, oder ein texturiertes 3D-Modell der Bauwerksoberflächen erstellt werden, siehe Abbildung 39.

Durch diese Nachbearbeitung, die üblicherweise im Nachgang zur Befliegung mit Spezialsoftware geschieht, ist eine verringerte Auflösung von ca. 0,1 - 0,2 mm im Vergleich zum Einzelbild zu erwarten. Das bedeutet, dass im Unterschied zu den im vorherigen Abschnitt aufgeführten Schäden vermutlich keine Schäden kleiner als 0,5 mm erkannt werden können. Das Verfahren kann besonders effizient für die Aufnahme von ebenen Flächen, z. B. Wänden, eingesetzt werden, da hier der Aufwand für die Befliegung und Nachbearbeitung am geringsten ist. Die vollständige Abbildung komplexer Strukturen wie z. B. Steigleitern kann dagegen aufgrund der zahlreichen Kanten der Objekte mit einem unverhältnismäßig hohen Aufnahme- und Auswertungsaufwand verbunden sein.



Abbildung 39: *Beispielhaftes texturiertes Modell (links) und Orthophotomosaik (rechts) eines Kammerabschnittes der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord (BAW 2023b)*

Die Orthophotomosaik und das 3D-Modell liefern zusätzlich zum einzelnen Schadensbild die Information über die Lage der Schäden, womit sie als Schadenskartierung genutzt werden können. Speziell das 3D-Modell kann zudem als Grundlage für weitere Building Information Modelling (BIM)-Anwendungen dienen. Eine regelmäßige UAS-gestützte Aufnahme des Bauwerks und ihre photogrammetrische Nachbearbeitung, z. B. bei jeder Trockenlegung, ermöglicht es zudem, die Entwicklung von Schäden über die Zeit auf einfache Weise zu verfolgen.

Zusätzlich zu den im vorherigen Kapitel aufgeführten Punkten ist bei der Vorbereitung, Durchführung und Nachbearbeitung der UAS-gestützten Photogrammetrie das Folgende zu beachten. Zur Georeferenzierung des Modells, d. h. zur Positionierung in einem Koordinatensystem, sind Passpunkte, d. h. eindeutig identifizierbare Messmarken, zu setzen und einzumessen. Während eines längeren Fluges sollte direkte Sonneneinstrahlung auf die zu fotografierenden Flächen vermieden werden, da der wandernde Sonnenstand das Zusammenfügen der einzelnen Bilder erschweren kann. Zur Auswertung der Daten sollte ein für moderne 3D-Grafikanwendungen ausgerüsteter PC (moderne Grafikkarte, großer Arbeitsspeicher etc.) verwendet werden. Die Auswertung kann bei Orthophotomosaiken mit GIS-Programmen (z. B. QGIS, ARCGIS) und bei Punktwolken mit entsprechenden Anzeige- und Auswertungsprogrammen (z. B. CloudCompare) erfolgen.

11.4 Terrestrischer Laserscanner (TLS)

Ein terrestrischer Laserscanner (TLS) ist ein auf einem Stativ installiertes, berührungsloses Messsystem, das mit Hilfe von Lasersignalen ein digitales Bild der Umgebung erstellt. Dazu sendet das Messsystem rotierende Lasersignale aus und empfängt deren Reflexion aus der Umgebung. Die Zeit zwischen ihrem Senden und Empfangen liefert Informationen über die Entfernung der umgebenden Objekte und deren Oberflächenbeschaffenheit. Das Ergebnis ist eine 3D-Punktwolke der Umgebung, die allein auf Basis der Laserscandaten – im Gegensatz zu den von Drohnen erzeugten Punktwolken – kein reales Bild der Bauwerksoberflächen liefern, siehe Abbildung 40. Durch eine zusätzliche Anbringung einer RGB-Kamera am Laserscanner kann diesem Umstand durch Projektion der aufgenommenen Bilder auf die Punktwolke begegnet werden.

Der terrestrische Laserscanner hat sich seit vielen Jahren als Instrument zur Vermessung von Gebäuden und anderen Objekten etabliert. Sein Einsatz zur Erfassung von Schäden an Bauwerken befindet sich jedoch

noch im Anfangsstadium. Die höchste Auflösung, die mit den bisher auf dem Markt befindlichen Standardgeräten erreicht werden kann, liegt in Abhängigkeit von den Randbedingungen bei ca. 1,0 mm, so dass vermutlich Schäden wie Verformungen, Verwitterungen, Abplatzungen und Ähnliches erkannt werden können.

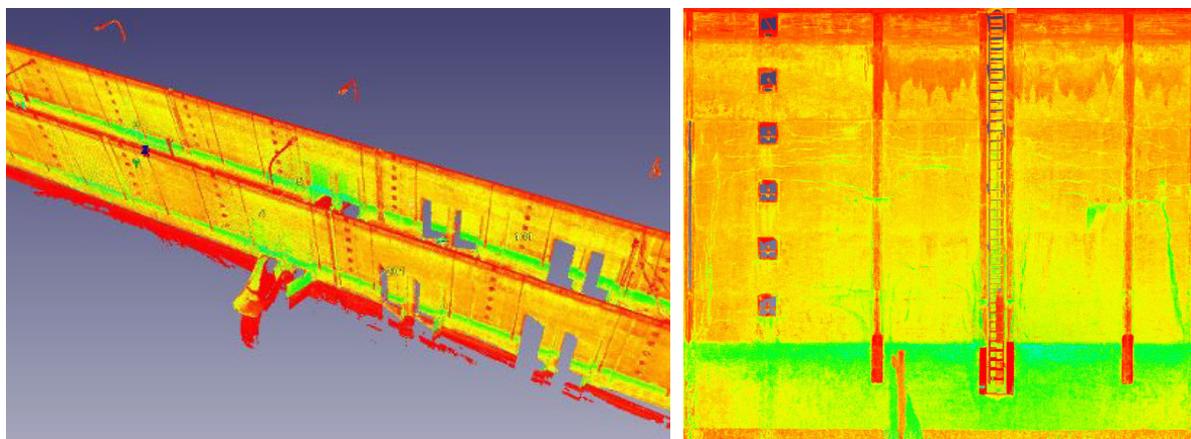


Abbildung 40: Beispielhafte Aufnahmen eines Laserscanners, eingefärbt nach Intensitätswerten, der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord (BAW 2023b)

Bei älteren Modellen ist häufig die fehlende Fähigkeit zur Erkennung von Farben zu beachten, wodurch Schäden, die allein durch ihre Farbe erkennbar sind, wie z. B. Rostfahnen und Ausblühungen, nicht erkannt werden können.

Beim Einsatz des Laserscanners sind ein geringer Publikumsverkehr und kein oder nur leichter Niederschlag von Vorteil, da beides den Nachbearbeitungsaufwand erhöht. Für die Georeferenzierung des Modells ist es notwendig, Pass- und Festpunkte zu setzen. Zur Betrachtung des 3D-Modells wird eine speziell für die Darstellung von Punktwolken entwickelte Software (z. B. CloudCompare als open source) benötigt.

11.5 Ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug (ROV)

Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge (Remotely Operated Vehicle, ROV) sind Unterwasserroboter, die vom Land aus gesteuert werden. Zur Erfassung des Bauwerkszustandes unter Wasser sind sie mit RGB-Kameras und/oder bildgebenden Sonargeräten ausgestattet, siehe Abbildung 41. Andere Hilfsmittel sind z. B. Greifer, die das Greifen von Objekten ermöglichen, und Abstandssensoren, mit denen die Bestimmung der Position von Objekten im Raum erfolgen kann. Die Stromversorgung erfolgt in der Regel über ein Kabel, das an Land geführt wird. Das bildgebende Sonar (Sound Navigation And Ranging) basiert auf der Aussendung von Schallwellen, die am Objekt reflektiert werden und deren Rückstrahlung am Messgerät gemessen wird.

Der Einsatz von ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen zur Erkennung von Schäden ist vor allem bei unter Wasser liegenden Bereichen von Offshore-Anlagen oder bei Brücken verbreitet. Bei Wasserbauwerken ist ihre Anwendung derzeit weitgehend auf die Erkennung größerer Störkörper unter Wasser wie verlorene Schiffsladungen oder große Mengen an Geschiebe beschränkt. Inwieweit sich das Verfahren zur Detektion von Oberflächenschäden an Beton- und Stahlbetonbauwerken eignet, ist Gegenstand aktueller Forschung und hängt unter anderem vom Verschmutzungsgrad der zu detektierenden Bereiche und der Sichtweite im Gewässer ab. Denkbar ist der Einsatz der Technik bei Bauwerken, die nicht trockengelegt werden können, um eine Vorsondierung der Schäden für eine anschließende Untersuchung durch Taucher vorzunehmen.

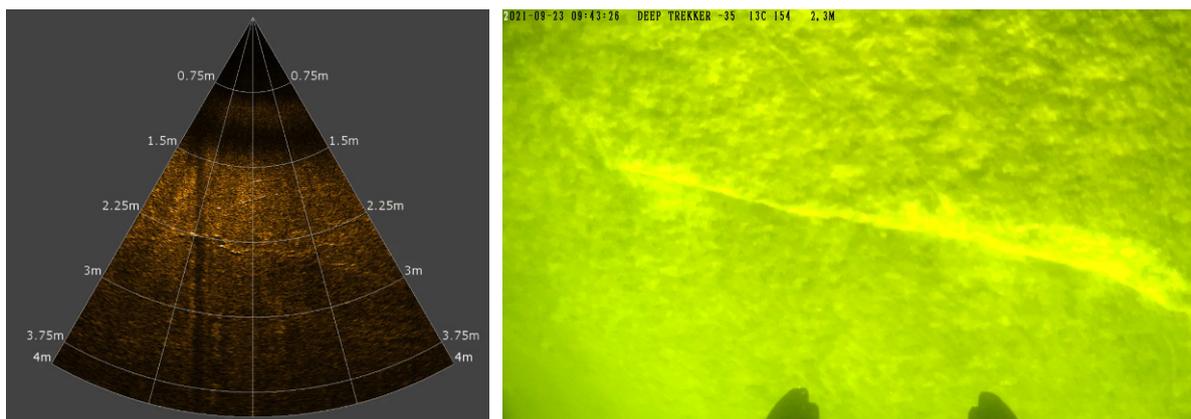


Abbildung 41: Beispielhafte Aufnahme einer Kammerwand der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord durch das Sonar (links) und der Videokamera (rechts) eines ROV (BAW 2023b)

11.6 Fächerecholot

Bei einem Fächerecholot werden mehrere gerichtete Schallimpulse gleichzeitig fächerförmig ausgesendet und von der Umgebung reflektiert. Die Zeit zwischen der Aussendung der Impulse und dem Eintreffen der Reflexionen am Messgerät gibt Aufschluss über die Entfernung der Objekte, wodurch ein Oberflächenprofil der Umgebung erstellt werden kann. In der Regel wird das Messgerät auf einem Boot installiert, weshalb die Anwendung vorrangig auf Bauwerke beschränkt ist, die mit einem Boot zugänglich sind. Durch den kombinierten Einsatz des Verfahrens mit unbemannten Luftfahrtsystemen oder terrestrischen Laserscannern besteht auch die Möglichkeit einer gleichzeitigen Aufnahme von Bereichen über und unter Wasser. Die Technik wurde bisher schwerpunktmäßig zur Bestimmung von Wassertiefen oder der Beschaffenheit des Meeresbodens eingesetzt. In jüngster Zeit wird sie aber auch vermehrt zur Erstellung dreidimensionaler Oberflächenmodelle von unter Wasser liegenden Bauwerksteilen oder zu Erkennung größerer Störkörper verwendet, siehe Abbildung 42. Im Vergleich zum ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug verfügt das Fächerecholot über eine etwas geringere Auflösung, ermöglicht dafür aber die schnelle Erfassung großer Flächen und deren anschließende dreidimensionale Darstellung.

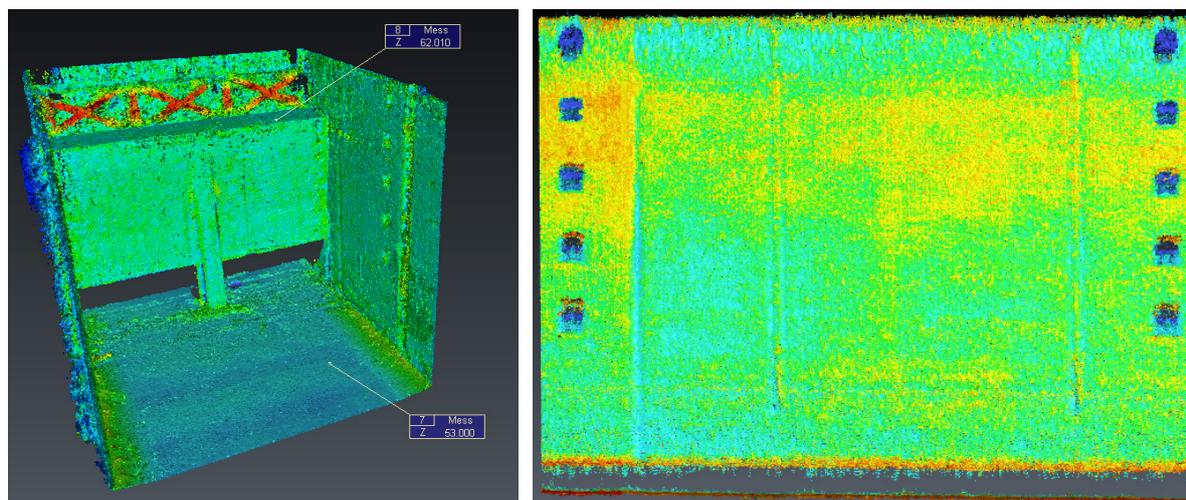


Abbildung 42: Beispielhafte Aufnahme eines Schleusentores (links) und eines Kammerabschnittes (rechts) der Schiffsschleusenanlage Sülfeld Nord durch ein Fächerecholot (BAW 2023b)

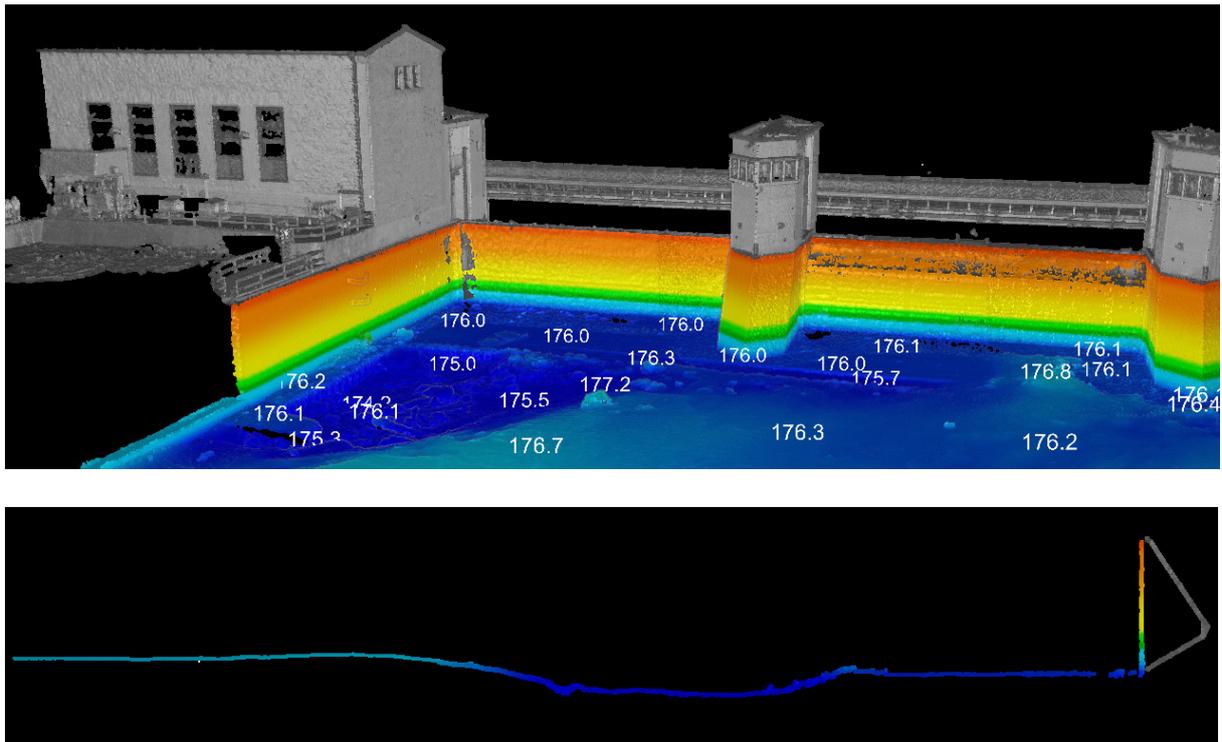


Abbildung 43: Wehranlage Hessigheim, Fächerecholotaufnahme Krafthaus mit 2 Wehrverschlüssen (unter Wasserspiegel) und mit mobilem Laserscanner (über Wasserspiegel) sowie dazugehörigem Längsschnitt (VRT Finland Ltd 2021)

12 Entsorgung

Die Entsorgung der anfallenden Abfälle muss gemäß der Mantelverordnung (MantelV) (BMJ 2023b) erfolgen und umfasst gem. §3 Abs. 22 KrWG (BMJ 2012) die Verwertung und Beseitigung. Entsorgt werden müssen im Allgemeinen:

vor Ort Anfallendes:

- Reinigungswasser zur Vorbereitung der Besichtigungs- und Prüfflächen am Bauwerk
- Verschmutzungen und Ablagerungen in Verschlüssen
- Strahlabfälle
- Bohr- bzw. Spülwasser
- Abbruchmaterial
- in Ausnahmefällen nicht prüffähige Bohrkern- und Probenreste

im Labor Anfallendes:

- Bohrkern- und Probenreste
- Bohrkernkisten und -liner
- Stahl- und Beschichtungsproben

Das bei der Vorbereitung von Oberflächen anfallende Reinigungswasser kann schadstoffbelastet sein.

Bei der Bohrkernentnahme aus dem Bauwerk und dem Baugrund erfolgt das Bohren meist mit Bohrspülung. Die Bohrspülung, in der Regel Wasser, ist mit Feinanteilen aus dem Bohrmaterial bzw. der Bohrkronen abgereichert. Die Bohrspülung der Betonbohrungen ist zusätzlich i. d. R. hoch alkalisch und muss neutralisiert werden. Die Bohrspülung darf nicht direkt in ein Gewässer eingeleitet werden. Sie muss entsprechend der DIN 18301 fachgerecht entsorgt werden.

Die Regelungen und Grenzwerte zur Einleitung in Gewässer finden sich sowohl im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (BMJ 2009) als auch in den weiteren bundes- bzw. landesrechtlichen Vorschriften zum Gewässerschutzrecht. Vor einer Einleitung ins Gewässer ist die zuständige Behörde ins Benehmen zu setzen. Diese gibt ggfs. auch von den oben genannten Vorschriften abweichende Vorgaben in Bezug zu einzuhaltenden Grenzwerten vor.

Die emissionsbezogenen Anforderungen sind in der Abwasserverordnung (AbwV) (BMJ 1997) festgelegt. Sie enthält neben Rahmenvorschriften und Bestimmungen zu einzelnen Analyse- und Messverfahren in ihren Anhängen spezielle schadstoffbezogene Anforderungen an Abwasser aus verschiedenen Herkunftsbereichen und Produktionszweigen. Fachlich zuständig sind die jeweiligen unteren Wasserbehörden der Stadt- und Landkreise, die Auskunft über die einzuhaltenden Grenzwerte geben. In der Regel ist eine Direktinleitung wegen Überschreitung von Grenzwerten nicht möglich, so dass das Bohrwasser vor Einleitung oder Entsorgung zunächst aufgefangen und behandelt werden muss.

Neben den überschüssigen Proben müssen auch das nicht prüffähige Bohrkern- bzw. Abbruchmaterial sowie die Bohrkernkisten, PVC-Liner und Paletten nach der Untersuchung im Labor fachgerecht entsorgt werden. Seitens des Auftragnehmers/der Auftragnehmerin ist darüber ein Entsorgungsnachweis zu führen und der Auftraggeberin im Anschluss unaufgefordert vorzulegen. Für mineralische Ersatzbaustoffe und ihre Gemische können ebenfalls Lieferscheine nach Anlage 7 EBV (BMJ 2023a) bzw. Anzeigepflichten erforderlich werden.

Für die Entsorgung von gefährlichen Abfällen (z. B. schadstoffbelastete Oberflächenschutzsysteme) ist die elektronische Nachweisführung in der WSV vorgeschrieben. Für die WSV ist bundesweit nach Erlass WS 14/5242.1/2-5 (BMVBS 2013) eine Registrierung über die NGS (Niedersächsische Gesellschaft zur Endlagerung von Sonderabfällen mbH) mit dem Abfallmanagementsystem ZEDAL erforderlich. Bei der Abwicklung von Baumaßnahmen ist vorab zwischen gefährlichem und nicht gefährlichem Abfall zu unterscheiden. Bei der zuständigen Behörde (i. d. R. Landratsamt) wird eine eindeutig zugewiesene Erzeugernummer beantragt. In ZEDAL erfolgt die Erstellung des Entsorgungsnachweises. Hierfür sind Angaben wie Art des zu entsorgenden Abfalls, Menge und Deponie notwendig. Das elektronische Nachweisverfahren erfolgt dann mit Begleitscheinen. Diese sind für den Transport notwendig und für die Annahme beim Entsorger vorzulegen.

13 Fachberichte

13.1 Allgemeines

Ein Fachbericht ist eine umfassende Darstellung und Auswertung der im Rahmen der Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse ggf. unter Einbeziehung der Ergebnisse zurückliegender Untersuchungen und Bestandsdaten. Er ist durch den jeweiligen beauftragten Fachingenieur/die jeweilige beauftragte Fachingenieurin zu erstellen.

Allen Berichten, Protokollen, Plänen und Versuchsauswertungen ist gemein, dass die darin beschriebenen Sachverhalte und Versuchsergebnisse bzw. Versuchsdaten für eine Drittperson eindeutig und vollumfänglich im Zusammenhang mit den vorhandenen Randbedingungen nachvollziehbar sowie bewert- und kontrollierbar sein müssen. Die zugehörigen Normen sind zu beachten und auszuweisen. Ggf. erforderliche Abweichungen von Normen und Vorschriften sind zu dokumentieren und zu begründen sowie besondere Vorkommnisse festzuhalten.

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse sind in der Zusammenfassung der Fachberichte in übersichtlicher Form darzustellen. Es wird eine tabellarische Form empfohlen (siehe Anlagen).

13.2 Baustoffgutachten

Das Baustoffgutachten (Fachbericht Massivbau) sollte folgende Inhalte aufweisen:

- Untersuchungsziel
- Wissensstand unter Angabe der verwendeten Bestandsunterlagen
- Bauwerks-/Bauteilbeschreibung (Istzustand, Ergebnisse der Schadensaufnahme)
- Darstellung der Probenahme- und Untersuchungsverfahren am Bauwerk (Prüfvorschriften, Normen, ggf. abweichende Festlegungen, inkl. Begründung, Besonderheiten bei der Durchführung, Auffälligkeiten)
- Angaben zur Lagerung der Proben auf der Baustelle und Transport zum Prüflabor (Art und Zeitraum der Lagerung auf der Baustelle und des Transports zum Prüflabor)
- Darstellung der Laborprüfverfahren (Prüfvorschriften, Normen, Lagerungsbedingungen der Proben, ggf. abweichende Festlegungen, inkl. Begründung, Besonderheiten bei der Durchführung, Auffälligkeiten)
- angewandte statistische Auswerteverfahren und Umrechnungsfaktoren
- detaillierte Darstellung der Untersuchungsergebnisse und baustoffliche Bewertung, inkl. Einschätzung der Aussagesicherheit der gewonnenen Erkenntnisse
- zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse und der baustofflichen Bewertung

Anlagen:

- Istzustands-/Schadensdokumentation mit eindeutiger Zuordnung zum Bauwerksbereich
- Probenahme- und Untersuchungsplan mit Angabe der Lage sämtlicher Probenahme- und Untersuchungsbereiche (grafische Darstellung mit nachvollziehbarer Vermaßung und Bezeichnung)
- Bohrprotokolle gemäß BAWMerklblatt MBK (BAW 2012a)
- Dokumentation der Prüfungen und Untersuchungen am Bauwerk, inkl. Fotos und Prüfprotokolle
- Bohrkernansprachen und fotografische Dokumentation der Bohrkern mit Angabe der Lage der Prüfkörper im Bohrkern

- Dokumentation der Laborleistung (inkl. Inhaltsverzeichnis, Darstellung der Prüfungen je Bohrkern inkl. Lage der Prüfkörper im Bohrkern, Tabellarische Zusammenstellung der Prüfergebnisse, Zusammenstellung aller Prüfberichte)

Für die Darstellung der Untersuchungsergebnisse wird empfohlen, eine für das untersuchte Bauwerk sinnvolle Einteilung nach Bauwerksteilen gemäß Kapitel 8.1 vorzunehmen. Bauwerksteile mit übertragbaren Ermittlungsergebnissen können zusammengefasst werden.

13.3 Untersuchungsberichte Stahl und Korrosionsschutz

13.3.1 Untersuchungsbericht Stahl

Im Untersuchungsbericht Stahl (Fachbericht Stahl) sind alle Kennwerte, die bei den Prüfungen gewonnen wurden, aufzuführen.

In den im Kapitel 9 aufgeführten Prüfnormen sind die Mindestangaben für den jeweiligen Prüfbericht festgelegt. Eine Dokumentation der Entnahmestellen ist ebenso wie die Beurteilung der Kennwerte als Auswirkung auf die Tragfähigkeit erforderlich. Grundsätzlich sollte eine Beurteilung der Schweißbarkeit des Stahls und der Sprödbruchempfindlichkeit erfolgen.

Der Untersuchungsbericht sollte im Wesentlichen die folgenden Punkte beinhalten:

- Ziel der Materialuntersuchung
- Kennwerte gemäß den Bestandsunterlagen
- Entnahmeplan
- ggf. Ergebnisse der Schadensaufnahme am Verschluss inklusive Dokumentation
- Darstellung der Probenahme- und Untersuchungsverfahren am Verschluss (Prüfvorschriften, Normen, ggf. abweichende Festlegungen, Auffälligkeiten)
- Darstellung der Laborprüfverfahren (Prüfvorschriften, Normen, Auffälligkeiten)
- angewandte statistische Auswerteverfahren
- detaillierte Darstellung der Untersuchungsergebnisse und deren Bewertung
- zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Anlagen:

- Fotodokumentation des Istzustands (Schäden)
- Probenahme- und Untersuchungsplan mit Angabe der Lage sämtlicher Probenahme- und Untersuchungsbereiche (grafische Darstellung mit nachvollziehbarer Vermaßung und Bezeichnung)
- Dokumentation der Prüfungen und Untersuchungen am Bauwerk und im Labor inkl. Fotos und Prüfprotokolle
- Zusammenstellung der Einzelprüfergebnisse, inkl. vollumfänglicher Angaben entsprechend der angewandten Prüfvorschriften

13.3.2 Untersuchungsbericht Korrosionsschutz

Im Untersuchungsbericht Korrosionsschutz (Fachbericht Korrosionsschutz) sind alle Beobachtungen und Kennwerte, die bei der Sichtprüfung und den Prüfungen gewonnen werden, aufzuführen.

In den im Kapitel 9 aufgeführten Prüfnormen für den Korrosionsschutz sind die Angaben für die Prüfberichte festgelegt. Eine Dokumentation der Entnahmestellen ist ebenso wie die Beurteilung der Kennwerte als Auswirkung auf die Gebrauchstauglichkeit erforderlich.

Der Untersuchungsbericht sollte im Wesentlichen die folgenden Punkte beinhalten:

- Ziel der Korrosionsschutzuntersuchung
- Kennwerte, bzw. Beschichtungssystem gemäß den Bestandsunterlagen (Korrosionsschutzdatenbank oder Beschichtungspläne des WSA)
- Entnahmeplan
- Schadensaufnahme an der Beschichtung (Sichtprüfung, ggf. Kreuzschnitt- bzw. Haftabzugsprüfung, Entnahme Probenmaterial)
- Darstellung der Probenahme- und Untersuchungsverfahren vor Ort (Prüfvorschriften, Normen, ggf. abweichende Festlegungen, Auffälligkeiten)
- Darstellung der Laborprüfverfahren (Prüfvorschriften, Normen, Auffälligkeiten)
- detaillierte Darstellung der Untersuchungsergebnisse und deren Bewertung
- zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Anlagen:

- Fotodokumentation des Istzustands (Schäden)
- Probenahme- und Untersuchungsplan mit Angabe der Lage sämtlicher Probenahme- und Untersuchungsbereiche (grafische Darstellung mit nachvollziehbarer Vermaßung und Bezeichnung)
- Dokumentation der Prüfungen und Untersuchungen am Bauwerk und im Labor inkl. Fotos und Prüfprotokolle
- Zusammenstellung der Einzelprüfergebnisse, inkl. vollumfänglicher Angaben entsprechend der angewandten Prüfvorschrift

13.4 Fachbericht Geotechnik

Die Mindestanforderung des Fachberichts Geotechnik ist im Rahmen der Zielsetzung dieser Empfehlung der Geotechnische Untersuchungsbericht nach DIN EN 1997-2:2010, Kapitel 6.1. In Bezug auf die Bestimmung der technischen Eigenschaften des zu untersuchenden Bauwerks sind zusätzlich zum geotechnischen Untersuchungsbericht ggf. eine Auswertung und eine Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse entsprechend A7.2 der DIN 4020:2010 notwendig. Eine Gründungsempfehlung ist im Zusammenhang dieser Zielsetzung hingegen nicht erforderlich. Damit liegt der Geotechnische Fachbericht zwischen einem Geotechnischen Untersuchungsbericht und einem Geotechnischen Bericht nach DIN 4020. Um für einen späteren Zeitpunkt möglicherweise notwendig werdende Untersuchungen besser planen und ausschreiben zu können, kann es bereits mit dieser geotechnischen Berichterstattung sinnvoll sein, z. B. für Bohrarbeiten nach DIN 18301 Homogenbereiche zu definieren.

Folgende Inhalte sollte der geotechnische Fachbericht i. d. R. aufweisen:

- Angaben zum Baugrund
 - regionale geologische Situation
 - historische Erkundung mit ggf. vorhandenen Bestandsunterlagen
 - Baugrunduntersuchungen
 - geotechnische Laborversuche
 - Baugrundbeschreibung
- ggf. Baugrundkennwerte für erdstatische und für felsmechanische Nachweise
- Grund- und Oberflächenwasser*
- Stahl- und Betonaggressivität von Boden und Wasser
- ggf. Einteilung in Homogenbereiche

Die Datengrundlagen, die zur Beschreibung und Bewertung des Baugrunds und des Grundwassers dienen, sind der Berichterstattung für Dritte nachvollziehbar als Anlagedokumente hinzuzufügen.

Im Einzelnen können dies die folgenden Anlagen sein:

- Geographischer Lageplan
- Lageplan der Baugrunderkundung und der Baugrundschnitte
- Baugrundschnitte
- Bohr**- und Sondiererergebnisse sowie ggf. GWM-Ausbau
- Bohrlochversuche
- Laborversuche
- Fotodokumentation der Bohrkerne
- Probenahme- und Untersuchungsverfahren vor Ort (Prüfvorschriften, Normen, ggf. abweichende Festlegungen, Auffälligkeiten)
- Wasseranalysen
- Grund- und Oberflächenwasser (Ganglinien)

*Anmerkung: Die Festlegung der charakteristischen Grundwasserstände erfolgt aufgrund der planungsbegleitenden Abstimmungen zwischen Auftraggeberin, Planendem und Grundwasser-Fachingenieur/-Fachingenieurin oft zu einem späteren Zeitpunkt und in einer separaten gutachterlichen Stellungnahme.

**Anmerkung: Die Visualisierung der Bohrkernansprache, d. h. die zeichnerische Darstellung der Bohrsäule erfolgt nach DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689 und DIN 4023.

14 Datenübergabe

Die Übergabe der Protokolle, Berichte und der Daten erfolgt gemäß vertraglicher Vorgabe der Auftraggeberin.

Alle übergebenen Unterlagen müssen vollständig, nachvollziehbar und plausibel sein. Die Daten sind durch den Auftragnehmer/die Auftragnehmerin so zu übergeben, dass deren Nutzbarkeit ohne weiteren Nachbearbeitungsaufwand gegeben ist.

Für die Übergabe von digitalen Daten an die WSV ist die „Richtlinie Datenlieferung - Richtlinie für die Übergabe digitaler Unterlagen an Dienststellen der WSV, Ri-DaLi“ (ITZ Bund 2022) zu beachten.

Für die Übergabe von digitalen Daten an die BAW ist die „Richtlinie Datenlieferung - Übergabe digitaler Produkte an die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)“ (BAW 2019b) zu beachten.

15 Bezugsvorschriften und Regelwerke

Nachfolgend werden ausgewählte Bezugsvorschriften und Regelwerke aufgeführt und deren Zielsetzungen und Inhalte sowie deren Nutzbarkeit im Rahmen einer Bauwerksuntersuchung dargestellt.

(1) Baufachliche Richtlinien Kampfmittelräumung (BFR KMR), (BMI 2018)

Die Baufachlichen Richtlinien Kampfmittelräumung BFR KMR geben Arbeitshilfen zur Planung und Ausführung der Erkundung, Bewertung und Räumung von Kampfmitteln auf Liegenschaften des Bundes. Für Kampfmittelräumungen außerhalb der Zuständigkeit des Bundes sind diese BFR grundsätzlich geeignet.

(2) BAWMerkblatt „Bauwerksinspektion“ (MBI), (BAW 2010)

Das BAWMerkblatt MBI unterstützt die nach VV-WSV 2101 durchzuführenden Bauwerksinspektionen hinsichtlich Vorbereitung, Durchführung und Ergebnisdarstellung. Dabei werden alle Objektarten, die gemäß der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2101 zu inspizieren sind, berücksichtigt.

Die Hinweise zur sicherheitstechnischen Vorbereitung, zur Reinigung des Bauwerks, zu Besonderheiten bei der Trockenlegung sowie zur Durchführung von Tauchereinsätzen gelten sinngemäß auch für die Durchführung von Bauwerksuntersuchungen dieser Empfehlung.

(3) BAWMerkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke“ (TbW), (BAW 2016)

Das Merkblatt dient der Untersuchung und Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke und ermöglicht eine strukturierte und einheitliche Vorgehensweise. Dem Tragwerksplaner/der Tragwerksplanerin eröffnet das Merkblatt durch spezielle Regelungen und Vorgaben einen erweiterten Handlungsspielraum und bietet die Möglichkeit, Tragwerksreserven stärker herauszuarbeiten. Das Merkblatt gilt für Bauwerke, die nicht nach aktuellem Normungsstand geplant bzw. errichtet wurden und älter als 10 Jahre sind. Die Anwendung ist auch zulässig im Rahmen von Instandsetzungen, ggf. auch bei sich ändernden Einwirkungen, wenn dabei das Tragsystem im Massivbau erhalten bleibt und daran keine wesentlichen Eingriffe vorgenommen werden. Das Vorgehen gemäß Merkblatt ist in die drei Untersuchungsstufen A, B und C mit steigendem Aufwand eingeteilt. Ab Stufe B sind aktualisierte Baustoff- und Baugrundkenngrößen und damit Bauwerksuntersuchungen erforderlich.

Das Merkblatt gibt Hinweise zur Planung und Durchführung von Bauwerksuntersuchungen zur Ermittlung der ab Stufe B erforderlichen Kennwerte sowie zu deren Bewertung.

Die Hinweise des Merkblatts zur Ermittlung der baustofflichen Kennwerte können sinngemäß auch für Bauwerksuntersuchungen, die auf eine Planung für maßgebliche Eingriffe in das Tragwerk sowie Verbesserungen im Sinne der DIN 31051 ausgerichtet sind, und damit außerhalb des Geltungsbereiches des Merkblattes liegen, angewandt werden.

(4) BAWMerkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Verschlüsse im Stahlwasserbau“ (TbVS), (BAW 2018)

Das BAWMerkblatt TbVS dient der Untersuchung und Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bestehender Stahlwasserbauverschlüsse. Es gilt nur für bestehende Verschlüsse, die nicht nach dem aktuellen Normungsstand bemessen wurden. Die nach TbVS erfolgte Bewertung der Tragfähigkeit von Verschlüssen im Stahlwasserbau ist in der Regel durch einen Prüfenieur/eine Prüfenieurin statisch und konstruktiv zu prüfen.

Das TbVS enthält Hinweise auf durchzuführende Materialuntersuchungen und deren Auswertung. Das TbVS findet sowohl Anwendung, wenn die Materialeigenschaften nicht bekannt sind, als auch zur Verifizierung des verbauten Materials. Die ermittelten Materialeigenschaften dienen der Bewertung der Tragfähigkeit.

- (5) BAWMerkblatt „Bohrkernentnahme für Bauwerksuntersuchungen“ (MBK), (BAW 2012a)

Das BAWMerkblatt MBK gibt Hinweise zur Planung, Vergabe, Vorbereitung und Durchführung von Bohrkernentnahmen aus Bauwerksteilen und Bauwerken. Es werden die gebräuchlichen Bohrverfahren, ihre Einsatzmöglichkeiten und -grenzen vorgestellt. Das BAWMerkblatt unterstützt die Ausführung durch Vorlagen zur Dokumentation der Bohrkernentnahmen und des Entnahmeprozesses.

Das Merkblatt sollte im Bauvertrag in Bezug genommen werden. Die entsprechenden, im Bauvertrag wirksam werdenden Abschnitte sind im Merkblatt gekennzeichnet. Nicht gekennzeichnete Abschnitte sind Hinweise und Empfehlungen für den Planenden und die Vergabestelle.

- (6) BAWMerkblatt „Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung“ (MDCC), (BAW 2019a)

Das BAWMerkblatt MDCC richtet sich sowohl an die Planenden von neu zu errichtenden Stahlbetonbauteilen als auch an Sachkundige Planer/Sachkundige Planerinnen zur Abschätzung der Restnutzungsdauer bestehender Stahlbetonbauteile und zur Dauerhaftigkeitsbemessung von instand zu setzenden Stahlbetonbauteilen mit Betonersatz hinsichtlich carbonatisierungs- und chloridinduzierter Betonstahlkorrosion.

Es definiert die Grundlagen und Anwendungsbereiche für die Dauerhaftigkeitsbemessung, die Abschätzung der Restnutzungsdauer sowie die am betrachteten Bauwerksteil zu ermittelnden Kennwerte und auf das Bauwerksteil wirkenden Einwirkungen.

- (7) BAWMerkblatt „Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche nach VOB/C“ (MEH), (BAW 2022a)

Gemäß den Normen der VOB/C, ATV (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen) ist der Baugrund für Erdbau-, Tiefbau- und Spezialtiefbauarbeiten in der Baubeschreibung in Homogenbereiche einzuteilen. Für die einzelnen Bauverfahren (z. B. Bohrarbeiten, DIN 18301) sind unter eindeutiger Vorgabe der anzuwendenden Prüfnorm für einen Homogenbereich bestimmte Boden- und/oder Felsparameter zu ermitteln und anzugeben. Da die ATV der VOB/C hierfür einen weiten Spielraum zulassen, gibt das BAWMerkblatt diverse Hilfestellungen. Insbesondere werden Hinweise zu den zu ermittelnden Parametern gegeben sowie verfahrensspezifische Kriterien für die Festlegung der Homogenbereiche definiert. So sind z. B. abhängig vom Verfahren (Bauverfahren) unterschiedliche Parameter von herausragender Bedeutung, die hier als Leitparameter festgelegt werden.

- (8) BAWEmpfehlung „Spundwanddickenmessungen in Häfen und an Wasserstraßen: Grundlagen, Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation“ (ESM), (BAW 2022b)

Der aktuelle Erhaltungszustand der Spundwand sowie die zu erwartende Restnutzungsdauer, bedingt durch korrosive Wanddickenverluste, sind von sicherheitsrelevanter und wirtschaftlicher Bedeutung. Das ESM stellt auf Grundlage der Erfahrungen der BAW eine Empfehlung zur effizienten und fachgerechten Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation von Restwanddickenmessungen dar.

- (9) DGUV-Regel 101-004 „Kontaminierte Bereiche“ (DGUV 1997) und TRGS 524 Technische Regeln für Gefahrstoffe: „Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen“ (BMAS 2010)

Die DGUV Regel 101-004 (DGUV 1997) regelt sämtliche zu beachtenden Aspekte für Bauarbeiten in kontaminiertem Untergrund, an schadstoffbelasteten Gebäuden oder in Gewässern in Bezug auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten. Sie gibt Hinweise zur Vergabe, Koordinie-

rung, Erkundung, vorausgehende Untersuchungen sowie Durchführung, Unterweisung und Persönliche Schutzausrüstung. Sie gilt z. B. nicht für die Bergung von Sprengstoffen, Arbeiten in geogen belasteten Bereichen oder im Rahmen von Asbestsanierungen.

„Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder.“ (BMAS 2010) Die TRGS 524 (BMAS 2010) befasst sich in diesem Sinne unter anderem mit der Gefährdungsbeurteilung, zu treffenden Schutzmaßnahmen, Arbeits- und Sicherheitsplänen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. Die Anwendung dieser Regeln ist in der ZTV-W LB 203 verankert und auch für Baugrunduntersuchungen im Sinne dieser Empfehlung anzuwenden.

(10) DVGW Arbeitsblatt W121 „Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen“, (DVGW 2003)

Beim Ausbau von Bohrungen zu Grundwassermessstellen ist die Technische Regel zum Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen der Deutschen Gesellschaft des Gas- und Wasserfaches e. V. zu beachten. Das Arbeitsblatt wurde von einem Projektkreis des DVGW-Technischen Komitees „Wassergewinnung“ erarbeitet. Es behandelt den fachgerechten Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen für die qualitative und quantitative Überwachung der Eigenschaften des Grundwassers. Es werden Qualitätsanforderungen an den Bau, die Bauüberwachung und die Abnahme von Grundwassermessstellen formuliert.

(11) DWA Arbeitsblatt 909 „Grundsätze der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen“, (DVGW und DWA 2011)

Das Arbeitsblatt beinhaltet die einzelnen Arbeitsschritte der Grundwasserprobenahme aus Grundwassermessstellen von der fachlichen fundierten Planung über die eigentliche Durchführung mit Probenübergabe an ein Laboratorium bis hin zur Auswertung und Dokumentation.

(12) Empfehlungen für die Planung und Ausführung von Korrosionsschutzarbeiten im Stahlwasserbau, (Arbeitskreis 18 des BMVI 2020)

Die in den Empfehlungen angeführten Hinweise betreffen die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (ZTV-W LB 218) bezüglich der Planung und Herstellung (Erstbeschichtung) sowie der Unterhaltung (Vollerneuerung, Ausbesserung oder Teilerneuerung) von Beschichtungen für Stahlwasserbauten und deren beweglicher Teile und für stählerne Ausrüstungsteile von Wasserbauwerken, sowie auch für Spundwandbauwerke. Sie geben ausführliche Hinweise bezüglich Vorbereitungsverfahren, Anforderungen an die Oberfläche, Ausführung (von Korrosionsschutz) sowie Arbeits- und Umweltschutz, die beim Ersatz eines Bauteiles (Entnahme für Materialprüfungen) relevant sind. Ersatzbauteile sollten einen vergleichbaren Korrosionsschutz wie das gesamte Bauwerk erhalten.

(13) Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung – Band 1: Allgemeine Regeln, (DIN 2015)

Das Handbuch beinhaltet die genormten Bemessungsregeln nach dem Eurocode 7-1 (DIN EN 1997-1) in einer für den Leser und Anwender einfachen und in der Form eines Fließtextes aufbereiteten Darstellung. Der Band 1 des Handbuches berücksichtigt neben dem Eurocode 7-1 (DIN EN 1997-1) alle aktuell gültigen Normen, Nationale Anhänge, nationale Restnormen und Änderungen bzgl. des Entwurfs, der Berechnung und der Bemessung in der Geotechnik. Diese sind die deutsche Fassung DIN EN 1997-1/NA, die DIN 1054, DIN 1054/A1 und DIN 1054/A2.

(14) Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung – Band 2: Erkundung und Untersuchung, (DIN 2011)

Das Handbuch beinhaltet die genormten Bemessungsregeln nach dem Eurocode 7-2 (DIN EN 1997-2) in einer für den Leser und Anwender einfachen und in der Form eines Fließtextes aufbereiteten Darstellung. Der Band 2 des Handbuches berücksichtigt neben dem Eurocode 7-2 (DIN EN 1997-2) alle

aktuell gültigen Normen, Nationale Anhänge, nationale Restnormen und Änderungen bzgl. der Erkundungen und der Untersuchungen des Baugrunds. Diese sind die deutsche Fassung, DIN EN 1997-2/NA und die DIN 4020.

- (15) Merkblatt DWA-M 506 „Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln in Wasserbauwerken aus Mass beton“, (DWA 2018)

Das Merkblatt unterstützt Planende und Bauherren bei der Bewertung von unbewehrten, historischen Betonstrukturen im Hinblick auf etwaige Injektionsmaßnahmen sowie bei der Planung und Durchführung von Injektionsarbeiten zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit, Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit sowie der rechnerischen Standsicherheit. Das Merkblatt gibt Hinweise zu geeigneten Untersuchungsverfahren zur Erfassung des Gefügestandes und dessen Injizierbarkeit mit hydraulischen Bindemitteln sowie zur Auswertung der gewonnenen Untersuchungsergebnisse.

Eine Anwendung auf Mauerwerk kann in Anlehnung an das Merkblatt unter Berücksichtigung der Besonderheiten von Mauerwerk erfolgen.

- (16) Merkblatt zur Qualitätssicherung bei der geotechnischen Erkundung, Teil 1 Empfehlungen für die Ausschreibung der Aufschlussverfahren (MQGeoE), (FGSV 2015)

Das von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen veröffentlichte Merkblatt gilt für den Verkehrswegebau, kann aber ebenso bei allen anderen Baugrund-Baumaßnahmen angewendet werden. Es unterstützt in erster Linie den Planer/die Planerin bei seiner/ihrer Ausschreibung für eine Baugrunduntersuchung und gibt dabei wichtige Informationen bzgl. Qualitätskriterien, gebräuchlichen Aufschlussverfahren, Berichterstattung, Probenentnahme, -lagerung, -transport und -aufbewahrung sowie Hinweise zu einschlägigen Normen, Richtlinien und Merkblättern.

- (17) Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken des Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden), (BMDV 2023) / TRGS 519 „Regeln für Gefahrstoffe Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten“, (AGS 2014)

Der Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden für schadstoffhaltige Altanstriche befasst sich ausgehend von den rechtlichen Grundlagen mit der Vorgehensweise bis hin zur Entsorgung und gibt technische Hinweise zur Durchführung und Entschichtungsverfahren. Insbesondere bei der Entschichtung von Stahlbauteilen aber ggf. auch Dükern und Widerlagern, die bis Anfang der 1980er Jahre errichtet wurden, ist mit der Freisetzung gesundheitsschädigender Stoffe zu rechnen. „Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder.“, (AGS 2014). Die TRGS 519 (AGS 2014) befasst sich unter anderem mit zu treffenden Schutzmaßnahmen, Arbeits- und Sicherheitsanforderungen bei Tätigkeiten in mit Asbest kontaminierten Bereichen.

Auf Grundlage der TRGS 519 (AGS 2014) wurden Arbeitsblätter für verschiedene Verfahren zur Entschichtung von asbesthaltigen Beschichtungen für den Bereich der WSV erstellt. Diese sind im IZW gemeinsam mit dem Asbest-/PAK- /PCB-/ Blei-Leitfaden abrufbar.

- (18) Vergabehandbuch für Bauleistungen–Wasserbau (VHB-W), (VV-WSV 2102)

Das VHB-W dient als verwaltungsinternes Dokument als Grundlage für die Vergabe und die Abwicklung von Bauverträgen. Die Teile 1 bis 4 erläutern darin detailliert die Vorbereitung und Durchführung eines Vergabeverfahrens, die Prüfung und Wertung der Angebote bis zur Auftragsvergabe sowie die Vertragsabwicklung. Des Weiteren sind die erforderlichen Formblätter für alle Verfahrensschritte enthalten.

- (19) Vergabehandbuch des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für Liefer- und Dienstleistungen sowie freiberufliche Leistungen (VHLF), (VV-WSV 2104)

Das VHLF als verwaltungsinternes Dokument dient als Grundlage für die Vergabe und die Abwicklung von Liefer- und Dienstleistungen sowie freiberufliche Leistungen. Die Teile 1 bis 4 erläutern darin detailliert die Vorbereitung und Durchführung eines Vergabeverfahrens, die Prüfung und Wertung der Angebote bis zur Auftragsvergabe sowie die Vertragsabwicklung. Des Weiteren sind die erforderlichen Formblätter für alle Verfahrensschritte enthalten.

- (20) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung – BaustellV), (BMJ 1998)

Die Baustellenverordnung dient dem Sicherheits- und Gesundheitsschutz auf Baustellen. In ihr ist geregelt, wann z. B. ein Sicherheits- und Gesundheitskoordinator zu bestellen oder ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan zu erstellen ist.

- (21) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (ZTV-W) für Technische Bearbeitung (Leistungsbereich 202), (ZTV-W LB 202)

Die ZTV-W LB 202 gelten für Planung und Bau von Wasserstraßen, Häfen, der dazugehörigen festen Anlagen und sonstigen Wasserbauwerke mit deren technischer Ausrüstung sowie für betriebliche Hochbauten.

Die ZTV-W LB 202 regeln z. B. die Anforderungen an die Aufstellung von technischen Unterlagen.

- (22) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (ZTV-W) für Baugrunderschließung und Bohrarbeiten (Leistungsbereich 203), (ZTV-W LB 203)

Die ZTV-W LB 203 gelten für die Ausführung von Schürfen, Sondierungen und Bohrarbeiten sowie für die Entnahme von Proben und die Durchführung von Bohrlochuntersuchungen und Bohrlochversuchen für Baumaßnahmen an und in den Wasserstraßen sowie beim Bau von Schleusen, Hebewerken, Wehren, Dückern, Ein- und Auslassbauwerken, Brücken usw. und betrieblichen Hochbauten.

- (23) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (ZTV-W) für Stahlwasserbauten (Leistungsbereich 216), (ZTV-W LB 216/1)

Die ZTV-W LB 216/1 ist anzuwenden für alle festen und beweglichen Teile von Stahlwasserbauten, bestehend aus Konstruktionen des Stahlbaus und des Maschinenbaus. Sie regelt zusätzlich Anforderungen für die Ausführungsqualität von Schweißnähten, die für eine Bauwerksuntersuchung bekannt sein müssen. Weiterhin sind Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit und die bauliche Ausführung benannt, die für eine Bauwerksuntersuchung ebenfalls relevant sind.

- (24) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (ZTV-W) für Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (Leistungsbereich 218), (ZTV-W LB 218)

Die ZTV-W LB 218 gelten für alle festen und beweglichen Teile von Stahlwasserbauten und metallische Ausrüstungsteile von Wasserbauwerken im Neubau und in der Instandhaltung sowohl im Werk als auch auf der Baustelle. Sie können sinngemäß auch für den Korrosionsschutz von Schiffen, schwimmenden Geräten, Schifffahrtszeichen, Spundwänden an Wasserbauwerken und Offshore-Anlagen angewendet werden. Hierin werden u. a. Vorbereitungsverfahren, Anforderungen an die Oberfläche, Ausführung (von Korrosionsschutz) und Arbeits- und Umweltschutz geregelt, die beim Ersatz eines Bauteiles (für Materialprüfungen) relevant sind. Das Ersatzbauteil sollte einen vollumfänglichen Korrosionsschutz erhalten, der vergleichbar mit der restlichen Baukonstruktion ist.

- (25) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (ZTV-W) für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219), (ZTV-W LB 219)

Die ZTV-W LB 219 regeln die Anforderungen an die Planung, die zum Einsatz kommenden Baustoffe und Baustoffsysteme, die Bauausführung sowie die Qualitätssicherung der im Verkehrswasserbau typischen Instandsetzungsverfahren.

Bezüglich der Durchführung von Bauwerksuntersuchungen zur Planung von Instandsetzungsmaßnahmen sind insbesondere die Planungshinweise in Abschnitt 0 zu beachten. Hier werden die Vorgehensweise bei der Planung sowie die erforderliche Qualifikation des/der mit der Ermittlung des Bauwerkszustandes (Ist-Zustand) bis hin zur Erstellung von Instandhaltungsplänen befassten Planers/Planerin geregelt. Weiterhin werden die Grenzwerte zur Einordnung der vorhandenen Betonuntergrundeigenschaften in Altbetonklassen als Basis für die Wahl geeigneter Instandsetzungsverfahren festgelegt. Anhang 1 und 2 enthalten technische Prüfvorschriften für die Verbundfestigkeit von Betonersatz und Oberflächenschutzsystemen sowie die Durchführung von Ankerzugversuchen.

Literaturverzeichnis

AGS (2014): TRGS 519 - Technische Regeln für Gefahrstoffe: Asbest- Abbruch, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten. *aktualisiert 2022. Hg. v. Ausschuss für Gefahrstoffe. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Amthor, G. (2012): Empfehlungen zu Untersuchung und Instandsetzung thurament- und sulfathüttenzementhaltiger Betone. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Brief, 6/2012). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100480>.

Arbeitskreis 18 des BMVI (2020): Empfehlungen für die Planung und Ausführung von Korrosionsschutzarbeiten im Stahlwasserbau. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Arbeitskreis 2 des DAfStb (2015): Empfehlung für die Schadensdiagnose und Instandsetzung von Betonwerken, infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion geschädigt sind. In: *Beton* (10), S. 488–492.

Arbeitskreis AK 2.11 der DGGT (2016): EASV Sachverständige für Geotechnik - Anforderungen an Sachkunde und Erfahrung. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung (2012): Merkblatt Bau von Grundwassermessstellen. Hg. v. Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung.

BAW (2010): BAWMerkblatt Bauwerksinspektion (MBI). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102461>.

BAW (2012a): BAWMerkblatt Bohrkernentnahme für Bauwerksuntersuchungen (MBK). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102464>.

BAW (2012b): BAWMerkblatt Frostprüfung von Beton (MFB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102467>.

BAW (2012c): BAWMerkblatt Zweitbeton (MZB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102480>.

BAW (2016): BAWMerkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102463>.

BAW (2018): BAWMerkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Verschlüsse im Stahlwasserbau (TbVS). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105452>.

BAW (2019a): BAWMerkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106556>.

BAW (2019b): Richtlinie Datenlieferung - Übergabe digitaler Produkte an die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW (2019c): Vorzuhaltende Unterlagen für Bestandsbauwerke. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe (BAW-Gutachten, B3951.01.01.10304).

BAW (2022a): BAWMerkblatt Einteilung des Baugrunds in Homogenbereiche nach VOB/C (MEH). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter,- Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110807>.

BAW (2022b): BAWMerkblatt Spundwanddickenmessungen in Häfen und an Wasserstraßen: Grundlagen, Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation (ESM). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter,- Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110952>.

BAW (2023a): BAWMerkblatt Schadensbewertung an Verkehrswasserbauwerken der Inspektionskategorie A (MSV-A). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter,- Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110937>.

BAW (2023b): Innovative Methoden zur Zustandserfassung. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe (FuE-Abschlussbericht, B3951.04.04.70501). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110943>.

BMAS (2010): TRGS 524 -Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. *zuletzt geändert 2011. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

BMDV (2023): Leitfaden für die Entschichtung von mit schadstoffhaltigen Altanstrichen beschichteten Stahl(wasser)bauten und sonstigen Bauwerken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Asbest-/PAK-/PCB-/Blei-Leitfaden): Bundesministerium für Digitales und Verkehr.

BMI, BMVg (2018): Baufachliche Richtlinien Kampfmittelräumung (BFR KMR). Arbeitshilfen zur Erkundung, Planung und Räumung von Kampfmitteln auf Liegenschaften des Bundes. Hg. v. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bundesministerium der Verteidigung. Online verfügbar unter www.bfr-kmr.de.

BMJ (1997): Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV). *zuletzt geändert 20.1.2022. Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (1998): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen. BaustellV. Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG). Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (2015): Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO). Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (2023a): Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung - ErsatzbaustoffV). Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMJ (2023b): Mantelverordnung: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung des Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Hg. v. Bundesministerium für Justiz.

BMV (1998): Vorbereitung und Durchführen baulicher Maßnahmen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung - Mitwirkung der Bundesanstalten für Wasserbau und für Gewässerkunde im Zusammenhang mit Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen: Bundesministerium für Verkehr (Erlass, W13/W14/02.50.10/5 VA 98). Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/umwelt-verwaltungsvorschrift/0/2201_1_9_Einschaltung_BfG_Erlass.pdf.

BMVBS (2009): Standardisierte Leistungsbeschreibung und Honorarermittlung der Sicherheits- und Gesundheitsschutzleistungen bei der Vergabe an Ingenieurbüros: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Erlass, WS 13/5257.20/2). Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/lieferleistungen/0/Erlass_mit_Anlagen_Leistungsbeschreibung_SIGE-KO_10-11-2009.pdf.

BMVBS (2013): Elektronisches Abfallnachweisverfahren (eANV). nicht im IZW verfügbar: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Erlass, WS 14/5242.1/2-5).

BMVI (2016): Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen - BMI-Leitfaden der Überwachungsbehörden (Erlass, Z 12/2116.1/1-3). Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/Erlass_Aktualisierung_Bauvorhaben_Bund_BMI_Leitfaden.pdf.

DAfStb (1989): Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (Heft, 401).

DAfStb (1991): Prüfung von Beton, Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048. Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (Heft, 422).

DAfStb (2005): Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Trockenbeton-Richtlinie). Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb-Richtlinie).

DAfStb (2011): Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel. Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb-Richtlinie).

DAfStb (2012): Selbstverdichtender Beton. (SVB-Richtlinie). Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb-Richtlinie).

DAfStb (2013): Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie). Hg. v. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb-Richtlinie).

DBV (2014): Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen. Hg. v. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein (DBV Merkblattsammlung).

DBV (2022): Hochdruckwasserstrahlen im Betonbau. Hg. v. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein (DBV Merkblattsammlung).

DGUV (1997): Kontaminierte Bereiche. (früher BGR 128). *aktualisierte Fassung 2006. Hg. v. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV-Regel, 101-004).

DGZfP (2008): Merkblatt über das Radarverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Merkblatt DGZfP, B 10).

DGZfP (2014): Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Merkblatt DGZfP, B0 2).

DGZfP (2018): Merkblatt Ultraschallverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Merkblatt DGZfP, B 04).

DGZfP (2021): Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (Merkblatt DGZfP, B 03).

DIN (2011): Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung. Band 2: Erkundung und Untersuchung. Vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung: Beuth Verlag GmbH (Normen-Handbuch, 7).

DIN (2015): Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung. Band 1: Allgemeine Regeln. Vom DIN autorisierte konsolidierte Fassung. 2. aktualisierte Auflage: Beuth Verlag GmbH (Normen-Handbuch, 7).

DVGW (2003): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen. Hg. v. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (Arbeitsblatt, W 121).

DVGW (2008): Bohrungen zur Erkundung, Beobachtung und Gewinnung von Grundwasser. Hg. v. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (Arbeitsblatt, W 115).

DVGW (2011): Grundsätze der Grundwasserprobennahme aus Grundwassermessstellen. Hg. v. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (Arbeitsblatt, W 112).

DVGW und DWA (2011): Grundsätze der Grundwasserprobennahme aus Grundwassermessstellen. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Arbeitsblatt, DWA-A 909).

DWA (2018): Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln in Wasserbauwerken aus Massenbeton. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA-Merkblatt, 506). Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/dwa_m_506_2018.pdf.

DZSF (2021): Prüfverfahren Zustandserfassung Bau. Modul "Zerstörungsfreie Prüfverfahren". Hg. v. Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 8). Online verfügbar unter www.dzsf.bund.de.

EU (2019a): Delegierte Verordnung (EU) 2019/945 der Kommission über unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Drittlandbetreiber unbemannter Luftfahrzeugsysteme. Hg. v. Europäische Kommission.

EU (2019b): Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge. Hg. v. Europäische Kommission.

FGSV (2015): Merkblatt zur Qualitätssicherung bei der geotechnischen Erkundung (MQGeoE). Teil 1 Empfehlungen für die Ausschreibung der Aufschlussverfahren. Hg. v. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV.

Hekel, Uwe; Odenwald, Bernhard (2012): Bohrlochversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit von Fels. In: BAWMitteilung Nr. 95. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, S. 139–150.

ITZ Bund (2022): Richtlinie für die Übergabe digitaler Unterlagen an Dienststellen der WSV (Ri-DaLi). Hg. v. Informationstechnikzentrum Bund.

Krumb, Maria; Donat, Daniel (2017): Ableitung geotechnischer Parameter aus seismischen Drucksondierungen. 68. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium. Bad Zwischenahn, 26.04.2017.

Lange, J.; Benning, W. (2006): Verfahren zur Rissanalyse bei Betonbauteilen. In: DGZfP (Hg.): Fachtagung Bauwerksdiagnose. Praktische Anwendung Zerstörungsfreier Prüfungen (DGZfP-Berichtsband 100).

Liebethuth, Frank (2014): Sondierungen und deren Bewertung. 65. Deutsche Brunnenbauertage. BAW Baugrundkolloquium. Bad Zwischenahn, 07.05.2014.

Patitz, Gabriele; Wietersheim, Mark von; Zöller, Matthias (2016): Bauteiluntersuchung. Notwendigkeit und Grenzen. Hg. v. Mark Seibel: Bundesanzeiger Verlag; Fraunhofer IRB Verlag (Der Bausachverständige - Edition, Heft 7).

Scheydt Jennifer C.; Breit, Wolfgang; Schäffel, Patrick (2015): Bestimmung des E-Moduls von Beton - Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5. In: *Beton* 65 (4), S. 132–135.

STLK-W LB 203: Baugrunderschließung / Bohrarbeiten. Leistungsbereich 203. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Standardleistungskatalog - Wasserbau).

STLK-W LB 216: Stahlwasserbau. Leistungsbereich 216. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Standardleistungskatalog - Wasserbau).

STLK-W LB 219: Instandsetzung von Betonbauteilen. Leistungsbereich 219. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Standardleistungskatalog - Wasserbau).

Straßer, Daniel; Pittroff, Marco (2023): Konzeption und Umsetzung eines Grundwasser-Monitoring-Programms am Unteren Neckar. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Geohydraulische Aspekte bei Planung und Ausführung von Baumaßnahmen des Verkehrswasserbaus. Karlsruhe (BAW Geohydraulisches Kolloquium), S. 99–105.

VRT Finland Ltd (2021): Bericht - Wehr Hessigheim flussaufwärts (Bericht an die BAW).

VV-WSV 1102: Objektkatalog. Begriffsbestimmungen der VV-WSV 1102, Teil 2 online. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

VV-WSV 2101: Bauwerksinspektion. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

VV-WSV 2102: Vergabehandbuch für Bauleistungen - Wasserbau (VHB-W). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

VV-WSV 2104: Vergabehandbuch des BMVI für Liefer- und Dienstleistungen sowie freiberufliche Leistungen (VHLF). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

VV-WSV 2116: Baubestandswerk. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).

Witt, Karl Josef; Smoltczyk, Ulrich (2018): Grundbau-Taschenbuch. Teil 2: Geotechnische Verfahren. 8. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1002/9783433607275>.

ZTV-W LB 202: Technische Bearbeitung (Leistungsbereich 202). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau).

ZTV-W LB 203: Baugrunderschließung und Bohrarbeiten (Leistungsbereich 203). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau).

ZTV-W LB 216/1: Stahlwasserbauten (Leistungsbereich 216/1). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau).

ZTV-W LB 218: Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (Leistungsbereich 218). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau).

ZTV-W LB 219: Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau).

Normen

DIN 1048-5: (1991): Prüfverfahren für Beton, Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper. zurückgezogen.

DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.

DIN 12390-8: Prüfung von Festbeton - Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck.

DIN 18129: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Kalkgehaltsbestimmung.

DIN 18196: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

DIN 18301: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Bohrarbeiten.

DIN 18323: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Kampfmittelräumarbeiten.

DIN 19702: Massivbauwerke im Wasserbau - Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

DIN 19704-1: Stahlwasserbauten - Teil 1: Berechnungsgrundlagen.

DIN 19704-2: Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung.

DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung.

DIN 38402-13: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A); Probenahme aus Grundwasserleitern (A 13).

DIN 38402-62: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 62: Plausibilitätskontrolle von Analysendaten durch Ionenbilanzierung (A 62).

DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke (ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2).

DIN 4023: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen.

DIN 4030-1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte.

DIN 4030-2: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben.

DIN 4048-1: Wasserbau. Begriffe - Teil 1: Stauanlagen.

DIN 4054: Verkehrswasserbau. Begriffe.

DIN 4944: Abschlüsse für Grundwassermessstellen.

DIN 50929-3: Korrosion der Metalle - Korrosionswahrscheinlichkeit metallener Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung - Teil 3: Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern.

DIN 51006: Thermische Analyse (TA) - Thermogravimetrie (TG) - Grundlagen.

DIN 51007: Thermische Analyse (TA) - Differenz-Thermoanalyse (DTA) und Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) - Allgemeine Grundlagen.

DIN 52170-1: Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton - Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Probenahme und Trockenrohddichte.

DIN 52170-2: Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton - Teil 2: Salzsäureunlösliche und kalkstein- und/oder dolomithaltige Gesteinskörnung, Ausgangsstoffe nicht verfügbar.

DIN 52170-3: Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton - Teil 3: Salzsäureunlösliche Gesteinskörnung, Ausgangsstoffe nicht verfügbar.

DIN 52170-4: Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton - Teil 4: Salzsäurelösliche und/oder -unlösliche Gesteinskörnung - Ausgangsstoffe vollständig oder teilweise verfügbar.

DIN 66139: Porengrößenanalyse - Darstellung von Porengrößenverteilungen.

DIN EN 10025-2: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle.

DIN EN 12390-13: Prüfung von Festbeton - Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul).

DIN EN 12390-3: Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern.

DIN EN 12390-6: Prüfung von Festbeton - Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern.

DIN EN 12390-7: Prüfung von Festbeton - Teil 7: Dichte von Festbeton.

DIN EN 12504-1: Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 1: Bohrkernproben - Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit.

DIN EN 13018: Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Allgemeine Grundlagen.

DIN EN 13577: Chemischer Angriff an Beton - Bestimmung des Gehalts an angreifendem Kohlendioxid in Wasser.

DIN EN 13791/A20: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Änderung A20.

DIN EN 14629: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung des Chloridgehaltes in Festbeton.

DIN EN 14630: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung.

DIN EN 1542: Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch.

DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004+AC:2010.

DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln.

DIN EN 1997-2: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

DIN EN ISO 12944: Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme.

DIN EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung.

DIN EN ISO 14688-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen.

DIN EN ISO 14689: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels.

DIN EN ISO 148-1: Metallische Werkstoffe - Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy - Teil 1: Prüfverfahren.

DIN EN ISO 15350: Stahl und Eisen - Bestimmung der Gesamtgehalte an Kohlenstoff und Schwefel - Infrarotabsorptionsverfahren nach Verbrennung in einem Induktionsofen.

DIN EN ISO 15549: Zerstörungsfreie Prüfung - Wirbelstromprüfung - Allgemeine Grundlagen.

DIN EN ISO 15630-1: Stähle für die Bewehrung und das Vorspannen von Beton - Prüfverfahren - Teil 1: Bewehrungsstäbe, -walzdraht und -draht.

DIN EN ISO 16276-1: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme - Teil 1: Abreißversuch.

DIN EN ISO 16276-2: Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme – Teil 2: Gitterschnitt- und Kreuzschnittprüfung.

DIN EN ISO 16810: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Allgemeine Grundsätze.

DIN EN ISO 16826: Zerstörungsfreie Prüfung - Ultraschallprüfung - Prüfung auf Inhomogenitäten senkrecht zur Oberfläche.

DIN EN ISO 17637: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen.

DIN EN ISO 17640: Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung - Techniken, Prüfklassen und Bewertung.

DIN EN ISO 19399: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Trockenschichtdicke mit dem Keilschnittverfahren (Ritz- und Bohrmethode).

DIN EN ISO 2178: Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen - Messen der Schichtdicke - Magnetverfahren.

DIN EN ISO 22282-3: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 3: Wasserdruckversuche in Fels.

DIN EN ISO 22282-4: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 4: Pumpversuche.

DIN EN ISO 22282-6: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geohydraulische Versuche - Teil 6: Wasserdurchlässigkeitsversuche im Bohrloch unter Anwendung geschlossener Systeme.

DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung.

DIN EN ISO 22476-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck.

DIN EN ISO 22476-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen.

DIN EN ISO 2360: Nichtleitende Überzüge auf nichtmagnetischen metallischen Grundwerkstoffen - Messen der Schichtdicke - Wirbelstromverfahren.

DIN EN ISO 2409: Beschichtungsstoffe - Gitterschnittprüfung.

DIN EN ISO 2808: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Schichtdicke.

DIN EN ISO 3452: Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung.

DIN EN ISO 5579: Zerstörungsfreie Prüfung - Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Film und Röntgen- oder Gammastrahlen - Grundlagen.

DIN EN ISO 5667-3: Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3:2018); Deutsche Fassung EN ISO 5667-3.

DIN EN ISO 6892-1: Metallische Werkstoffe - Zugversuch - Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur.

DIN EN ISO 8407: Korrosion von Metallen und Legierungen -Entfernung von Korrosionsprodukten von Korrosionsprüfkörpern.

DIN EN ISO 9712: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung.

DIN EN ISO 9934-1: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen.

DIN ISO 15901-1: Bewertung der Porengrößenverteilung und Porosität von Feststoffen mittels Quecksilberporosimetrie und Gasadsorption - Teil 1: Quecksilberporosimetrie.

DIN ISO 15923-1: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Parametern mittels Einzelanalyssystemen- Teil 1: Ammonium, Nitrat, Nitrit, Chlorid, Orthophosphat, Sulfat, Silikat durch photometrische Detektion.

ISO 14707: Chemische Oberflächenanalyse - Optische Glimmentladungs-Emissionsspektrometrie (GD-OES) - Einführung in die Anwendung.

ISO 5667-11: Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 11: Hinweise zur Probenahme von Grundwasser.

Anlagen

Beispiele für die zusammenfassende Darstellung von Ergebnissen

Anlage 1: Massivbau

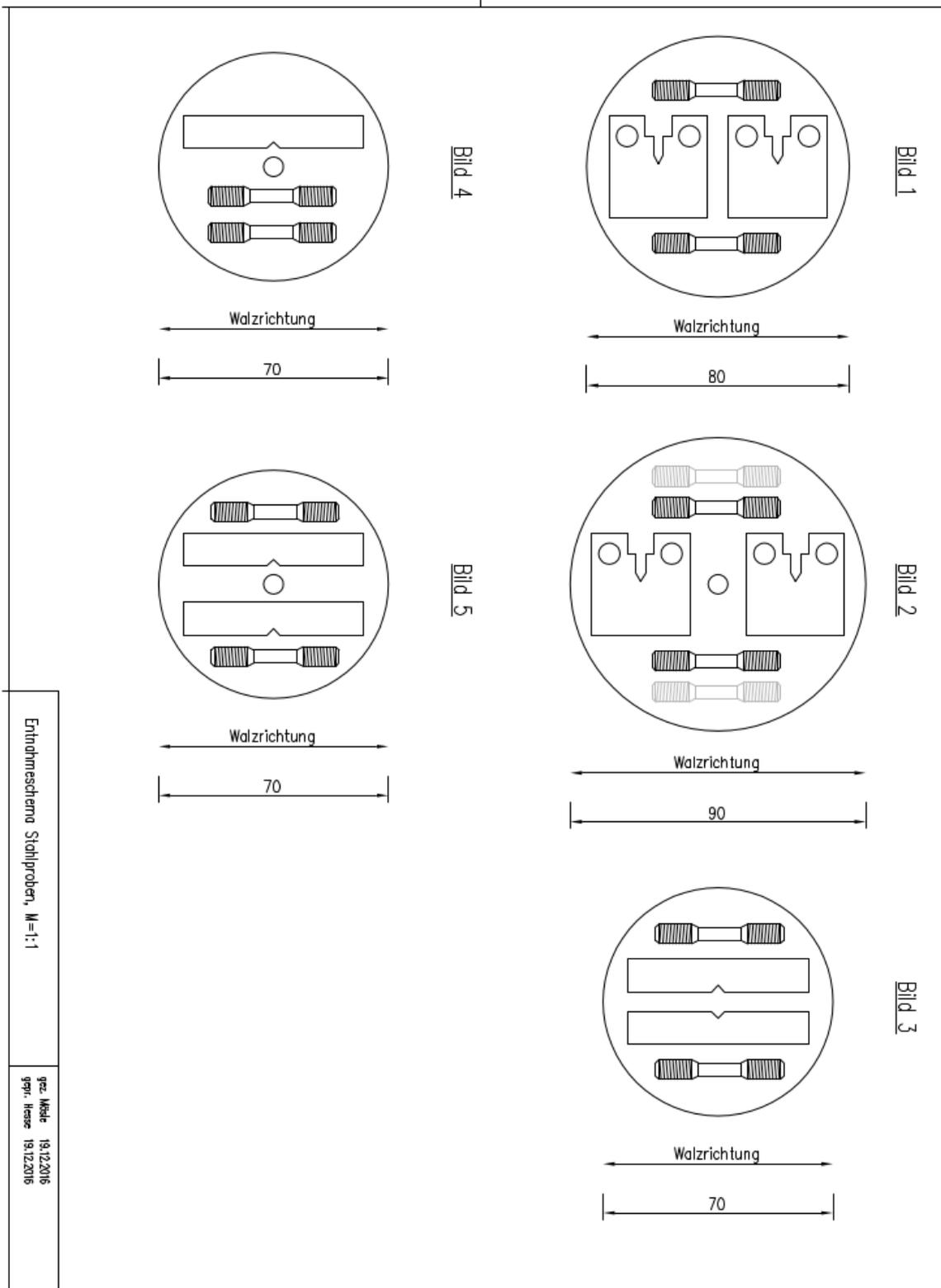
Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Strompfeiler einer Wehranlage (Prinzipdarstellung; kein konkreter Bauwerksbezug)

Das angeführte Beispiel hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. es können je nach Aufgabenstellung auch weniger oder andere Kennwerte relevant sein.

Eingangsparameter		erwartet gemäß Bestandsunterlagen	Feststellungen und ermittelte Kennwerte	Verweise Datenbasis	
Strompfeiler	Bauteilaufbau	Kurzbeschreibung	nicht zonierte Bauweise	nichtzonierte Bauweise	Abschnitt ..., Anlage ...
	Bewehrung	Kurzbeschreibung	überwiegend unbe-wehrt, Bewehrung im Bereich der Wehrnischen	gemäß Planunterlagen	Abschnitt ..., Anlage ...
		Abstand	1.Lage horz: 15 cm 2. Lage vert.: 15 cm	gemäß Planunterlagen	Abschnitt ..., Anlage ...
		Betondeckung	10 cm	Einzel: 1 cm; Mittel; 8 cm	Abschnitt ..., Anlage ...
		Zustand	-	ohne auffällige Korrosion	Abschnitt ..., Anlage ...
		Einbindung	-	gut eingebunden	Abschnitt ..., Anlage ...
	Konstruktionsbeton	Gefüge	Kiesbeton	Kiesbeton, Rüttelbeton mit erhöhter Verdichtungsporosität	Abschnitt ..., Anlage ...
		Zementstein (Farbe)	k.A.	Blau/Schwarz (HOZ)	Abschnitt ..., Anlage ...
		Größtkorn	k.A.	überwiegend 32 mm, vereinzelt bis 70 mm	Abschnitt ..., Anlage ...
		Fehlstellen	-	vereinzelt Verdichtungsfehler und Kiesnester	Abschnitt ..., Anlage ...
		Risse	-	Netzrisse auf Oberfläche	Abschnitt ..., Anlage ...
		Arbeitsfugen	-	überwiegend gerissen	Abschnitt ..., Anlage ...
		$f_{ck, is}$	B25	30,8 N/mm ²	Abschnitt ..., Anlage ...
		$f_{ctk, is}$	-	2,0 N/mm ²	Abschnitt ..., Anlage ...
		$\rho_{mittel, nass}$	-	2,400 kg/dm ³	Abschnitt ..., Anlage ...
	$\rho_{mittel, trocken}$	-	2,380 kg/m ³	Abschnitt ..., Anlage ...	

Anlage 2: Stahlbau

Anlage 2.1: Probenlage von Minizugproben



Anlage 2.2: Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für eine Stauwand und einen Riegelgurt

Das angeführte Beispiel hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. je nach Aufgabenstellung können auch weniger mechanische oder chemische Kennwerte relevant sein.

Eingangsparameter		erwartet gemäß Bestandsunterlagen	Feststellungen und ermittelte Kennwerte	Verweis Datenbasis
Stauwand	Zugprüfung	S235	245 N/mm ²	Abschnitt ..., Anlage ...
	Kerbschlagbiegeversuch			Abschnitt ..., Anlage ...
	Bei Raumtemperatur	mind. 27 J	20 J	
	Bei -20 °C	mind. 27 J	5 J	
	Chemische Analyse	unlegierter, unberuhigter Baustahl	unlegierter, unberuhigter Baustahl mit überhöhtem Stickstoffwert	Abschnitt ..., Anlage ...
Mikroschliff	Perlit/Ferrit	Perlit/Ferrit Mangansulfidzeilen	Abschnitt ..., Anlage ...	
Riegelgurt	Zugprüfung	S235	236 N/mm ²	Abschnitt ..., Anlage ...
	Kerbschlagbiegeversuch			Abschnitt ..., Anlage ...
	Bei Raumtemperatur	mind. 27 J	19 J	
	Bei -20 °C	mind. 27 J	4 J	
	Chemische Analyse	unlegierter, unberuhigter Baustahl	unlegierter, unberuhigter Baustahl mit überhöhtem Schwefel- und Phosphorgehalt	Abschnitt ..., Anlage ...
Baumannabdruck	geringe Seigerungen	ausgeprägte Seigerungs-zonen	Abschnitt ..., Anlage ...	

Anlage 3: Geotechnik

Anlage 3.1: Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Darstellung der charakteristischen Bodenparameter einer Auffüllung (schluffig, toniger Kies/Sand mit Steinanteil) und von Schlick (sandig, toniger Schluff mit leichtem organischem Anteil)

Das angeführte Beispiel hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. je nach Aufgabenstellung können auch weniger Bodenparameter relevant sein.

Bodenparameter	Bezeichnung	Auffüllung	Schlick
Benennung nach DIN EN ISO 14688-1		G, S, u, t, x	U, s, t, o'
Bodengruppe nach DIN 18196		GU/GT; GW; (TL)	OT
Feuchtwichte	γ in kN/m^3	19	15
Wichte unter Auftrieb	γ' in kN/m^3	11	5
<u>Anfangsscherfestigkeit:</u>			
Reibungswinkel des undrÄnierten Bodens	$\varphi_{u,k}$ in $^\circ$	---	0
KohÄsion des undrÄnierten Bodens	$c_{u,k}$ in kN/m^2	---	0 – 20
<u>Endscherfestigkeit:</u>			
Effektiver Reibungswinkel	φ'_k in $^\circ$	32,5	15
Effektive KohÄsion	c'_k in kN/m^2	0	---
DurchlÄssigkeitsbeiwert	k in m/s	10^{-2} bis 10^{-6}	10^{-7} bis 10^{-11}

Anlage 3.2: Beispielhafte Ergebniszusammenfassung für die Darstellung der charakteristischen Felskennwerte für einen Fels

Das angeführte Beispiel hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. je nach Aufgabenstellung können auch weniger Felsparameter relevant sein.

Felsparameter	Bezeichnung	Fels
Kurzbeschreibung		schwach bis mäßig verwittert stark klüftig bis klüftig mäßig hohe bis hohe Festigkeit lokal gestört und stark bis vollständig verwittert
Feuchtwichte	γ in kN/m^3	26
Wichte unter Auftrieb	γ' in kN/m^3	16
Effektiver Reibungswinkel	φ'_k in $^\circ$	37
Effektive Kohäsion	c'_k in kN/m^2	0
Erstbelastungs-Elastizitätsmodul (bei einer mittleren Spannung)	E_{40-60} in MN/m^2	4000 bis 9000 (bis 40MP)
Durchlässigkeitsbeiwert	k in m/s	$1 \cdot 10^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$